



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

Andria Paula Lima

**Frações de fósforo em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do
Brasil**

Florianópolis
2021

Andria Paula Lima

**Frações de fósforo em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do
Brasil**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de mestre em
Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Cledimar Rogério Lourenzi, Dr.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lima, Andria Paula

Frações de fósforo em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do Brasil / Andria Paula Lima ; orientador, Cledimar Rogério Lourenzi, 2021.

76 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Manejo de adubação. 3. Nutrição de plantas. 4. Viticultura. 5. Fracionamento de fósforo. I. Lourenzi, Cledimar Rogério. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. III. Título

Andria Paula Lima

Frações de fósforo em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do Brasil

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Tales Tiecher, Dr.

Instituição Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Jucinei José Comin, Dr.

Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

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

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Cledimar Rogério Lourenzi, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2021.

Dedico este trabalho aos meus pais, Irene de Lourdes Pereira Lima e Edgar Andrade Lima.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Edgar e Irene pelos ensinamentos, amor, educação, conversas, senso de humor, confiança e incentivo depositados em mim durante toda a minha trajetória. As minhas irmãs Antonia Helena e Ana Claudia, por serem meu suporte e calma em momentos de dúvida. Aos meus cunhados Alfeu e Fernando pelos momentos compartilhados e ao meu sobrinho Manoel, que em pouco tempo de vida já se tornou um raio de sol na minha existência. Vocês são o meu porto seguro.

Ao professor, Dr. Cledimar Rogério Lourenzi, orientador e amigo, pelos conselhos, tranquilidade, orientações, humor, confiança e a dedicação a esse trabalho. Um profissional que é um exemplo para mim, humano e sensível. Obrigada pelo apoio depositado em mim, até mesmo em momentos que eu não acreditava muito.

Aos professores e amigos Arcângelo Loss, Jucinei José Comin, Paulo Emílio Lovato, e Sandro Luis Schlindwein, pelas experiências compartilhadas e a disposição em ajudar sempre.

Aos amigos do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA-SC) pela caminhada que traçamos juntos desde a graduação, que me dão diariamente a oportunidade de crescimento profissional e pessoal, por meio de debates, conversas, saídas de campo, atividades no laboratório, eventos, congressos, competições, incontáveis cafés e que permitiram que essa caminhada fosse mais tranquila e prazerosa.

À todos meus amigos, que estão sempre atentos as minhas inúmeras histórias e ideias, me dando suporte em todos os momentos. Nesse contexto pandêmico, a importância de tê-los comigo apenas ressaltou a estima e afeto existente em mim. Muito obrigada por tudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante o mestrado.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (PGA), pela oportunidade e qualidade dos ensinamentos obtidos, me instigando sempre sobre a relevância e impacto da pesquisa brasileira. À secretária do PGA, Fabiana, pela paciência e auxílio prestado.

À todos o meu muito obrigada!

“Mas ela ao mesmo tempo diz que tudo vai mudar
Porque ela vai ser o que quis, inventando um lugar
Onde a gente e a natureza feliz vivam sempre em comunhão
E a tigresa possa mais do que o leão”
(Caetano Veloso, 1977)

APRESENTAÇÃO

A presente dissertação “Frações de fósforo em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do Brasil” está inserida no projeto intitulado “Frações químicas e físicas da matéria orgânica e interações de Cu e Zn com substratos orgânicos e minerais do solo em áreas de vinhedos no Sul do Brasil”. Tal projeto foi coordenado pelo Prof. Dr. Cledimar Rogério Lourenzi, o qual foi submetido e aprovado pela Chamada Universal MCTI/CNPq N° 01/2016, permitindo a realização do mesmo através do financiamento.

A instituição executora é a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), porém as parcerias realizadas com instituições colaboradoras como Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) e Embrapa Uva e Vinho (Bento Gonçalves – RS), permitiram a consolidação e efetivação da proposta.

Além da presente dissertação, desde a coleta das amostras de solo (2017) nas áreas selecionadas no projeto, foram realizadas as seguintes publicações:

Trabalhos de conclusão (TCCs, dissertações e teses)

1. Dissertação aprovada no ano de 2019 pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas conferindo o título de Ms. Samya Uchôa Bordallo: “Atributos químicos no solo e frações húmicas da matéria orgânica em vinhedos na região sul de Santa Catarina”
2. Trabalho de conclusão de curso de Agronomia, no ano de 2018, de autoria de Alcenir Cláudio Bueno. “Atributos químicos do solo em áreas de vinhedos com diferentes tempos de cultivo na região de Urussanga-SC”, desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina.
3. Tese de doutorado em andamento pelo Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, pelo discente Ms. Guilherme Wilbert de Ferreira: “Frações químicas da matéria orgânica e interações de Cu e Zn com frações orgânicas do solo em áreas de vinhedos no Sul do Brasil”

Resumos expandidos em eventos científicos

1. GIUMBELLI, L.D.; FERREIRA, G.W.; SANTOS, T.S.; LOURENZI, C.R.; MORAIS, G.P.; BRUNETTO, G. Frações de Zn em solos de vinhedos com diferentes tempos de condução Serra Gaúcha. In: XIII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 2020, Porto Alegre - Evento online.
2. FERREIRA, G.W.; BORDALLO, S.U.; SOUZA, I.R.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; LOURENZI, C.R. Fracionamento de Cu em solos de vinhedos com diferentes tempos de condução, em Bento Goncalves, RS. In: XIII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 2020, Porto Alegre - Evento online.

3. BORDALLO, S.U.; FERREIRA, G.W.; SOUZA, I.R.; SILVA, I.C.B.; BRUNETTO, G.; LOURENZI, C.R. Frações de Cobre em Áreas de Vinhedos com Diferentes Históricos de Cultivo na Campanha Gaúcha. In: XIII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 2020, Porto Alegre - Evento online.
4. FERREIRA, G.W.; SOUZA, I.R.; SILVA, I.C.B.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.J.; LOURENZI, C.R. Carbono, nitrogênio e enxofre em vinhedo com longo histórico de cultivo na região da Campanha, Sul do Brasil. In: 1ª Reunião de Atualização Técnica sobre Calagem e Adubação em Frutíferas, 2020, Evento Online.
5. MENEGHINI, V.; FERREIRA, G.W.; SOUZA, I.R.; LAGO, P.D.; HOLLAS, M.G.; LOURENZI, C.R. Teores de nutrientes em solos de áreas de vinhedos no Rio Grande Do Sul. In: 1ª Reunião de Atualização Técnica sobre Calagem e Adubação em Frutíferas, 2020, Evento Online.
6. KNOTH, L.F.; FERREIRA, G.W.; MORAIS, G.P.; HEBERLE, D.A.; DE MELO, G.W.B.; LOURENZI, C.R. Teores de C, N e S em vinhedos com diferentes históricos de condução na Serra Gaúcha. In: 1ª Reunião de Atualização Técnica sobre Calagem e Adubação em Frutíferas, 2020, Evento Online.
7. BUENO, A.C.; FERREIRA, G.W.; BORDALLO, S.U.; LOSS, A.; LOURENZI, C.R.; DE MELO, G.W.B. Teores de C, N, S e relações C/N e C/S em solo de vinhedo com longo histórico de cultivo na Serra Gaúcha. In: 1ª Reunião de Atualização Técnica sobre Calagem e Adubação em Frutíferas, 2020, Evento Online.
8. ALMEIDA, A.F.N.; FERREIRA, G.W.; BORDALLO, S.U.; LOURENZI, C.R.; LOVATO, P.E. Efeito temporal do cultivo de vinhedos nos teores de carbono, nitrogênio e enxofre na Campanha Gaúcha. In: 1ª Reunião de Atualização Técnica sobre Calagem e Adubação em Frutíferas, 2020, Evento Online.
9. BORDALLO, S.U.; BUENO, A.C.; LOVATO, P.E.; HOLLAS, M.G.; HEBERLE, D.A.; LOURENZI, C.R. Cobre e Zinco em solos de vinhedos no Sul do Brasil. In: 1ª Reunião de Atualização Técnica sobre Calagem e Adubação em Frutíferas, 2020, Evento Online.
10. MENEGHINI, V.; BORDALLO, S.U.; LAGO, P.D.; LOURENZI, C.R. Acidez do solo em áreas de vinhedos no Rio Grande do Sul. In: XXII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 2º Congreso Uruguayo de Suelos y X Encuentro de la SUCS, 2019, Montevideo.
11. BORDALLO, S.U.; BUENO, A.C.; LAGO, P.D.; LOURENZI, C.R. Acúmulo de cobre nas frações húmicas da matéria orgânica do solo em vinhedos na região sul de Santa Catarina. In: XXII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 2do Congreso Uruguayo de Suelos y X Encuentro de la SUCS, 2019, Montevideo.

12. BORDALLO, S.U.; BUENO, A.C.; SERPA, I.S.; MORAIS, G.P.; BRUNA, E.D.; LOURENZI, C.R. Cobre e zinco em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo na região de Urussanga (SC). In: XII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 2018, Xanxerê.

13. SERPA, I.S.; BORDALLO, S.U.; BUENO, A.C.; MORAIS, G.P.; BRUNA, E.D.; LOURENZI, C.R. Fósforo disponível e limite crítico ambiental em solos de vinhedos na região de Urussanga (SC). In: XII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 2018, Xanxerê. XII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo, 2018.

A obtenção e discussão dos dados oriundos dos estudos realizados por meio desse projeto, tem contribuído diretamente para o debate e a elucidação de lacunas existentes sobre a condição dos solos de vinhedos na pesquisa brasileira. Assim como a presente dissertação que objetiva esclarecer sobre o comportamento das formas de fósforo nos solos dos vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do Brasil.

RESUMO

A região sul do Brasil é a principal responsável pelo cultivo de *Vitis sp.*, com 52,9% da produção no país. A maioria dos solos nessa região são caracterizados por serem altamente intemperizados e com baixos teores de fósforo (P) disponível. A aplicação de fertilizantes fosfatados nos vinhedos é uma forma de suprir a deficiência de P no solo, a qual muitas vezes é realizada sem critérios técnicos, o que pode alterar as formas desse nutriente no solo. A alteração do P no solo pode ser avaliada através do fracionamento químico, obtendo-se as diferentes frações de P existentes e que contribuem de formas distintas na nutrição das plantas. Essas frações são influenciadas pelo tipo de solo e seus constituintes, histórico de adubações e manejo adotado, sendo que elevados incrementos em frações mais lábeis podem causar contaminação ambiental pela transferência desse nutriente para mananciais. Deste modo, o trabalho objetivou avaliar a alteração das frações de fósforo em solos de áreas de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no Sul do Brasil. As áreas selecionadas para o estudo se localizam nos municípios de Urussanga (US), em Santa Catarina, Bento Gonçalves (BG) e Santana do Livramento (SL), no Rio Grande do Sul. Nos três locais foram selecionadas três áreas de vinhedos cada, com históricos de cultivos crescentes (22, 36 e 60 anos – US; 35, 37 e 39 anos – BG; 13, 19 e 36 anos – SL), além de uma área de mata ou campo nativo adjacente aos vinhedos utilizada como referência. Amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em US e SL, e 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, em BG. No V39 e V36 de SL e BG também foram coletadas amostras na entrelinha de plantio para avaliar o efeito da presença de plantas de cobertura. As amostras de solo foram submetidas ao fracionamento químico de P com extrações sequenciais, sendo eles: resina trocadora de ânions em lâminas (P_{RTA}); NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{bic} e P_{obic}); NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid} e P_{ohid}); HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{HCl}); NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid05} e P_{ohid05}) e digestão ácida do solo remanescente (P_{residual}). Também foi calculado o Limite Crítico Ambiental de fósforo (LCA-P), a partir do $P_{\text{disponível}}$ da camada de 0-10 cm, das áreas avaliadas. Os maiores teores das frações de P nos vinhedos em US, BG e SL predominaram na camada superficial do solo. Em US, BG e SL as frações lábeis P_{RTA} e P_{bic} ocorreram em maiores teores nos V36, V35 e V13, respectivamente. O V36, V37 e V19 apresentaram os maiores incrementos nos teores P_{bic} , P_{ohid} e P_{ohid05} em US, BG e SL, respectivamente. As proporções de P biológico foram maiores em todas as camadas do solo nas áreas de vinhedos, exceto na camada superficial do solo do V60 em US. Os teores elevados de P no solo observados nas áreas de vinhedos estão acima do LCA-P estabelecido, com exceção ao V39 em BG, caracterizando-as com alto risco de contaminação ambiental.

Palavras-chave: Nutrição de plantas; fracionamento químico de P; *Vitis sp.*; viticultura; manejo de adubação.

ABSTRACT

The southern region of Brazil is the main responsible for the cultivation of *Vitis* sp., with 52.9% of the production in the country. Most soils in this region are characterized by being highly weathered and with low levels of available phosphorus (P). The application of phosphate fertilizers in vineyards is a way to overcome the deficiency of P in the soil, which is often carried out without technical criteria, which can change the forms of this nutrient in the soil. The alteration of P in the soil can be evaluated through chemical fractionation, obtaining the different fractions of P that exist and that contribute in different ways to plant nutrition. These fractions are influenced by the type of soil and its constituents, history of fertilization and management adopted, and high increments in more labile fractions can cause environmental contamination by transferring this nutrient to water sources. Thus, the study aimed to evaluate the alteration of phosphorus fractions in soils from vineyard areas with different cultivation histories in southern Brazil. The areas selected for the study are located in the municipalities of Urussanga (US), in Santa Catarina, Bento Gonçalves (BG) and Santana do Livramento (SL), in Rio Grande do Sul. with history of growing crops (22, 36 and 60 years – US; 35, 37 and 39 years – BG; 13, 19 and 36 years – SL), in addition to an area of forest or native field adjacent to the vineyards used as reference. Soil samples were collected in the layers of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, in US and SL, and 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20 cm, in BG. In V39 and V36 of SL and BG, samples were also collected between the planting rows to evaluate the effect of the presence of cover crops. Soil samples were subjected to chemical fractionation of P with sequential extractions, namely: anion exchange resin in slides (P_{RTA}); 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃ ($P_{i\text{bic}}$ and $P_{o\text{bic}}$); 0.1 mol L⁻¹ NaOH ($P_{i\text{hid}}$ and $P_{o\text{hid}}$); 1.0 mol L⁻¹ HCl ($P_{i\text{HCl}}$); 0.5 mol L⁻¹ NaOH ($P_{i\text{hid}05}$ and $P_{o\text{hid}05}$) and acid digestion of the remaining soil (P_{residual}). The Phosphorus Environmental Critical Limit (LCA-P) was also calculated from the available P of the 0-10 cm layer of the evaluated areas. The highest levels of P fractions in vineyards in US, BG and SL predominated in the topsoil. In US, BG and SL the labile fractions P_{RTA} and $P_{i\text{bic}}$ occurred at higher levels in V36, V35 and V13, respectively. V36, V37 and V19 showed the largest increments in $P_{o\text{bic}}$, $P_{o\text{hid}}$ and $P_{o\text{hid}05}$ contents in US, BG and SL, respectively. The proportions of biological P were higher in all soil layers in the vineyard areas, except in the upper V60 soil layer in US. The high levels of P in the soil observed in the vineyard areas are above the established LCA-P, with the exception of V39 in BG, characterizing them with a high risk of environmental contamination.

Keywords: Plant nutrition; Chemical fractionation of P; *Vitis* sp.; Viticulture; Fertilization management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica dos municípios de Urussanga (a), em Santa Catarina, Bento Gonçalves (b) e Santana do Livramento (c), no Rio Grande do Sul.	33
Figura 2 - Locais de coleta de solo referente as áreas de vinhedos do município de Urussanga (SC). V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo; M: Mata nativa - Área de referência.	34
Figura 3 - Representação dos históricos de cultivos dos vinhedos de Urussanga (SC).	35
Figura 4 - Locais de coleta de solo referente as Áreas de vinhedos do município de Bento Gonçalves – RS. M: Mata nativa; V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.	36
Figura 5 - Representação dos históricos de cultivos dos vinhedos de Bento Gonçalves (RS).	37
Figura 6 - Locais de coleta de solo referente as áreas de vinhedos do município de Santana do Livramento (RS). CN: Campo nativo; 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; VE36: entrelinha do V36.	38
Figura 7-Representação dos históricos de cultivos dos vinhedos de Santana do Livramento(RS).	38
Figura 8 - Variação dos teores das frações inorgânicas (a) e orgânicas (b) de P dos solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivos em relação as áreas de referência de Urussanga (US). V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo.	46
Figura 9 - Distribuição percentual das formas de P geoquímico ($P_{IRTA} + P_{Ibic} + P_{Ihid} + P_{Ihid05} + P_{IHCl}$) e P biológico ($P_{Obic} + P_{Ohid} + P_{Ohid05}$), em diferentes camadas nos solos dos vinhedos localizados em Urussanga (SC). V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo.	47
Figura 10 - Teores médios de $P_{disponível}$ e as respectivas médias do Limite Crítico Ambiental (LCA) na camada 0-10 cm nos solos dos vinhedos localizados em Urussanga (US). M: Mata nativa; V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo.	48
Figura 11 - Análise discriminante entre as áreas de vinhedos com diferentes históricos e a área de referência localizadas em Urussanga (SC), por ACP. M: Mata nativa; V22: vinhedo com 22	

anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo.	49
Figura 12 - Variação dos teores das frações inorgânicas (a) e orgânicas (b) de P dos solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em relação as áreas de referência de Bento Gonçalves (BG). V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.	52
Figura 13 - Distribuição percentual das formas de P geoquímico ($P_{iRTA} + P_{i_{bic}} + P_{i_{hid}} + P_{i_{hid05}} + P_{i_{HCl}}$) e P biológico ($P_{o_{bic}} + P_{o_{hid}} + P_{o_{hid05}}$), em diferentes camadas nos solos dos vinhedos localizados em Bento Gonçalves (RS). V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.....	53
Figura 14 - Teores médios de $P_{disponível}$ e as respectivas médias do Limite Crítico Ambiental (LCA) na camada 0-10 cm nos solos dos vinhedos localizados em Bento Gonçalves. M: Mata nativa; V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.	54
Figura 15- Análise discriminante entre as áreas de vinhedos com diferentes históricos e a área de referência localizadas em Bento Gonçalves (RS), por ACP. M: Mata nativa; V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.....	55
Figura 16 - Variação dos teores das frações inorgânicas (a) e orgânicas (b) de P dos solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivos em relação as áreas de referência de Santana do Livramento (SL). V13 (13 anos de histórico de cultivo), V19 (19 anos de histórico de cultivo), V36 e VE36 (linha e entrelinha do vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo).	58
Figura 17- Distribuição percentual das formas de P geoquímico ($P_{iRTA} + P_{i_{bic}} + P_{i_{hid}} + P_{i_{hid05}} + P_{i_{HCl}}$) e P biológico ($P_{o_{bic}} + P_{o_{hid}} + P_{o_{hid05}}$), em diferentes camadas nos solos dos vinhedos localizados em Santana do Livramento (RS). 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; VE36: entrelinha do V36.....	59
Figura 18 - Teores médios de $P_{disponível}$ e as respectivas médias do Limite Crítico Ambiental (LCA) na camada 0-10 cm nos solos dos vinhedos localizados em Santana do Livramento (SL). CN: Campo nativo; 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; VE36: entrelinha do V36. 60

Figura 19- Análise discriminante entre as áreas de vinhedos com diferentes históricos e a área de referência localizadas em Santana do Livramento (RS), por ACP. CN: Campo nativo; 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; VE36: entrelinha do V36. 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos dos solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Urussanga, Bento Gonçalves e Santana do Livramento.....	40
Tabela 2 - Fração inorgânicas de P extraída pela resina trocadora de ânions em lâminas (P_{RTA}), $NaHCO_3$ (P_{bic}), $NaOH$ $0,1\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid05}), HCl $1\ mol\ L^{-1}$ (P_{HCl}) e a fração residual ($P_{residual}$) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Urussanga. .	44
Tabela 3 - Frações orgânicas de P extraída pelo $NaHCO_3$ (P_{bic}), pelo $NaOH$ $0,1\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid05}) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Urussanga.	45
Tabela 4 - Fração inorgânicas de P extraída pela resina trocadora de ânions em lâminas (P_{RTA}), $NaHCO_3$ (P_{bic}), $NaOH$ $0,1\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid05}), HCl $1\ mol\ L^{-1}$ (P_{HCl}) e a fração residual ($P_{residual}$) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Bento Gonçalves.	49
Tabela 5 - Frações orgânicas de P extraída pelo $NaHCO_3$ (P_{bic}), pelo $NaOH$ $0,1\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid05}) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Bento Gonçalves.	51
Tabela 6 - Fração inorgânicas de P extraída pela resina trocadora de ânions em lâminas (P_{RTA}), $NaHCO_3$ (P_{bic}), $NaOH$ $0,1\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid05}), HCl $1\ mol\ L^{-1}$ (P_{HCl}) e a fração residual ($P_{residual}$) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Santana do Livramento.	56
Tabela 7 - Frações orgânicas de P extraída pelo $NaHCO_3$ (P_{bic}), pelo $NaOH$ $0,1\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid05}) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Santana do Livramento.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP - Análise de componentes principais

ATP – Trifosfato de adenosina

BG – Bento Gonçalves

C - Carbono

Ca - Cálcio

Cfa – Clima Subtropical mesotérmico úmido -Classificação climática de Köppen-Geiger

CN – Campo nativo

COT – Carbono orgânico total

CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo

Cu - Cobre

DNA - Ácido desoxirribonucleico

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Fe – Ferro

ha - Hectares

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K – Potássio

LCA-P – Limite crítico ambiental de fósforo

M – Mata nativa

Mg - Magnésio

MOL – Matéria orgânica leve

N - Nitrogênio

P - Fósforo

PC1 - Primeiro componente principal

PC2 - Segundo componente principal

Pi – Fósforo inorgânico

Pi_{bic} – Fósforo inorgânico extraído por bicarbonato de sódio

Pi_{HCl} - Fósforo inorgânico extraído por ácido clorídrico

Pi_{hid}- Fósforo inorgânico extraído por hidróxido de sódio 0,1 M

Pi_{hid05} - Fósforo inorgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 M

Po – Fósforo orgânico

Po_{bic}– Fósforo orgânico extraído por bicarbonato de sódio

Po_{hid} - Fósforo orgânico extraído por hidróxido de sódio 0,1 M

Po_{hid05} - Fósforo orgânico extraído por hidróxido de sódio 0,5 M

P_{Residual} - Fósforo residual

P_{RTA} - Fósforo inorgânico extraído por resina trocadora de ânions

RNA - Ácido ribonucleico

RS - Rio Grande do Sul

SC - Santa Catarina

SL – Santana do Livramento

TFSA – Terra fina seca ao ar

US - Urussanga

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1	Introdução.....	20
1.1	Objetivos.....	23
1.1.1	Objetivo geral	23
1.1.2	Objetivos específicos.....	23
1.2	Hipóteses.....	24
2	Revisão bibliográfica.....	25
2.1	A viticultura em Santa Catarina e Rio Grande do Sul	25
2.2	Manejo da adubação fosfatada em vinhedos	26
2.3	Fósforo em áreas de vinhedos.....	28
2.4	Frações de P no solo	29
2.5	Efeito das plantas de cobertura na dinâmica de P no solo	31
3	Material e Métodos	33
3.1	Descrição dos locais de estudos e dos tratamentos.....	33
3.2	Coleta de amostras de solo	39
3.3	Fracionamento químico de fósforo	41
3.4	Análises estatísticas	42
4	Resultados	43
4.1	Efeito do histórico de cultivo nas frações de P em Urussanga	43
4.2	Efeito do histórico de cultivo nas frações de P em Bento Gonçalves	49
4.3	Efeito do histórico de cultivo nas frações de P em Santana do Livramento.....	55
5	Discussão	62
6	Conclusões.....	68
7	Perspectivas de estudos futuros	69
	Referências	70

1 INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil é a principal responsável pelo cultivo de *Vitis sp.*, com 52,9% da produção no país. Os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina têm grande importância, pois representam 49,6% dessa produção, tanto para o processamento quanto para o consumo *in natura* (IBGE, 2019). Para a garantia do sucesso da produção dos vinhedos, a nutrição mineral e o manejo são essenciais para a qualidade do fruto.

Dentre os principais nutrientes que a planta necessita está o fósforo (P), um macronutriente que contribui diretamente na composição dos fosfolipídios, na síntese de DNA e RNA, além do ATP que fornecem às células vegetais a energia necessária para realizar todos os processos celulares metabólicos (HEUER et al., 2017). A maioria dos solos predominantes na região sul do Brasil são caracterizados por serem altamente intemperizados e com baixos teores de P disponível às plantas, entre elas as videiras. Isso se deve aos altos teores de óxidos de ferro (Fe) e Alumínio (Al), além do predomínio das argilas 1:1 (caulinita) no solo, o que ocasiona a adsorção do P aos sítios adsorptivos com alta energia (FINK et al., 2014).

A aplicação de fertilizantes fosfatados nos vinhedos é uma forma de suprir a deficiência de P no solo. Devido à alta capacidade de retenção desse nutriente pelos colóides do solo, a quantidade de P aplicado é, normalmente, superior à necessidade das plantas, ocasionando acúmulo no solo. Schmitt et al. (2014), ao avaliarem o acúmulo das formas de P na camada 0-20 cm em solo de vinhedo com histórico de cultivo de 33 anos e em mata nativa, utilizada como referência, observaram teores “muito altos” de P disponível, conforme interpretação da CQFS-RS/SC (2016), com valores de 28,8 e 136,4 mg kg⁻¹ para a mata nativa e vinhedo, respectivamente, evidenciando que as adubações realizadas aportam quantidades acima da necessidade das videiras. Consequentemente, solos com excesso de P apresentam riscos ambientais pela possibilidade de transferência desse elemento para mananciais e contaminação dos mesmos (CAPOANE et al., 2015; CERETTA et al., 2010; HUANG et al., 2020; LOURENZI et al., 2015) ou acúmulo de P em suas diferentes formas no solo (CERETTA et al., 2010b; TIECHER et al., 2013; TIAN et al., 2017).

O P no solo se encontra em formas orgânicas e inorgânicas, variando de acordo com a natureza química do ligante e a energia de ligação entre o elemento e as cargas dos grupos funcionais dos colóides do solo (GATIBONI et al., 2007). A dinâmica desse nutriente é alterada por diversos fatores, como a textura e o grau de intemperismo do solo, afetando a disponibilidade dessas formas de P para as plantas. O uso e o manejo do solo promovem alteração nas interações desse nutriente, como constatado por Pereira et al. (2010) que, ao avaliarem solo manejado sob sistema de plantio direto com uso de crotalaria como planta de

cobertura, observaram correlação positiva entre a matéria orgânica leve (MOL) e a fração de P-Remanescente no solo. Isso sugere que por meio das práticas conservacionistas há aumento nos estoques de carbono orgânico total (COT) e dos teores de MOL, que podem reduzir a adsorção de P no solo e possibilitar maior aproveitamento desse nutriente pelas espécies vegetais.

Os constituintes do solo também influenciam na dinâmica do P, que apresenta grande afinidade pelos coloides do solo, especialmente as partículas da fração argila. Estas partículas possuem maior área superficial específica, conseqüentemente, maior número de sítios adsorptivos. Logo, solos mais argilosos têm maior capacidade de adsorver P, diminuindo sua disponibilidade no solo.

Para o melhor entendimento sobre o ciclo e a dinâmica do P no solo, são realizadas análises de forma sequencial com diversas soluções extratoras que resultam na extração de frações de P com labilidades diferentes no solo (JÚNIOR et al., 2012). As soluções extratoras possuem força crescente de extração, quantificando as frações orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi), sendo elas: Resina trocadora de ânions (fração P_{RTA}), NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{i\text{bic}}$ e $P_{o\text{bic}}$), NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{i\text{hid}}$ e $P_{o\text{hid}}$), HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{HCl}), NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ($P_{i\text{hid}05}$ e $P_{o\text{hid}05}$) e a digestão do solo residual (P_{Residual}), conforme proposto por Hedley et al. (1982) com modificações de Condon et al. (1985).

Os teores de P nas frações podem ser modificados através do histórico de adubações realizado na cultura e também variam de acordo com a natureza do adubo utilizado, podendo ser mineral ou orgânico. Ao estudarem duas áreas de vinhedos com diferentes históricos de cultivo (13 e 31 anos, respectivamente), comparadas ao campo nativo, Brunetto et al. (2013) verificaram incremento nos teores de P em frações lábeis e moderadamente lábeis, especialmente nas camadas superficiais do solo. Também observaram aumento nos teores de P na fração P_{RTA} que, considerando a camada 0-20 cm, apresentou teores médios de 3,9, 12,4 e $14,9 \text{ mg kg}^{-1}$ na área de campo nativo, vinhedos com 13 e 31 anos de histórico, respectivamente, evidenciando que o manejo da adubação dos vinhedos afetou a quantidade de P disponível na solução do solo.

Alguns estudos buscam consolidar parâmetros para determinar a quantidade de P que pode ser aplicado no solo sem haver potencial contaminante, no caso do estado de Santa Catarina, é utilizado o Limite Crítico Ambiental de P (LCA-P). O LCA-P é baseado em uma equação que considera o teor de já existente de $P_{\text{disponível}}$ (extraído por Melich 1) e o teor de argila no solo, resultando na quantidade máxima de $P_{\text{disponível}}$ que pode existir no solo sem implicar na contaminação de recursos hídricos (GATIBONI et al., 2014). O estabelecimento do

LCA-P dos solos de vinhedos pode auxiliar a esclarecer a situação dessas áreas, visto que pouco é explorado na pesquisa sobre esses valores para os vinhedos sob as condições do Sul do Brasil.

Apesar das aplicações de P por meio de adubações fosfatadas ser prática consolidada, ainda se fazem necessários estudos para elucidar o comportamento das frações de P em vinhedos com históricos de manejos distintos no sul do Brasil, com o intuito de melhorar a estratégia de adubação fosfatada, minimizando os custos de produção e os riscos ambientais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as alterações das frações de fósforo em solos de áreas de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no Sul do Brasil.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Quantificar as frações orgânicas de fósforo em solos de vinhedo e avaliar como essas frações são alteradas em áreas com diferentes históricos de cultivos;
- b) Quantificar as frações inorgânicas de fósforo em solos de vinhedos e avaliar o seu comportamento de acordo com a textura do solo.
- c) Determinar o limite crítico ambiental de fósforo em áreas de vinhedos do sul do Brasil.

1.2 HIPÓTESES

- 1) Os vinhedos com maior tempo de histórico de cultivo, pela constante deposição dos resíduos vegetais na superfície do solo, apresentam maiores teores de P nas frações orgânicas em comparação aos vinhedos com menor tempo de histórico de cultivo;
- 2) Vinhedos com solo de textura mais arenosa apresentam maiores teores de P inorgânico, potencializando a maior migração de P para camadas mais profundas do solo devido à saturação dos sítios adsortivos nas camadas superficiais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A VITICULTURA EM SANTA CATARINA E RIO GRANDE DO SUL

Os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul são responsáveis por 3,8% e 45,7% da produção nacional de uva, respectivamente, (IBGE, 2019). Apesar de ter uma menor participação na produção nacional, a evolução da vitivinicultura em solo catarinense apresenta características semelhantes ao que ocorreu no Rio Grande do Sul. As primeiras tentativas de produzir uvas em solo catarinense aconteceram com chegada dos colonizadores açorianos no século XVIII, porém a atividade não progrediu (SOUSA, 1996). Assim, a produção vinícola catarinense só veio a se concretizar com a vinda dos imigrantes italianos no final do século XIX, tornando-se uma atividade de exploração agrícola tradicional, com grande importância socioeconômica, principalmente nas regiões do Vale do Rio do Peixe e de Urussanga (BRDE, 2005). Existem três regiões principais na produção de vinhos em Santa Catarina e que são divididas de acordo com a tradição da cultura: tradicional, nova e supernova.

A região Carbonífera (municípios de Urussanga, Pedras Grandes, Braço do Norte, Nova Veneza e Morro da Fumaça) é classificada como tradicional, na qual a sua base histórica é o vinho colonial, sendo essa a região utilizada no presente estudo. Essa região tem o reconhecimento pela ótima qualidade da uva Niágara, destinada ao consumo *in natura* e o cultivo da variedade Goethe, que possui indicação geográfica. A região apresenta, de acordo com a classificação de Köppen, clima mesotérmico úmido, caracterizado pela ocorrência de chuvas bem distribuídas e por verões quentes (Cfa). A temperatura média mensal nos meses mais frios varia de 12°C a 15,1°C, e nos meses mais quentes alcança a média mensal de 23,4°C a 25,9°C. Por fim, a região apresenta precipitação média anual de 1.220 mm a 1.660 mm (VIEIRA; GARCIA; BRUCH, 2015). Fazendo um recorte para o município de Urussanga, os solos predominantes são Argissolos e Cambissolos que, devido ao relevo variando de ondulado a forte ondulado, apresentam restrições de uso por causa da suscetibilidade à erosão (DUFLOTH et al., 2005). A estrutura fundiária de Urussanga é na sua maioria desenvolvida em pequenas propriedades ou minifúndios (MARIOT, 2002), sendo caracterizada pelo predomínio da agricultura familiar e a tradição na produção de uvas.

A região da Serra Gaúcha é considerada a maior produtora de vinhos finos do estado do Rio Grande do Sul e a maior região vitícola do país, destacando-se o município de Bento Gonçalves. É caracterizada por uma viticultura vinculada à imigração italiana, sendo uma atividade realizada em pequenos propriedades rurais e majoritariamente com a presença da mão-de-obra familiar (FLORES et al., 2012). O clima dessa região, segundo a classificação de

Köppen, é do tipo Cfb, subtropical com verão ameno. A temperatura média anual é de 17,2°C, sendo junho o mês mais frio, com temperatura média de 12,8°C, e janeiro o mês mais quente, com temperatura média 21,8°C. A precipitação pluvial total anual é de 1.736 mm (EMBRAPA, 2008). A temperatura na Serra Gaúcha é afetada principalmente pelo relevo que é considerado complexo, acidentado e apresenta grandes variações de altitude (FLORES et al., 2012). Os vinhedos localizados nessa região, na sua grande maioria, estão localizados em terrenos com declividade média a alta, com os solos apresentando baixa profundidade efetiva (ZALAMELA et al., 2016). Essas condições implicam em maior suscetibilidade à erosão do solo, abrangendo a perda de sedimentos e também o carreamento de nutrientes ao longo da paisagem, principalmente o P que está adsorvido às partículas reativas do solo.

Já a região da Campanha Gaúcha possui um sistema de produção diferenciado, com caráter mais empresarial, capitalizado e mecanizado, no qual o município de Santana do Livramento é destaque como polo de produção (PORRO; STEFANINI, 2016). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região da Campanha é do tipo Cfa, um clima subtropical úmido com verões quentes. A precipitação pluvial total anual varia de 1.300 a 1.500 mm, sendo mais baixa quando comparada à Serra Gaúcha (GIOVANNINI; MANFROI, 2013). Os solos com os vinhedos nessa região apresentam características bem diferentes daquelas descritas na Serra Gaúcha. A topografia é de baixa declividade e relativamente plana, característica que viabiliza o cultivo mecanizado. A textura do solo é predominantemente arenosa, com baixa fertilidade natural e necessidade de correção da acidez (MEDEIROS et al., 2013), além de maior infiltração de água no perfil do solo, potencializando a migração de nutrientes no perfil do solo (ZALAMELA et al., 2016).

As três regiões vitícolas apresentam características distintas entre as suas condições edafoclimáticas, estrutura fundiária, cadeias produtivas da uva/vinho, etc., sendo essas diferenças refletidas na forma de condução e no manejo dos vinhedos.

2.2 MANEJO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA EM VINHEDOS

As altas doses de P aplicadas para garantir a produção das culturas, devido à baixa disponibilidade natural de P no solo, se constitui no principal problema em relação ao manejo da adubação fosfatada. Roy et al. (2016) afirmam que na produção agrícola brasileira, no período de 2008 a 2012, cerca de 52% da adubação fosfatada inorgânica aplicada no solo foi aproveitada pelas culturas, demonstrando que pode haver estratégias para potencializar o uso desse insumo. A adubação fosfatada, utilizada para assegurar a produção nos vinhedos, é um

dos custos de produção mais relevantes nesse cultivo, atingindo 6% dos custos totais (COUTINHO et al., 2012).

Na implantação de vinhedos novos, a correção da acidez e dos níveis dos nutrientes no solo é realizada três meses antes do transplante das videiras, por meio da interpretação de resultados de análise do solo. O P no solo é suprido pela aplicação de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio de forma superficial e incorporado até a profundidade de 0,20 m, com base nos teores de P já disponíveis no solo. Posteriormente a instalação dos vinhedos, não é realizada nenhuma adubação de crescimento (três primeiros anos de plantio) com fertilizantes fosfatados pois se assume que a quantidade aplicada de P no pré-plantio é suficiente para a nutrição da planta (CQFS-RS/SC, 2016). A adubação de manutenção se baseia no teor de P nas folhas, sendo aplicada preferencialmente no período hibernar, na linha de plantio e na projeção da copa da planta (BRUNETTO et al., 2011).

Entretanto, nem sempre as tabelas de recomendação de calagem e adubação são seguidas pelos viticultores, ou pode haver desajustes nas doses recomendadas, o que pode provocar acúmulo de P em áreas de produção em frutíferas ao longo do tempo. Liu et al. (2021) avaliaram a distribuição vertical de P até a profundidade de 600 cm no solo de pomares de maçãs com diferentes históricos de cultivo na China, havendo áreas com os pomares recém implantados, áreas com 8, 17 e 25 anos de cultivo. O maior acúmulo de P foi observado nos pomares com 25 anos de cultivo na camada de 0-20 cm, e na camada 20-40 cm os teores de P foram semelhantes nos pomares de 17 e 25 anos de cultivo. A variação nos teores de P das camadas mais profundas não foram consideradas relevantes frente aos diferentes históricos de cultivo, sendo classificada a camada de 0-40 cm como ativa em relação a dinâmica do P no solo e nutrição das macieiras. Isso se deve à maior quantidade de P aplicada ao longo do tempo nos pomares de 25 anos de cultivo, no qual foi estimado no balanço de P na camada 0-40 cm, que para cada 100 kg ha⁻¹ de P aplicado os teores foram incrementados em 0,7 mg dm⁻³ de P no solo.

Em relação ao acúmulo de P nos solos de cultivo de videiras, Zhao et al. (2019) avaliaram os atributos químicos do solo, dentre eles os teores de P, em 73 vinhedos localizados em três distritos em Shanghai. Uma das comparações do impacto nos atributos do solo dos vinhedos foi pela idade de plantio, sendo dividido em três grupos: 1-5 anos, 6-10 anos e mais que 10 anos de plantio das videiras. Os autores verificaram que os vinhedos com mais de 10 anos de plantio obtiveram os maiores teores de P no solo, sendo o teor médio de 172,98 mg dm⁻³, demonstrando que a fertilização fosfatada realizada em excesso incrementou mais os teores de P nos vinhedos com maior histórico de cultivo. Os teores de P no solo dos vinhedos com

mais de 10 anos de plantio foram classificados, segundo os métodos de interpretação utilizados na região de estudo, em uma faixa “Extra-alto”, superior a 60 mg dm^{-3} , no qual essas áreas de vinhedos tornam-se fontes potenciais de transferência de P na paisagem.

2.3 FÓSFORO EM ÁREAS DE VINHEDOS

O P desempenha papel estrutural e funcional no metabolismo vegetal sendo considerado essencial para as plantas. Entretanto, devido às características dos solos tropicais esse nutriente é o mais limitante na produção agrícola (NUNES et al., 2008). No solo, o P se distribui em formas orgânicas e inorgânicas, sendo que em relação a natureza do ligante, o P orgânico pode ser diéster ou monoéster, enquanto o P inorgânico está ligado com Fe, Al, Ca, argilas silicatadas e óxidos de Fe e Al (JÚNIOR et al., 2012). Além disso, embora seja difícil saber exatamente o grau de labilidade das frações orgânicas e inorgânicas, é possível estabelecer três “pools” dentro desses compartimentos: lábil, moderadamente lábil e pouco lábil (RHEINHEIMER et al., 2020). As frações de P consideradas lábeis são adsorvidas com baixa energia de ligação nos argilominerais e passíveis de serem mineralizadas pelos microrganismos. O P moderadamente lábil é aquele retido com maior energia que o P lábil e por isso tem liberação mais lenta, acumulando no solo. O P pouco lábil é considerado recalcitrante, ou seja, menos disponível. A labilidade varia de acordo com diversos fatores, como grau de intemperismo do solo, mineralogia, teor de matéria orgânica, características físico-químicas e atividade biológica do solo, e também da vegetação predominante (RHEINHEIMER; GATIBONI; KAMINSKI, 2008). O acréscimo nos teores das formas de maior labilidade de P no solo se deve pela saturação dos grupos funcionais reativos ao P, no qual a adsorção dos fosfatos se dá primeiramente nos grupos protonados e localizados nas superfícies dos minerais, posteriormente em grupos menos acessíveis física e quimicamente. Conforme são realizadas as fertilizações fosfatadas, os grupos mais reativos vão sendo saturados e a energia de ligação dos fosfatos adsorvidos diminui, tornando as adubações fosfatadas mais efetivas em relação à disponibilidade de P para a nutrição vegetal (RHEINHEIMER et al., 2020).

Nas áreas de vinhedos do sul do Brasil, devido ao histórico de adubações ao longo dos anos, há aumento das formas lábeis de P no solo, o que aumenta a disponibilidade para as plantas, mas também potencializa as possíveis transferências de P para mananciais, especialmente por escoamento superficial. Nesse sentido, em estudo realizado por Brunetto et al. (2018) em diferentes áreas de vinhedos no município de Urussanga, com 4 e 15 anos de cultivo, os teores médios de P disponível no solo encontrados na camada 0-20 cm foram de 51,1

e 367 mg dm^{-3} , respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Schmitt et al. (2014) que avaliaram a mesma camada de solo em um vinhedo de 33 anos no município de Bento Gonçalves, obtendo teor médio de $136,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de P disponível no solo. Ambos os solos avaliados nos estudos citados apresentam teores de P disponível acima de 40 mg dm^{-3} , considerados “muito alto” de acordo com o sistema de recomendação de calagem e adubação do Sul do Brasil (CQFS- RS/SC, 2016), sendo excessivo no solo e indicativo de adubações fosfatadas acima da exigência da cultura. Na Serra Gaúcha foi constatado, em um levantamento de fertilidade de solo de vinhedos da região, que cerca de 70% das amostras de solo analisadas se enquadraram na classe “Muito Alto” de P disponível (ZALAMELA et al., 2016).

Em contexto de outra área de intensa produção vitícola no Brasil, o Vale do São Francisco, Preston et al. (2016) avaliaram os teores de metais pesados no solo em vinhedos com diferentes tempos de cultivo. As amostras de solo foram coletadas em vinhedos com histórico de 5, 6, 8, 10, 12, 15, 16 e 30 anos de cultivo, no qual foram observados altos teores de P disponível nas amostras coletadas. Os teores obtidos nos vinhedos foram de 1035,0, 238,0, 378,0, 535,0, 374,0, 77,0, 290,0 e 248,0 mg dm^{-3} de P disponível no solo, respectivamente, demonstrando o efeito das excessivas aplicações de fertilizantes fosfatados nessas áreas de vinhedos.

Um método utilizado para a avaliação do potencial contaminante do P em solos, é o cálculo do limite crítico ambiental para o P (LCA-P). Gatiboni et al. (2014) desenvolveram essa metodologia, com base nas proporções de argila do solo e os teores de P (extraídos por Melich-1) existentes na camada 0-10 cm do solo, que considera quando o solo recebe níveis muito elevados de P e perde a capacidade de retenção desse elemento, começando a liberá-lo na solução do solo, sendo este o LCA-P e tendo o potencial de ocasionar problemas ambientais.

2.4 FRAÇÕES DE P NO SOLO

As frações orgânicas e inorgânicas de P no solo podem atuar como fonte ou dreno para a solução do solo, variando de acordo com as condições da produção agrícola. Diversos fatores afetam a dinâmica de P no solo, como a textura e o grau de intemperismo do solo, no qual a disponibilidade de P está diretamente relacionado com o teor de argila, sendo que quanto maior o seu teor e maior o tempo de contato do íon fosfato com a fração mineral maior será a adsorção de P (MACHADO; DE SOUZA, 2012). Frente à essa limitação, o P considerado de origem orgânica se torna relevante. Pereira et al.(2010) afirmam que o P oriundo da mineralização da matéria orgânica do solo é disponibilizado para as plantas, sendo menos suscetível à

precipitação e adsorção na fase mineral do solo. Além disso, a habilidade das espécies vegetais em acessar a reserva de P considerada de menor labilidade no solo também afeta a dinâmica desse nutriente. Isso é resultado de diferentes estratégias das espécies para assimilarem o P do solo que se expressam nas diferenças morfológicas das raízes, associações micorrízicas, pH da rizosfera, exsudação de fosfatases e ácidos orgânicos de baixo peso molecular (TIECHER et al., 2012).

Além da classificação como P inorgânico e orgânico, são utilizadas outras metodologias para se estudar o P existente no solo. As diferentes frações orgânicas e inorgânicas que contribuem distintamente na nutrição das plantas são analisadas sequencialmente com soluções extratoras, como o fracionamento químico do P no solo proposto por Hedley et al. (1982) com modificações de Condon et al. (1985). As frações consideradas lábeis e que contribuem diretamente para a nutrição vegetal são as frações P_{RTA} , $P_{i_{bic}}$ e $P_{o_{bic}}$, também suscetíveis às transferências no ambiente (GATIBONI et al., 2007). As frações $P_{i_{hid}}$, $P_{o_{hid}}$, $P_{i_{hid05}}$ e $P_{o_{hid05}}$ são as que representam o P inorgânico ligado aos óxidos e às argilas silicatadas com energia de ligação intermediária, e o P orgânico oriundo das frações moderadamente lábeis (CROSS & SCHLESSINGER, 1995). Elas contribuem nas frações mais lábeis de acordo com a demanda de P através de um efeito cascata (TIECHER et al., 2018). A fração $P_{i_{HCl}}$ está associada ao P inorgânico que compõe os fosfatos de cálcio e também adsorvido aos coloides pelo complexo de esfera interna (GATIBONI et al., 2008). Por fim a fração residual no solo e menos lábil, é o $P_{Residual}$ que se refere as frações inorgânicas e orgânicas recalcitrantes que podem contribuir para a nutrição das plantas em caso de depleção das outras formas de P mais lábeis no solo (GATIBONI et al., 2005).

Os teores das frações de P existentes no solo podem ser modificados através do histórico de adubações realizado na cultura e também variam de acordo com a natureza do adubo utilizado, podendo ser mineral ou orgânico. O acúmulo de P no solo ao longo do tempo ocorre nas frações orgânicas e inorgânicas, variando de acordo com o manejo realizado. Apesar de ser mais expressivo nas frações P_i , esse acúmulo também é observado nas frações P_o , principalmente na camada 0-10 cm, correspondente aos acúmulos de COT na mesma camada do solo. Nesse sentido, Schmitt et al. (2019) avaliaram a dinâmica das frações de P no solo em vinhedos com histórico de 62 anos de adubação com cama de aves, e constataram aumento em todas as frações inorgânicas, principalmente na P_{RTA} , $P_{i_{bic}}$ e $P_{i_{hid}}$ na camada 0-10 cm, quando comparadas às áreas de referência. Além disso, também observaram acúmulo nas frações orgânicas ($P_{o_{bic}}$ e $P_{o_{hid05}}$) na mesma camada, porém não afetou o estoque de P_o em relação a área de referência.

Por mais que o incremento nos teores de P das frações orgânicas ou de menor labilidade não sejam expressivas para a nutrição de plantas, elas podem contribuir indiretamente ao longo do tempo, como observado por Tiecher et al. (2018). Esses autores avaliaram o solo de uma área manejada há 23 anos sob sistema plantio direto e constataram efeito cascata das frações $P_{\text{hid}05}$ e P_{hid} , as quais incrementam a fração P_{bic} e, conseqüentemente, a fração P_{RTA} , evidenciando a contribuição das reações biológicas no ciclo do P com a deposição dos resíduos vegetais na superfície do solo. No mesmo estudo também foi avaliada uma área manejada sob sistema de preparo convencional a qual, além do efeito cascata nas mesmas das frações orgânicas ocorridas na área sob sistema de plantio direto, apresentou contribuição direta da fração P_{hid} na manutenção dos teores da fração P_{RTA} . Isso demonstra que a mineralização das frações orgânicas com labilidade moderada, como P_{hid} , é capaz de colaborar com a nutrição de plantas, tamponando os teores da fração P_{RTA} .

2.5 EFEITO DAS PLANTAS DE COBERTURA NA DINÂMICA DE P NO SOLO

O uso de plantas de cobertura em rotação de culturas, em sucessão ou consórcio, é justificado pelos diversos benefícios promovidos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo aumentando a qualidade do solo, evitando processos erosivos e promovendo a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta (LOSS et al., 2015; SOUZA et al., 2013; DUARTE et al. 2014).

A dinâmica do P está atrelada à essas propriedades do solo, a qual também é afetada pelo cultivo das plantas de cobertura. As espécies vegetais utilizadas comumente na região Sul do Brasil são principalmente das famílias Fabaceae (leguminosas) e Poaceae (gramíneas), podendo ser cultivadas solteiras ou consorciadas com outras culturas de interesse comercial, como no caso dos vinhedos. Alguns exemplos são a aveia (*Avena strigosa* Schreb), o centeio (*Secale cereale* L.), o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e a ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.) (REDIN et al., 2016).

As estratégias de obtenção de P pelas espécies de plantas de cobertura são diversas e variam de acordo com os mecanismos de adaptação de cada espécie, sendo principalmente: o aumento da relação raiz/parte aérea; aumento da quantidade, espessura e formato dos pêlos radiculares para exploração de maior volume do solo; pela associação micorrízica no qual as hifas dos fungos também aumentam área radicular; a exsudação radicular de enzimas fosfatases ácidas ou compostos orgânicos de baixo peso molecular que por meio da ocupação ou troca de

ligantes nos sítios de adsorção dos argilominerais, induz a mobilização de P para a solução do solo (LAJTHA; HARRISON, 1995; KUNZE et al., 2011; RHEINHEIMER et al., 2019).

Alguns estudos demonstram a influência das plantas de cobertura nas áreas de vinhedo, como Guzmán et al. (2019) que avaliaram o impacto do manejo do solo com plantas de cobertura cultivadas nas entrelinhas e vinhedos sem cobertura de solo no Sul da Espanha. Os autores observaram diferenças na estabilidade de agregados, diversidade de plantas e, principalmente, nos teores de carbono orgânico do solo, com maiores valores nos vinhedos com a presença de plantas de cobertura. Com o aumento da matéria orgânica nas camadas superficiais em decorrência da deposição dos resíduos culturais, ocorre redução dos sítios de adsorção de P, como óxidos de Al e Fe, pelo recobrimento da superfície dos mesmos com moléculas orgânicas. Logo, é possível reduzir a fixação de P e haver melhor aproveitamento desse nutriente pelas plantas (CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004).

Em outro estudo, foi analisado o estado nutricional, o vigor e a produção de uva em videiras consorciadas com espécies anuais e com plantas de cobertura (anuais e perenes) submetidas a roçada com deposição na linha ou na entrelinha do cultivo da videira (ZALAMENA et al., 2013). Nas duas safras analisadas, apesar do teor de P nas folhas ter sido menor nos tratamentos com plantas de cobertura, as videiras consorciadas com as espécies anuais (aveia branca, trigo mourisco e azevém) apresentaram maiores rendimento de uva, vigor e teor de N total nas folhas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDOS E DOS TRATAMENTOS

As áreas usadas para o estudo estão localizadas nos municípios de Urussanga, no estado de Santa Catarina (SC), Bento Gonçalves e Santana do Livramento, no estado do Rio Grande do Sul (RS) (Figura 1). Em cada município foram selecionadas três áreas de vinhedos com diferentes históricos de cultivo, sendo denominadas de acordo com os anos de cultivo de cada vinhedo além de uma área de mata (M) ou campo nativo (CN), adjacentes aos vinhedos, que foram utilizadas como referência às condições naturais do solo de cada região.

Figura 1 - Localização geográfica dos municípios de Urussanga (a), em Santa Catarina, Bento Gonçalves (b) e Santana do Livramento (c), no Rio Grande do Sul.



Em Urussanga, na região sul de SC, os vinhedos usados possuem o solo classificado como Cambissolo Húmico (SANTOS et al., 2013). O clima da região é do tipo Cfa, mesotérmico úmido, sem estação seca definida e com verões quentes, conforme classificação de Köppen, e possui médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar de 19,2 °C, 1540 mm, e 81,5 %, respectivamente (URUSSANGA, 2014). As áreas selecionadas foram: V22 - com 22 anos de cultivo, implantado em 1995, erradicado em 2010 e com novas videiras implantadas em 2012 (28° 29'43.0" S, 49° 15'03.4" W); V36 - com 36 anos de cultivo, implantado em 1981 e erradicado em 2004 sendo implantado outro vinhedo nessa área em 2006 (28° 29'41.1" S, 49° 15'12.5" W); V60 - com 60 anos de cultivo (28° 29'37.8" S, 49° 13'44.4" W) e M - área de mata nativa, adjacente aos vinhedos (28° 29'44.5" S, 49° 15'12.1" W) (Figura 2). As áreas V22 e V36 possuíam a cultivar *Niágara Rosa* e o V60 a cultivar *Goethe*, ambas enxertadas sobre o porta-enxerto *Paulsen* e conduzidas em sistema latada. O espaçamento entre plantas nos três vinhedos foi de 1,5 x 3,0 m, totalizando 2400 plantas ha⁻¹. As aplicações de calcário realizadas nas áreas foram feitas de forma distinta, sendo que no V22 foi realizada no ano de 2010, antes da implantação do segundo vinhedo, enquanto no V36 foram realizadas duas

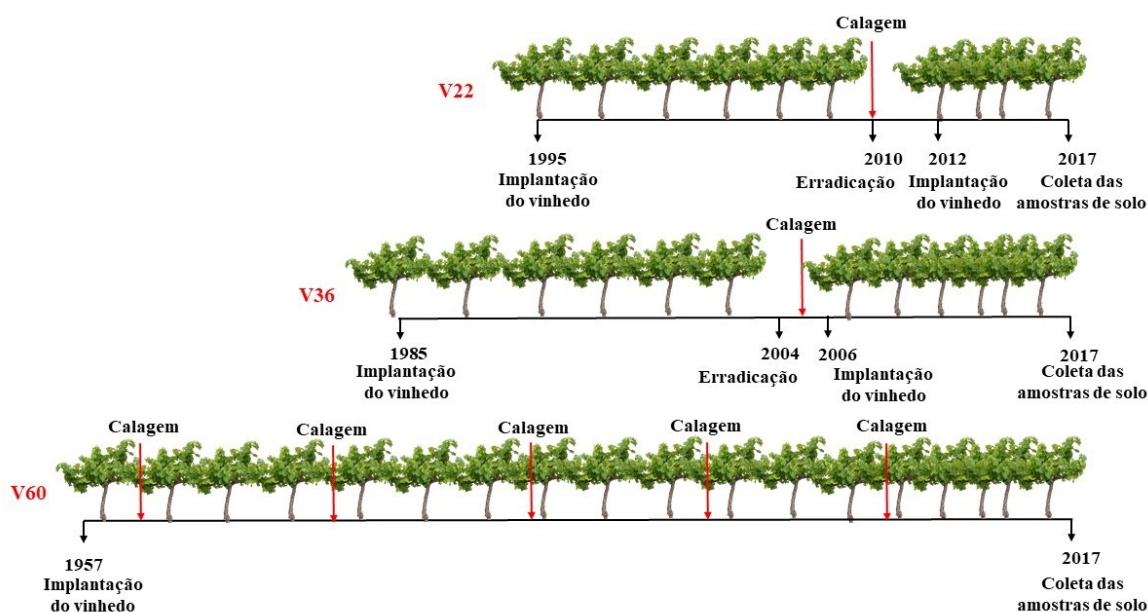
aplicações de calcário, a primeira em 1985 e a segunda em 2005. Em ambas as áreas a aplicação foi superficial seguida de incorporação até 20 cm de profundidade. No V60, foram realizadas cinco aplicações de calcário ao longo do seu histórico de cultivo, sempre em superfície sem incorporação. A adubação é realizada periodicamente nas três áreas, utilizando o manejo convencional e os tratos culturais exigidos pelo cultivo (Figura 3).

Figura 2 - Locais de coleta de solo referente as áreas de vinhedos do município de Urussanga (SC). V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo; M: Mata nativa - Área de referência.



Os V22 e V36 possuem, no inverno, predomínio de azevém (*Lolium multiflorum*) e nabo (*Brassica rapa* L.), cultivadas como plantas de cobertura, e no verão permanecem somente as plantas espontâneas, com predomínio de milhã (*Digitaria ciliaris*), picão branco (*Galinsoga* spp) e língua de vaca (*Rumex obtusifolius*). Já o V60 possui poucas plantas espontâneas ao longo do ano. A vegetação das entrelinhas normalmente é roçada no mês de setembro, sendo os resíduos depositados sobre o solo. A vegetação da linha é dessecada com herbicida não residual, também no mês de setembro de cada ano. Os ramos são podados no inverno e depositados sobre o solo nos três vinhedos.

Figura 3 - Representação dos históricos de cultivos dos vinhedos de Urussanga (SC).



Os municípios de Bento Gonçalves e Santana do Livramento se localizam nas regiões da Serra Gaúcha e Campanha Gaúcha (RS), respectivamente. A região da Serra Gaúcha está localizada a uma altitude de 600 a 800 m, apresentando médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar de 1.700 mm, 17,2°C e 76%, respectivamente. A região da Campanha Gaúcha está localizada a uma altitude de 100 a 300 m, apresentando médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar de 1.370 mm, 18,4°C e 75%, respectivamente (EMBRAPA, 2014).

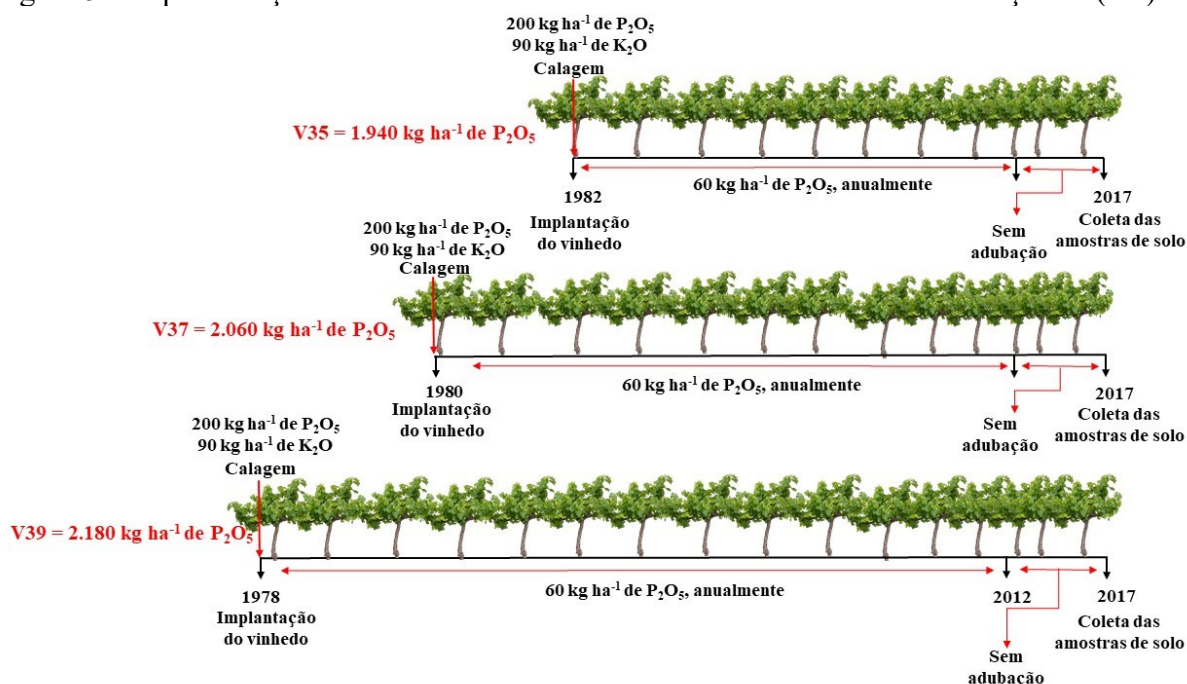
No município de Bento Gonçalves (RS), o vinhedo mais recente foi instalado em 1982 (V35 – 35 anos) (29° 09'50" S, 51° 32'04" W), o V37 foi instalado em 1984 (37 anos) (29° 09'48" S, 51° 31'44" W) e o vinhedo mais antigo (V39) foi instalado em 1978 (39 anos) (29° 09'43" S, 51° 31'43" W) (Figura 4). Os vinhedos apresentavam a cultivar Isabel (*Vitis labrusca* L.), plantadas em pé-franco, em sistema de condução latada em uma densidade de 1.429 plantas ha⁻¹ (2,2 x 3,5 m). Antes da instalação dos vinhedos, o solo foi corrigido com calcário aplicado na superfície do solo, seguido por incorporação para elevar o pH do solo a 6,0. Na adubação de pré-plantio foram aplicados nos vinhedos 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, como superfosfato triplo e 90 kg ha⁻¹ de K₂O em forma de cloreto de potássio, ambos aplicados na superfície do solo e incorporado. Após a implantação e durante todo os anos, que representam a fertilização de manutenção de aproximadamente 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo na superfície do solo, sem incorporação. Ao longo dos anos, na linha das videiras foram realizadas

as aplicações periódicas de herbicidas para controle de plantas espontâneas. Considerando que, nas entrelinhas, a vegetação espontânea composta por *Lolium perenne*, *Paspalum notatum* e *Trifolium repens*, foi mantida. Periodicamente esta vegetação foi roçada e seus resíduos depositados na superfície do solo. Os principais fungicidas utilizados nas áreas são: delan, captan, folpan, manzate, curzate e, em média, são realizadas 16 aplicações por ano. Anualmente são realizadas 3 aplicações de calda bordalesa e fazem 5 anos (até o momento da coleta) que não são aplicados fertilizantes nos vinhedos. A quantidade de fertilizante fosfatado nos vinhedos até o momento da coleta de amostras de solo totalizou em 1.940,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no V1, 2.060,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no V2 e 2.180,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no V3. (Figura 5).

Figura 4 - Locais de coleta de solo referente as Áreas de vinhedos do município de Bento Gonçalves – RS. M: Mata nativa; V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.



Figura 5 - Representação dos históricos de cultivos dos vinhedos de Bento Gonçalves (RS).

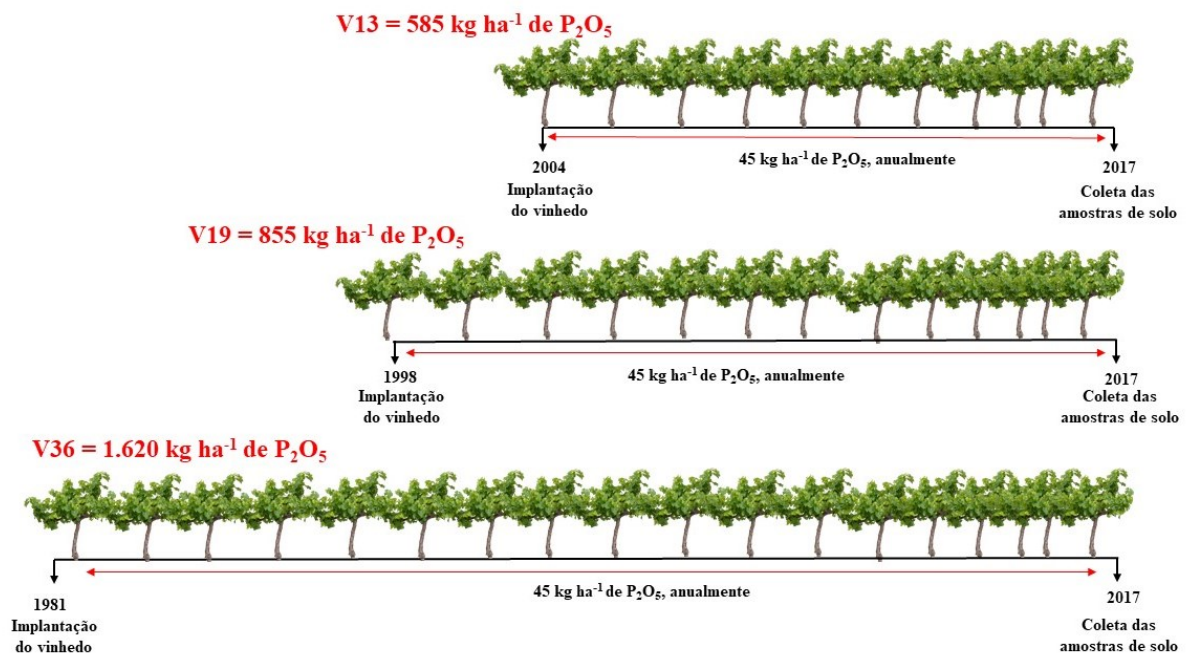


No município de Santana do Livramento (RS) o vinhedo histórico de cultivo mais recente (V13) foi implantado em 2004, com 13 anos, em uma área de 4,73 ha (30° 46'41" S, 55° 22'34" W), o V19 foi implantado em 1998, com 19 anos, em 5,30 ha (30° 47'44 " S, 55° 21'56" W), e o V36 foi implantado em 1981, com 36 anos, em uma área de 6,45 ha (30°46'59.08"S 55°21'10.44"W) (Figura 6). Na área de campo nativo (CN) (30° 47'28.66" S 55° 21'55.87" W), as principais espécies encontradas são: *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Desmodium incanum*, *Ageratum conyzoides* L., *Chevreulia acuminata* Less e *Cyperus brevifolius*. Os vinhedos apresentam a cultivar Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*), enxertada sobre o porta-enxerto SO4 (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*), sendo cultivada em sistema espaldeira. Anualmente em cada vinhedo foram aplicados 45 kg de P₂O₅ ha⁻¹, totalizando as quantidades de fertilizantes fosfatados aplicados em 585,0 kg de P₂O₅ ha⁻¹ no V13, 855,0 kg de P₂O₅ ha⁻¹ no V19 e 1.620,0 kg de P₂O₅ ha⁻¹ no V36 (Figura 7).

Figura 6 - Locais de coleta de solo referente as áreas de vinhedos do município de Santana do Livramento (RS). CN: Campo nativo; 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; VE36: entrelinha do V36.



Figura 7-Representação dos históricos de cultivos dos vinhedos de Santana do Livramento(RS).



3.2 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

As amostras de solo foram coletadas em 2017, em todos os locais. Em cada área foram abertas três trincheiras com o auxílio de pá de corte, trado holandês e uma faca, e coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, em Urussanga (SC) e Santana do Livramento (RS), e nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, em Bento Gonçalves (RS). Nas áreas de Santana do Livramento e Bento Gonçalves, foram coletadas amostras nas entrelinhas de plantio dos vinhedos com maior histórico de cultivo nas profundidades descritas anteriormente, com o intuito de avaliar o efeito da presença de plantas de cobertura nas entrelinhas e ausência de plantas nas linhas das videiras. Em Urussanga, não foi coletado nas entrelinhas pela ausência de plantas de cobertura no V60. As amostras de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Solo, Água e Tecidos Vegetais do Departamento de Engenharia Rural da UFSC, secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com a malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

Na TFSA foram determinados os seguintes atributos do solo: areia, silte e argila, pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997); pH em água (relação 1:1); teores disponíveis de P, K, Cu e Zn (extraídos por Mehlich 1); teores trocáveis de Al, Ca e Mg (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹), conforme descrito em Tedesco et al. (1995). Na solução obtida, os teores de P_{disponível} foram determinados por colorimetria, conforme Murphy & Riley (1962), em Espectrofotômetro UV Visível (UV – 1600, PRO-TOOLS). Os teores de K foram determinados em fotômetro de chama (DM-62, DIGIMED). Os valores de Al foram obtidos por titulação com NaOH 0,0125 mol L⁻¹. Os teores de Ca, Mg, Cu e Zn foram determinados em Espectrofotômetro de Absorção Atômica (Aanalyt 200, PERKINELMER). A partir dos dados obtidos calculou-se a acidez potencial (H⁺Al), saturação por bases (V%), saturação por Al (Al%) e capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_{efet.}) e potencial (CTC_{pH7,0}), conforme equações apresentadas pela CQFS-RS/SC (2016). Também foram determinados os teores de carbono orgânico total (COT) (EMBRAPA, 1997). Os dados obtidos constam na Tabela 1.

Os dados da análise granulométrica que constam na Tabela 1 e os dados referentes os teores de P_{disponível} médios da camada 0-10 cm do solo das áreas avaliadas foram utilizados como base para calcular o Limite Crítico Ambiental de P (LCA-P), conforme a equação 1 (GATIBONI et al., 2014):

$$LCA - P \text{ (mg dm}^{-3}\text{)} = 40 + \% \text{ argila}$$

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos dos solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Urussanga, Bento Gonçalves e Santana do Livramento.

Atributos do solo	Urussanga (0-40 cm)				Bento Gonçalves (0-20 cm)					Santana do Livramento (0-40 cm)				
	Área de referência	V22	V36	V60	Área de referência	V35	V37	V39	VE39	Área de referência	V13	V19	V36	VE36
Argila (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾	189,0	245,0	252,0	190,0	261,0	182,0	342,0	301,0	-	74,0	80,0	74,0	54,0	-
Areia (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾	587,0	457,0	449,0	397,0	286,0	425,0	245,0	265,0	-	884,0	807,0	786,0	845,0	-
Silte (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾	224,0	297,0	300,0	413,0	453,0	393,0	413,0	434,0	-	42,0	114,0	140,0	101,0	-
COT (g kg ⁻¹) ⁽²⁾	18,5	17,1	18,8	16,6	43,5	40,1	48,5	19,8	23,4	18,5	20,1	16,2	15,6	16,4
pH-H ₂ O ⁽³⁾	4,6	5,0	5,5	6,1	6,3	6,9	6,9	6,2	6,2	5,1	5,7	5,8	5,6	6,0
Índice SMP ⁽³⁾	5,6	5,3	5,8	6,2	6,8	7,0	7,0	6,9	6,8	6,4	6,5	6,8	6,6	6,8
P (mg kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	10,0	26,8	156,4	44,9	8,4	155,8	112,7	17,3	23,7	5,0	49,7	58,1	40,5	23,3
K (mg kg ⁻¹) ⁽⁵⁾	31,8	68,9	111,0	105,6	131,7	302,2	206,8	125,3	160,9	27,1	43,0	27,1	38,5	29,6
Cu (mg kg ⁻¹) ⁽³⁾	2,0	5,9	31,3	155,3	0,2	2,5	5,6	18,9	23,0	0,1	0,7	2,0	2,2	1,7
Zn (mg kg ⁻¹) ⁽³⁾	2,8	3,6	13,8	3,7	17,6	38,3	36,3	27,6	32,0	1,5	9,4	7,7	10,3	3,9
Al (cmol _c kg ⁻¹) ⁽⁶⁾	1,4	2,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,1	0,3	0,1
Ca (cmol _c kg ⁻¹) ⁽⁶⁾	0,5	0,7	3,2	3,9	3,2	2,7	3,9	1,5	-	0,3	1,7	1,2	1,3	1,7
Mg (cmol _c kg ⁻¹) ⁽⁶⁾	0,6	0,9	1,7	2,7	0,7	1,1	1,4	1,1	-	0,6	2,6	1,1	1,8	2,7
CTC _{pH7.0} (cmol _c kg ⁻¹) ⁽⁸⁾	7,8	12,6	11,2	10,2	6,0	5,9	7,3	4,5	2,2	3,7	6,9	4,1	5,8	6,3
CTC _{efet.} (cmol _c kg ⁻¹) ⁽⁹⁾	2,5	3,9	5,4	7,0	4,2	4,5	5,9	2,9	0,4	1,5	4,6	2,4	3,5	4,6
V (%) ⁽¹⁰⁾	13,4	18,4	46,8	68,2	68,4	76,4	80,1	63,0	18,5	26,7	60,0	56,8	51,6	69,3
Al (%) ⁽¹¹⁾	60,0	53,3	5,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,5	29,9	40,0	28,3	26,6

⁽¹⁾ Método da pipeta (EMBRAPA, 1997); ⁽²⁾ Determinado conforme Embrapa (1997); ⁽³⁾ Determinado conforme Tedesco et al. (1995); ⁽⁴⁾ P disponível: Extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁵⁾ K trocável: Extraído por Mehlich 1 (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁶⁾ Ca, Mg, Al trocáveis: Extraído por KCl 1 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); ⁽⁸⁾ CTC_{pH7.0} = H⁺ + Al³⁺ + (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺); ⁽⁹⁾ CTC_{efet.} = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Al³⁺; ⁽¹⁰⁾ Saturação da CTC_{pH7.0} por bases = (S/CTC_{pH7.0}) x 100 (CQFS-RS/SC, 2016); ⁽¹¹⁾ Saturação da CTC_{efet.} por Al = (Al³⁺/CTC_{efet.}) x 100 (CQFS-RS/SC, 2016)

3.3 FRACIONAMENTO QUÍMICO DE FÓSFORO

As amostras de solo foram submetidas ao fracionamento químico de P com extrações sequenciais conforme proposto por Hedley et al. (1982) com modificações de Condrón et al. (1985), obtendo-se as frações inorgânicas (Pi) e orgânicas (Po) de P. Para isso, amostras de 0,5 g de TFSA foram submetidas aos extratores sequenciais descritos a seguir: resina trocadora de ânions em lâminas (fração P_{RTA}); NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹ (frações $P_{i_{bic}}$ e $P_{o_{bic}}$); NaOH 0,1 mol L⁻¹ (frações $P_{i_{hid}}$ e $P_{o_{hid}}$); HCl 1,0 mol L⁻¹ (fração $P_{i_{HCl}}$) e NaOH 0,5 mol L⁻¹ (frações $P_{i_{hid05}}$ e $P_{o_{hid05}}$). Primeiramente foi realizado o preparo e saturação das resinas trocadoras de ânions (RTA) de acordo com Gatiboni (2003). Em tubos tipo *falcon* (15 mL) contendo 0,5 g de solo seco, foram inseridas as RTA e pipetaram-se 10 mL de água destilada em cada amostra, seguido de 16h de agitação em agitador tipo “end-over-end”. Posteriormente, foram retiradas as RTA dos tubos tipo *falcon* e colocadas em tubos de acrílico com a tampa aberta, deixando-as em repouso por 90 min em 15 mL de HCl 0,5 mol L⁻¹. Após isso, os tubos de acrílico foram agitados por 30 minutos em um agitador horizontal e, em seguida, as RTA foram retiradas do extrato e recuperadas segundo Gatiboni (2003) para uso posterior. Os tubos tipo *falcon* que continham o solo + água destilada foram submetidos à centrifugação e descarte do sobrenadante para as extrações seguintes.

Para a extração com os demais extratores químicos (NaHCO_3 0,5 mol L⁻¹, NaOH 0,1 mol L⁻¹, HCl 1,0 mol L⁻¹ e NaOH 0,5 mol L⁻¹) o procedimento foi da seguinte forma: pipetou-se 10 mL do extrator nos tubos tipo *falcon* contendo o solo, sendo homogeneizados e agitados por 16 h em agitador tipo “end-over-end”, centrifugadas à 6000 rpm por 15 minutos e o sobrenadante armazenado em tubos de acrílicos para a análise. Após cada extração o solo remanescente foi lavado com 10 mL de NaCl 0,5 mol L⁻¹, centrifugado à 6000 rpm por 5 minutos e o sobrenadante foi adicionado ao sobrenadante já extraído contido nos tubos de acrílico. Após as extrações, o solo remanescente foi seco em estufa e submetido à digestão com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{MgCl}_2$ (fração $P_{residual}$). As frações de Pi oriundas dos extratos alcalinos (NaHCO_3 e NaOH) foram determinadas pelo método proposto por Dick & Tabatabai (1977). Nesses extratos alcalinos, os teores de P_{Total} foram obtidos através da metodologia modificada de Olsen & Sommers (1982) conforme descrito por Gatiboni (2003), assim as frações de Po foram quantificadas por meio da diferença entre o P_{Total} e o Pi. As frações de P oriundas dos extratos ácidos (RTA e HCl) foram determinadas segundo a metodologia de Murphy & Riley (1962).

O P biológico e o P geoquímico nas diferentes áreas estudadas foram calculados através do percentual das frações orgânicas (P_{obic} , P_{ohid} e P_{ohid05}) e das inorgânicas (P_{RTA} , P_{ibic} , P_{ihid} , P_{iHCl} , P_{ihid05}) em relação à soma de todas as frações de P quantificadas. Também foi feito o cálculo da variação das frações de P das áreas de vinhedo em relação as suas respectivas áreas de referência, sendo o $\Delta P_{orgânico}$ e o $\Delta P_{inorgânico}$.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade homogeneidade, seguindo os pressupostos da análise de variância. Quando observada diferença significativa na comparação entre as profundidades no mesmo vinhedo e entre os vinhedos na mesma profundidade, as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os dados também foram submetidos a análise de componentes principais (ACP) para a construção de gráficos discriminantes usando scripts escritos em linguagem R (v. 3.6.2) e as funções dos pacotes "rrcov" (TODOROV; FILZMOSER, 2009), "cluster" (TODOROV; FILZMOSER, 2009), "oompaBase" (COOMBES, 2019) e "ggplot2" (WICKHAM, 2016).

4 RESULTADOS

4.1 EFEITO DO HISTÓRICO DE CULTIVO NAS FRAÇÕES DE P EM URUSSANGA

Nas áreas avaliadas em Urussanga, o comportamento das frações de P entre as camadas do solo avaliadas foi semelhante, havendo o acúmulo das mesmas na camada superficial do solo (0-5 cm). Em relação entre as áreas, o V22 apresentou os maiores incrementos nos teores médios, considerando a camada 0-20 cm do solo, nas frações inorgânicas P_{RTA} , $P_{i_{bic}}$, $P_{i_{hid}}$, $P_{i_{hid05}}$ e $P_{i_{HCl}}$ (Tabela 2). As respectivas frações obtiveram os teores médios de 113,1, 101,5, 176,8, 67,8 e 83,0 mg kg⁻¹). Para a fração $P_{residual}$, nas áreas de Urussanga, não foram observadas diferenças entre as áreas avaliadas e, apenas na comparação entre as camadas, o V36 apresentou maiores teores nas camadas subsuperficiais do solo (20-40 cm) (Tabela 2). Também foi no V22 que foram observados os maiores teores médios para as frações orgânicas $P_{o_{hid}}$ e $P_{o_{hid05}}$, de 400,7 e 165,1 mg kg⁻¹ respectivamente (Tabela 3). Enquanto para a fração $P_{o_{bic}}$ foi no V60 que se observou o maior incremento no teor médio, de 30,8 mg kg⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 2 - Fração inorgânicas de P extraída pela resina trocadora de ânions em lâminas (P_{RTA}), NaHCO_3 (P_{bic}), NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid05}), HCl 1 mol L^{-1} (P_{HCl}) e a fração residual ($P_{residual}$) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Urussanga.

Camada (cm)	M	V22	V36	V60	CV (%)
P_{RTA} (mg kg^{-1})					
0-5	8,9 aD ⁽¹⁾	25,2 aC	235,2 aA	57,7 aB	6,4
5-10	5,1 bC	13,3 bC	83,9 bA	55,7 aB	14,3
10-20	2,1 cB	3,7 cB	66,6 bA	1,2 cB	32,0
20-40	0,8 dB	0,3 cB	4,4 cB	37,0 bA	22,9
CV (%)	9,0	29,5	8,3	13,2	
P_{bic} (mg kg^{-1})					
0-5	7,1 aC	21,5 aC	168,0 aA	99,4 aB	18,5
5-10	5,2 aC	15,1 bB	99,4 bA	20,4 bB	9,7
10-20	1,4 bB	4,6 cB	69,2 cA	6,2 bB	18,4
20-40	1,7 bB	1,0 cB	5,2 dA	2,5 bB	28,6
CV (%)	29,2	15,1	12,7	28,3	
P_{hid} (mg kg^{-1})					
0-5	10,8 aB	26,4 aB	209,8 aA	233,4 aA	15,0
5-10	7,9 abB	22,7 aB	195,7 aA	131,0 bA	28,4
10-20	4,3 cC	8,1 cC	150,9 aA	68,3 cB	5,3
20-40	5,0 cC	4,2 cC	65,3 bA	45,0 cB	14,9
CV (%)	20,7	10,3	16,2	15,9	
P_{hid05} (mg kg^{-1})					
0-5	27,8 aC	33,9 aC	128,8 aA	82,4 aB	19,7
5-10	27,0 aB	32,7 aB	48,1 bA	58,0 bA	9,4
10-20	24,5 abB	31,7 aB	47,1 bA	51,6 bA	7,9
20-40	18,6 D	17,7 bC	42,9 bB	49,6 bA	6,2
CV (%)	11,3	10,3	19,9	6,5	
P_{HCl} (mg kg^{-1})					
0-5	2,9 ^{ns} C	4,2 aC	106,9 aA	91,7 aB	2,8
5-10	2,9 C	3,2 aC	84,5 abA	22,5 bB	22,4
10-20	2,8 B	2,7 abB	70,3 bA	5,4 cB	39,5
20-40	2,3 B	1,2 bB	5,7 cA	5,1 cA	18,8
CV (%)	17,3	20,5	14,8	9,5	
$P_{residual}$ (mg kg^{-1})					
0-5	827,0 ^{ns}	911,1 ^{ns}	931,3 ab	1009,9 ^{ns}	9,1
5-10	983,4	929,3	818,8 b	994,7	8,4
10-20	1108,6	937,4	898,2 ab	928,2	11,4
20-40	985,7	937,2	980,1 a	1085,0	10,2

CV (%) 10,9 14,4 5,4 6,5

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. M: Mata nativa, V22 (22 anos de histórico de cultivo), V36 (36 anos de histórico de cultivo) e V60 (60 anos de histórico de cultivo).

Tabela 3 - Frações orgânicas de P extraída pelo NaHCO₃ (P_{bic}), pelo NaOH 0,1 mol L⁻¹ (P_{hid}) e 0,5 mol L⁻¹ (P_{hid05}) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Urussanga.

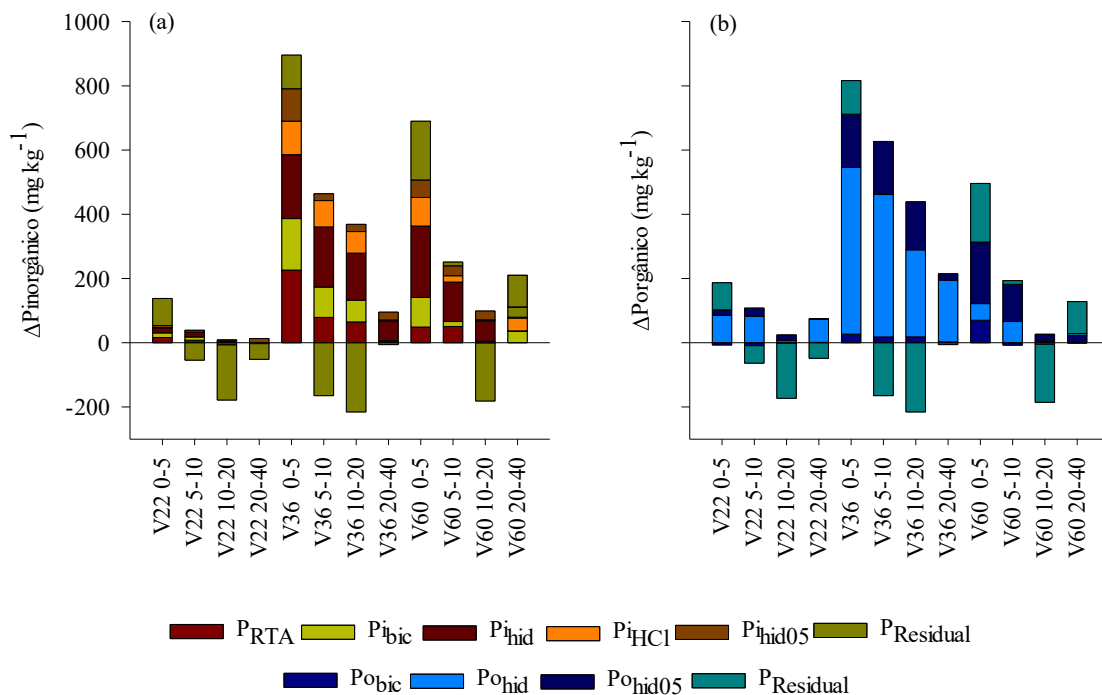
Camada (cm)	M	V22	V36	V60	CV (%)
P _{bic} (mg kg ⁻¹)					
0-5	11,5 aC ⁽¹⁾	4,4 ^{ns} C	38,6 aB	81,7 aA	24,4
5-10	13,5 aB	4,3 C	31,4 abA	6,1 bC	15,2
10-20	6,5 bB	4,8 B	24,0 bA	17,6 bA	28,9
20-40	1,5 cAB	3,0 AB	4,1 cA	1,2 bB	41,2
CV (%)	21,1	52,6	18,0	29,5	
P _{hid} (mg kg ⁻¹)					
0-5	24,5 ^{ns} C	110,3 aB	543,2 aA	76,5 abBC	10,9
5-10	22,5 C	105,4 aB	466,3 bA	88,6 aB	13,1
10-20	26,2 B	33,0 bB	296,7 cA	21,5 cB	22,0
20-40	13,3 C	85,4 aB	205,1 dA	36,4 bcC	8,1
CV (%)	48,6	14,8	7,6	31,5	
P _{hid05} (mg kg ⁻¹)					
0-5	19,5 aB	36,4 aB	185,6 aA	210,7 aA	19,5
5-10	4,5 bD	29,5 bC	169,7 aA	120,1 bB	6,2
10-20	2,8 bB	20,0 cB	152,5 aA	23,6 cB	23,5
20-40	2,7 bB	3,4 dB	22,7 bA	8,2 cB	35,7
CV (%)	57,7	11,4	16,4	14,0	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. M: Mata nativa, V22 (22 anos de histórico de cultivo), V36 (36 anos de histórico de cultivo) e V60 (60 anos de histórico de cultivo).

A variação das frações orgânicas e inorgânicas de P do solo dos vinhedos de Urussanga em relação a área de referência estão nas Figura 8a e 8b, respectivamente. Foi observado ganhos expressivos nas frações inorgânicas e orgânicas que variaram de 0,3 a 226 e 0,7 a 518 mg kg⁻¹, respectivamente. Os saldos negativos mais relevantes foram na fração P_{Residual} nas camadas intermediárias das frações de P. Nas frações inorgânicas das áreas de Urussanga pode-se observar saldo positivo em comparação à área de referência, principalmente nas camadas superficiais (Figura 8a). Analisando a camada 0-5 cm, no V22 a fração P_{RTA} foi a mais expressiva com 16,3 mg kg⁻¹, no V36 foram as frações P_{RTA}, P_{hid} e P_{bic} com 226,3, 199,0 e 160,9 mg kg⁻¹, respectivamente. Já em V60, as frações predominantes na camada 0-5 cm foram P_{hid} e P_{bic} com 222,6 e 92,3 mg kg⁻¹, respectivamente. Em relação as frações orgânicas, os

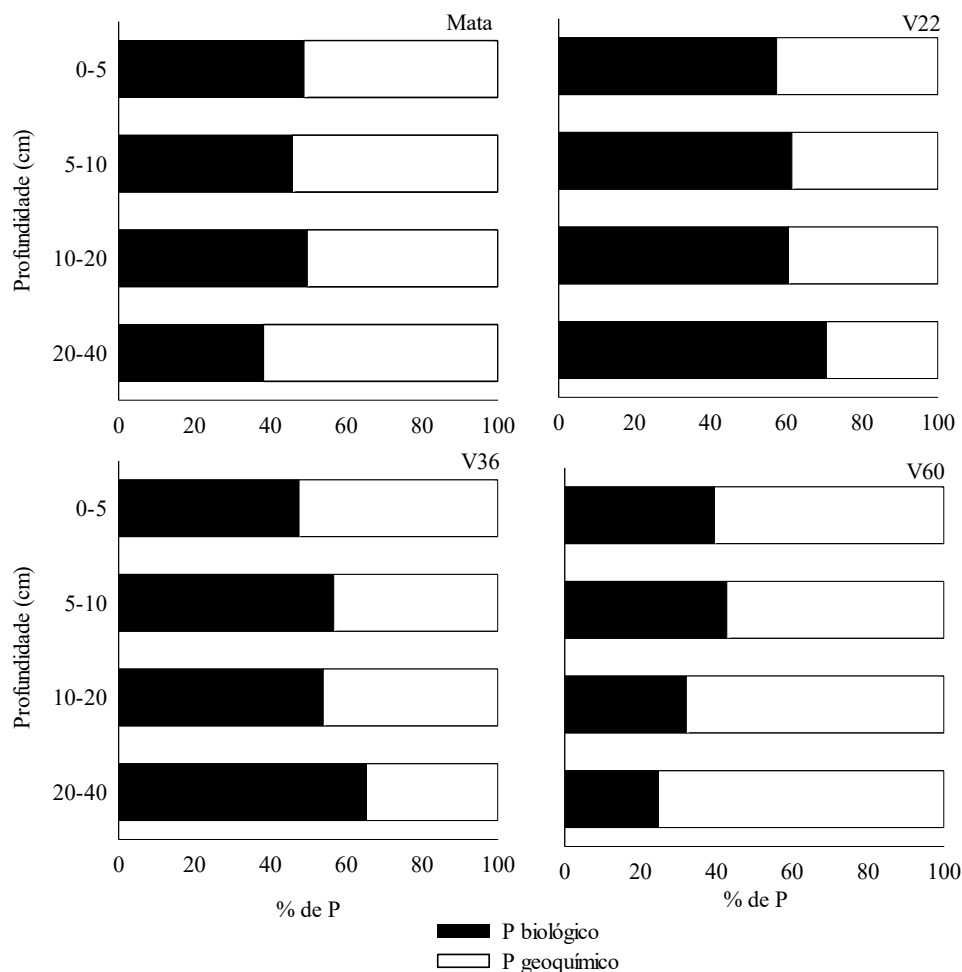
saldos positivos foram mais expressivos na camada superficial do solo (Figura 8b). No V22 a fração orgânica que mais contribuiu, na camada 0-5 cm, foi $P_{o_{hid}}$ com $85,7 \text{ mg kg}^{-1}$, em V2 foram as frações $P_{o_{hid}}$ e $P_{o_{hid05}}$ com $518,7$ e $166,1 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, e em V3 foram as frações $P_{o_{hid05}}$ e $P_{o_{bic}}$ com $191,2$ e $70,2 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente.

Figura 8 - Variação dos teores das frações inorgânicas (a) e orgânicas (b) de P dos solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivos em relação as áreas de referência de Urussanga (US). V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo.



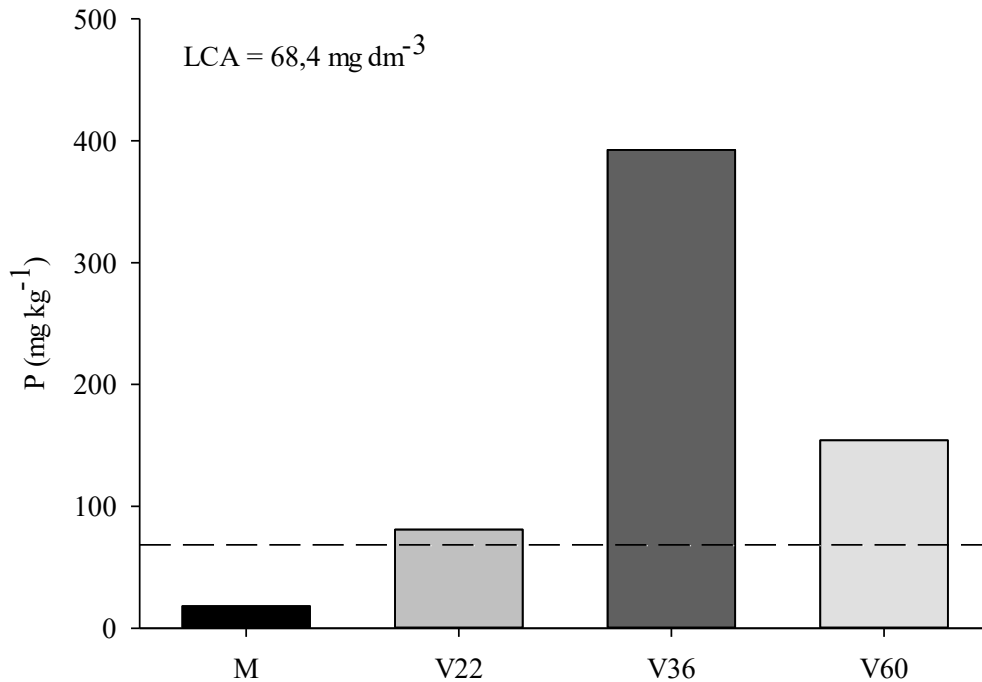
Nas áreas avaliadas em Urussanga houve predomínio do P biológico no V22 e V36, com maiores proporções nas camadas subsuperficiais (20-40 cm) com 70 e 65%, respectivamente (Figura 9). As maiores proporções de P geoquímico foram observadas no V60, com um comportamento crescente conforme o aumento de profundidade das camadas de solo, variando de 60 a 75%.

Figura 9 - Distribuição percentual das formas de P geoquímico ($P_{IRTA} + P_{Ibic} + P_{Ihid} + P_{Ihid05} + P_{IHCl}$) e P biológico ($P_{Obic} + P_{Ohid} + P_{Ohid05}$), em diferentes camadas nos solos dos vinhedos localizados em Urussanga (SC). V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo.



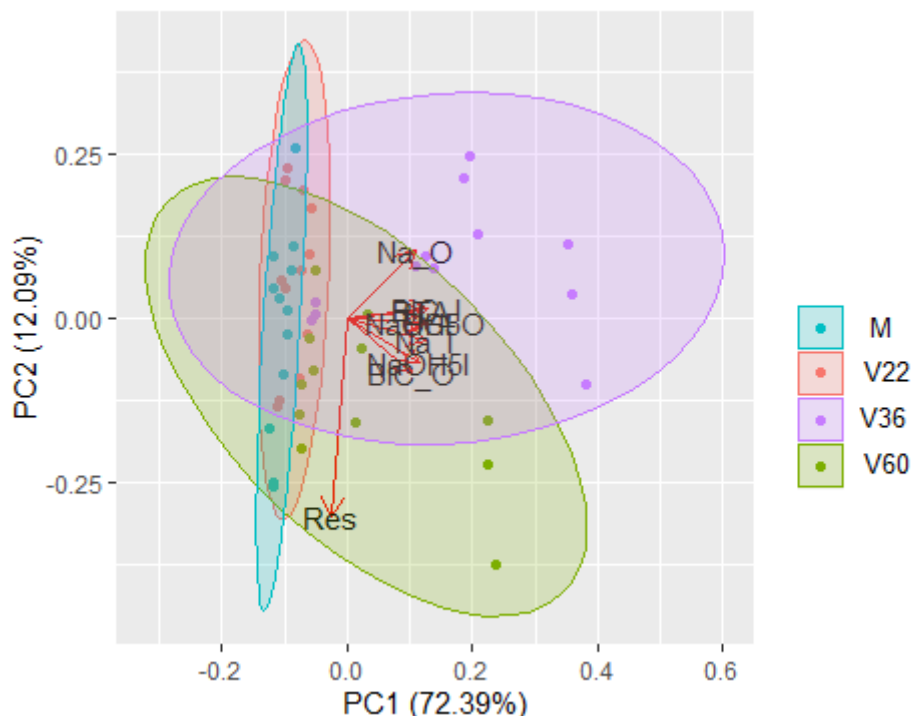
Considerando o teor médio observado na camada de 0-10 cm do solo para o $P_{disponível}$ nas áreas avaliadas em Urussanga, pode-se constatar que V22, V36 e V60 estão acima do valor médio do LCA-P, com os teores de 81,0, 392,6 e 154,1 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente (Figura 10). Entretanto, apenas V36 e V60 apresentam teores que são superiores ao P_{Lim} (82,1 $mg\ kg^{-1}$).

Figura 10 - Teores médios de $P_{\text{disponível}}$ e as respectivas médias do Limite Crítico Ambiental (LCA) na camada 0-10 cm nos solos dos vinhedos localizados em Urussanga (US). M: Mata nativa; V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo.



A análise de componentes principais (ACP) realizada com os dados obtidos das frações de P nas áreas de Urussanga, respondeu por 84,48% da variância total, dividida por 72,39% para o primeiro componente principal (PC1) e 12,09% para o segundo componente principal (PC2) (Figura 11). Houve sobreposição entre as áreas avaliadas, porém destaca-se que as variáveis diferenciaram mais o V36. No PC1 é possível afirmar que as frações P_{IHCl} , P_{ibic} e P_{hid} tiveram maior contribuição nesse eixo. Já em PC2 foi a fração P_{hid} .

Figura 11 - Análise discriminante entre as áreas de vinhedos com diferentes históricos e a área de referência localizadas em Urussanga (SC), por ACP. M: Mata nativa; V22: vinhedo com 22 anos de histórico de cultivo; V36: vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V60: vinhedo com 60 anos de histórico de cultivo.



4.2 EFEITO DO HISTÓRICO DE CULTIVO NAS FRAÇÕES DE P EM BENTO GONÇALVES

Nos vinhedos de Bento Gonçalves, os maiores teores de P nas frações inorgânicas também foram observados na camada superficial do solo (Tabela 4). Quando observadas as áreas de vinhedos, em relação aos teores médios das frações inorgânicas na camada 0-20 cm do solo, o V35 apresentou os maiores teores médios das frações P_{RTA} , P_{bic} , P_{hid05} e P_{HCl} com 57,3, 60, 0, 122,1 e 30,4 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente. No V37 foi observado na fração P_{hid} o maior teor médio, com 96,0 $mg\ kg^{-1}$ e os maiores teores de $P_{residual}$ foram observados no V37 (Tabela 4) e que considerando a média da camada 0-20 cm, foi observado o teor de 1185,0 $mg\ kg^{-1}$.

As frações orgânicas (P_{bic} , P_{hid} e P_{hid05}) na camada 0-20 cm foram maiores no V37, considerando a camada 0-20 cm, com teores médios de 29,1, 238,1 e 184,5 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 4 - Fração inorgânicas de P extraída pela resina trocadora de ânions em lâminas (P_{RTA}), $NaHCO_3$ (P_{bic}), $NaOH\ 0,1\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5\ mol\ L^{-1}$ (P_{hid05}), $HCl\ 1\ mol\ L^{-1}$ (P_{HCl}) e a fração

residual (P_{residual}) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Bento Gonçalves.

Camada (cm)	M	V35	V37	V39	VE39	CV (%)
P_{RTA} (mg kg ⁻¹)						
0-5	20,6 aC ⁽¹⁾	127,6 aA	116,7 aA	35,0 aBC	42,6 aB	8,8
5-10	17,8 aCD	46,2 bA	39,4 bAB	7,3 bD	30,8 bBC	19,6
10-15	6,4 bC	44,0 bA	19,6 cB	5,4 bcC	7,3 cC	26,8
15-20	4,2 bBC	11,4 cA	12,8 cA	3,1 cC	6,8 cB	16,9
CV (%)	25,7	11,2	13,8	11,0	17,7	
P_{bic} (mg kg ⁻¹)						
0-5	28,0 aC	110,1 aA	45,4 aB	15,5 aCD	8,6 aD	13,6
5-10	12,6 bBC	79,4 bA	18,1 bB	10,1 abBC	5,9 abC	16,1
10-15	8,3 bB	23,1 cA	7,0 cBC	4,8 bBC	3,5 bcC	18,7
15-20	5,9 B	27,2 cA	3,6 cBC	5,7 bB	1,6 cC	15,4
CV (%)	21,7	10,0	19,8	27,5	28,5	
P_{hid} (mg kg ⁻¹)						
0-5	56,6 aA	117,2 aA	67,5 ^{ns} A	68,7 ^{ns} A	77,3 aA	35,7
5-10	33,1 bC	108,4 bA	56,1 B	36,4 C	39,8 bC	6,0
10-15	20,1 cC	87,4 cA	49,1 B	48,5 B	22,4 cC	8,6
15-20	18,3 cC	71,1 dA	32,7 B	24,2 C	14,4 cC	5,9
CV (%)	7,5	3,0	27,2	62,1	12,0	
P_{hid05} (mg kg ⁻¹)						
0-5	117,4 aAB	134,6 ^{ns} A	98,3 aB	55,4 aC	114,2 aAB	11,4
5-10	109,0 aA	123,2 A	64,2 bB	37,5 bC	54,0 bBC	12,5
10-15	69,0 bB	120,5 A	49,6 bBC	32,5 bC	46,4 bC	12,6
15-20	68,1 bB	110,3 A	52,8 bBC	31,8 bC	41,4 bBC	16,7
CV (%)	5,4	11,7	17,0	16,0	16,0	
P_{HCl} (mg kg ⁻¹)						
0-5	10,5 aB	39,1 aA	43,1 aA	18,3 aB	50,5 aA	19,1
5-10	7,6 abC	33,9 aA	18,8 bB	9,4 bC	23,4 bB	10,8
10-15	4,3 bcD	26,6 bA	13,3 cB	10,6 bBC	10,2 bC	8,0
15-20	4,1 cD	22,2 bA	6,1 dC	5,8 bC	10,1 bB	6,2
CV (%)	19,3	8,7	9,1	20,3	25,9	
P_{residual} (mg kg ⁻¹)						
0-5	981,0 ^{ns}	981,7 ^{ns}	1224,5 ab	1121,9 ^{ns}	1052,6 ^{ns}	10,4
5-10	964,3 C	1159,3 BC	1368,0 aA	1028,6 C	1033,1 C	10,2
10-15	942,8 B	1063,5 AB	1125,6 abA	1038,7 AB	1105,3 AB	5,4
15-20	894,4 C	927,1 BC	1021,8 bAB	1017,3 AB	1047,4 A	4,1

CV (%) 4,2 11,4 10,0 6,8 5,4

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. M: Mata nativa, V35 (35 anos de histórico de cultivo), V37 (37 anos de histórico de cultivo), V39 e VE39 (linha e entrelinha do vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo).

Tabela 5 - Frações orgânicas de P extraída pelo NaHCO₃ (P_{bic}), pelo NaOH 0,1 mol L⁻¹ (P_{hid}) e 0,5 mol L⁻¹ (P_{hid05}) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Bento Gonçalves.

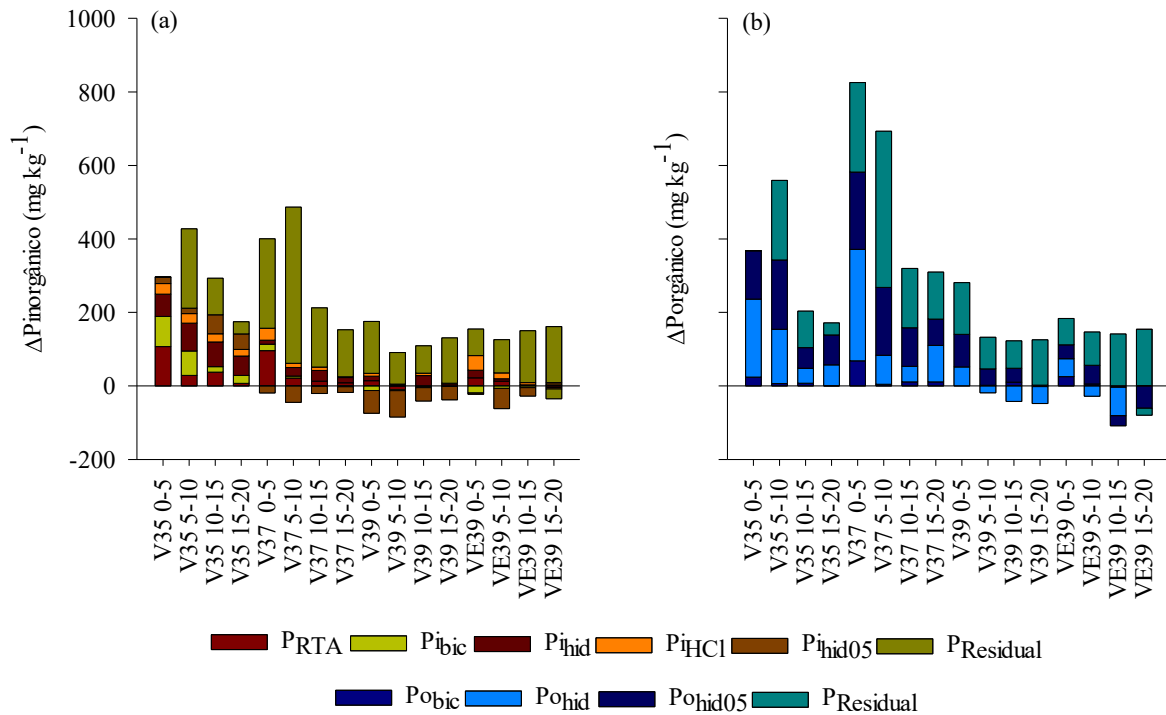
Camada (cm)	M	V35	V37	V39	VE39	CV (%)
P _{bic} (mg kg ⁻¹)						
0-5	5,9 ^{nsC} (¹)	30,0 aB	74,2 aA	6,1 Bc	31,1 aB	29,8
5-10	3,4 A	10,2 abA	8,1 bA	5,3 bA	8,9 bA	38,5
10-15	3,3 C	10,7 abB	17,4 bA	17,8 aA	4,8 bC	12,8
15-20	5,4 B	6,3 bB	16,7 bA	3,4 bB	6,6 bB	30,0
CV (%)	35,9	57,3	20,4	32,2	14,5	
P _{hid} (mg kg ⁻¹)						
0-5	64,5 bC	276,7 aB	367,9 aA	116,2 ^{nsC}	113,4 aC	12,8
5-10	126,2 aC	273,5 aA	205,0 bB	107,8 C	98,2 aC	9,9
10-15	126,3 aB	167,0 bA	168,8 bA	84,2 C	49,2 bC	11,8
15-20	111,5 aC	168,0 bB	210,6 bA	65,6 D	50,4 bD	6,1
CV (%)	6,9	4,0	8,5	29,3	10,6	
P _{hid05} (mg kg ⁻¹)						
0-5	34,7 bcD	166,0 abB	245,0 aA	123,1 aC	72,6 aD	11,5
5-10	21,1 cC	209,9 aA	205,5 abA	65,6 bB	72,1 aB	12,8
10-15	67,1 aCD	123,1 bB	172,1 bA	105,1 aBC	39,9 bD	15,6
15-20	44,0 bB	125,1 bA	115,5 cA	46,3 bB	25,5 bB	20,9
CV (%)	17,1	13,2	10,7	14,8	19,1	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. M: Mata nativa, V35 (35 anos de histórico de cultivo), V37 (37 anos de histórico de cultivo), V39 e VE39 (linha e entrelinha do vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo).

Nas áreas de vinhedo de Bento Gonçalves, a variação das frações inorgânicas e orgânicas em relação a área de referência (Figuras 12a e 12b) foram de 0,8 a 107 e 0,1 a 303 mg kg⁻¹, respectivamente. Os ganhos observados nas frações inorgânicas nos vinhedos foram mais expressivos na camada 0-5 cm, sendo no V35 as frações P_{RTA} e P_{bic}, com 107,1 e 82,1 mg kg⁻¹, no V37 a fração P_{RTA}, com 96,2 mg kg⁻¹, assim como no V39, com 14,5 mg kg⁻¹. A fração P_{hid}, na camada 0-5 cm, obteve os maiores ganhos, sendo a mais expressiva no V35 e V37, com 212,2 e 131,3 mg kg⁻¹, respectivamente, seguida da fração P_{hid05} com 303,4 e 210,4 mg

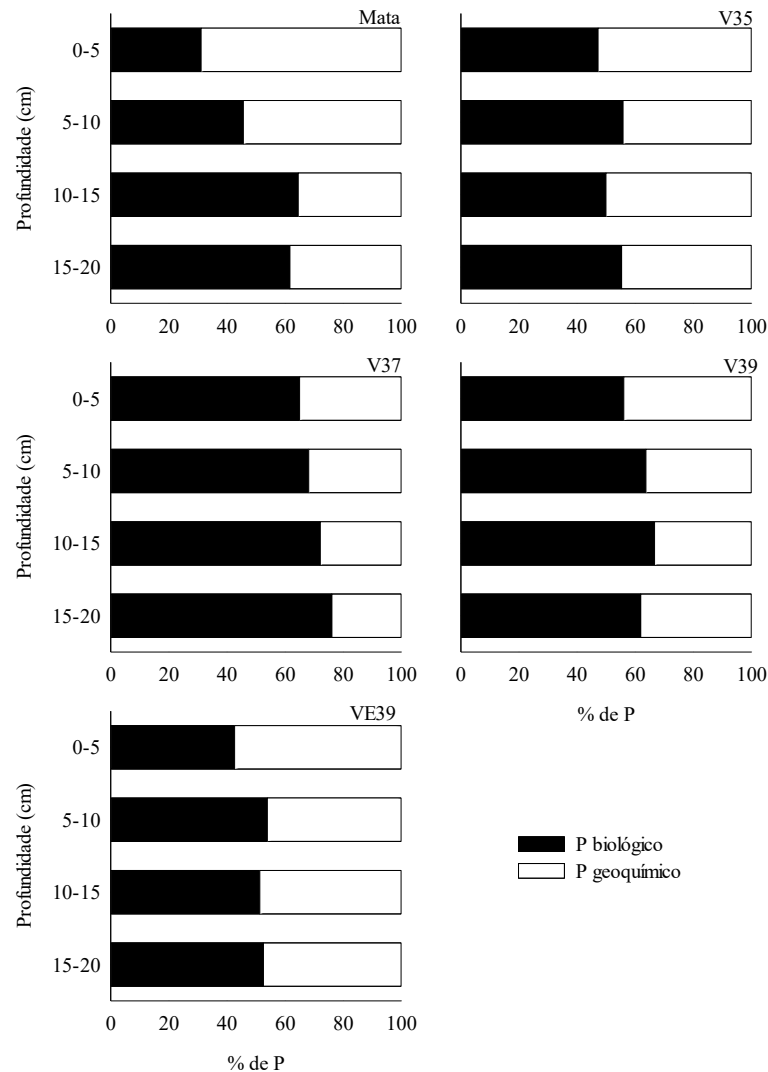
kg^{-1} , respectivamente. A fração orgânica mais expressiva na camada superficial no V39 foi $\text{Po}_{\text{hid}05}$ com $88,4 \text{ mg kg}^{-1}$.

Figura 12 - Variação dos teores das frações inorgânicas (a) e orgânicas (b) de P dos solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em relação as áreas de referência de Bento Gonçalves (BG). V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.



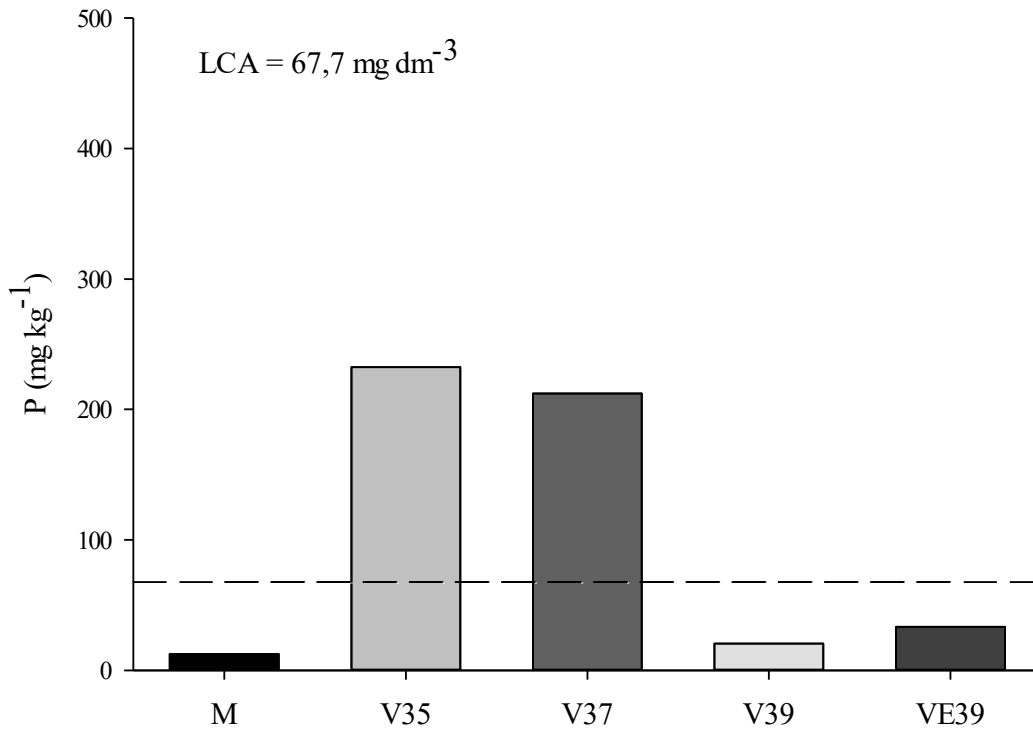
Em Bento Gonçalves, as áreas de vinhedos avaliadas apresentaram predomínio do P biológico em todas as camadas e sendo crescente conforme aumentando a profundidade do solo, porém destacando-se o P geoquímico no V35 na camada superficial do solo (Figura 13). As proporções de P biológico no V37 e V39 variaram de 64 a 75% e 56 e 61%, respectivamente, com o aumento da profundidade das camadas de solo avaliadas.

Figura 13 - Distribuição percentual das formas de P geoquímico ($P_{IRTA} + P_{bic} + P_{hid} + P_{hid05} + P_{HCl}$) e P biológico ($P_{bic} + P_{hid} + P_{hid05}$), em diferentes camadas nos solos dos vinhedos localizados em Bento Gonçalves (RS). V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.



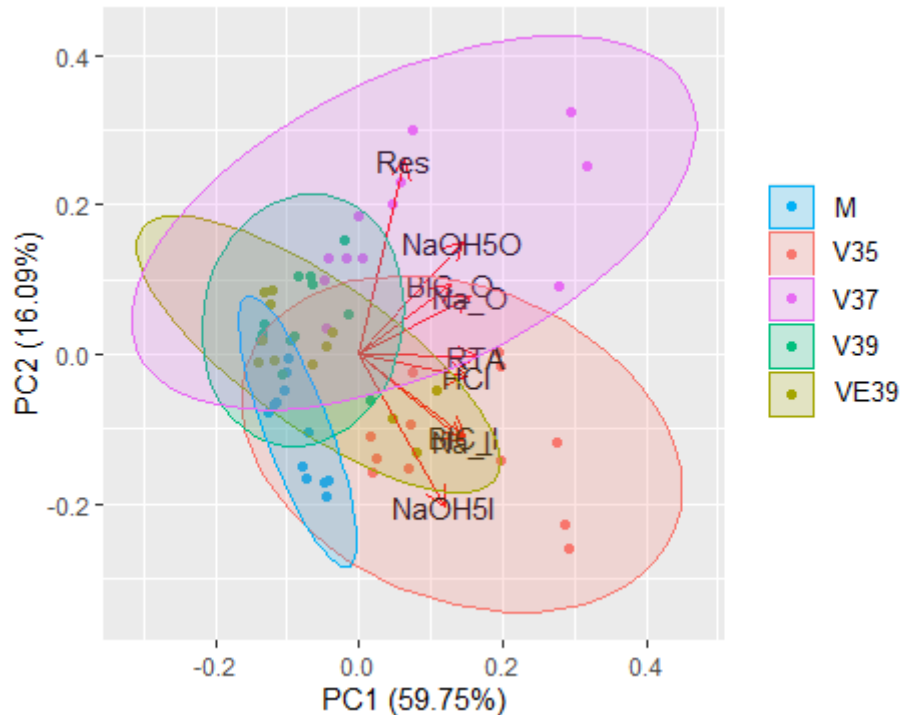
O LCA-P estabelecido para as áreas de Bento Gonçalves foi ultrapassado no V35 e V37, conforme os teores médios do $P_{disponível}$ na camada 0-10 cm, de 232,5 e 212,1 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente (Figura 14). Em ambos vinhedos, os teores médios de $P_{disponível}$ também estão acima do P_{Lim} , que é de 81,2 $mg\ kg^{-1}$.

Figura 14 - Teores médios de $P_{\text{disponível}}$ e as respectivas médias do Limite Crítico Ambiental (LCA) na camada 0-10 cm nos solos dos vinhedos localizados em Bento Gonçalves. M: Mata nativa; V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.



Nas áreas avaliadas em Bento Gonçalves, a ACP com as frações de P respondeu por 75,84% da variação total, sendo PC1 responsável por 59,75% e PC2 por 16,09% (Figura 15). Pode-se observar a diferenciação entre V35 e V37, no qual apresentam o contraste entre as contribuições das frações de P no solo. O agrupamento das frações orgânicas predominou em V37, já para as frações inorgânicas isso ocorreu em V35. Esta separação é representada principalmente por PC1, no qual destacaram-se as frações inorgânicas P_{RTA} , P_{bic} e P_{hid} . Já em PC2 as frações orgânicas que mais contribuíram foram P_{hid05} , P_{bic} e P_{hid} .

Figura 15- Análise discriminante entre as áreas de vinhedos com diferentes históricos e a área de referência localizadas em Bento Gonçalves (RS), por ACP. M: Mata nativa; V35: vinhedo com 35 anos de histórico de cultivo; V37: vinhedo com 37 anos de histórico de cultivo; V39: vinhedo com 39 anos de histórico de cultivo; VE39: entrelinha do V39.



4.3 EFEITO DO HISTÓRICO DE CULTIVO NAS FRAÇÕES DE P EM SANTANA DO LIVRAMENTO

Em Santana do Livramento, foi observado no V19 os maiores teores médios, na camada 0-20 cm, das frações inorgânicas P_{RTA} , P_{bic} , P_{hid} e P_{HCl} com 18,1, 10,1, 12,0 e 14,1 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente (Tabela 6). Enquanto o V13 apresentou o maior teor médio de P_{hid05} , considerando a camada 0-20 cm, com 10,0 $mg\ kg^{-1}$ (Tabela 6). Apenas a camada 20-40 cm houve diferença para o $P_{residual}$, em que o V36 apresentou os maiores teores, não diferindo de V19 (Tabela 6). Nas áreas avaliadas e considerando a camada de 0-20 cm, foi observado no V19 os maiores teores médios nas frações orgânicas P_{bic} , P_{hid} e P_{hid05} com 20,9, 67,9 e 12,9 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 6 - Fração inorgânicas de P extraída pela resina trocadora de ânions em lâminas (P_{RTA}), NaHCO_3 (P_{bic}), NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid05}), HCl 1 mol L^{-1} (P_{HCl}) e a fração residual ($P_{residual}$) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Santana do Livramento.

Camada (cm)	CN	V13	V19	V36	VE36	CV (%)
P_{RTA} (mg kg ⁻¹)						
0-5	9,1 aB ⁽¹⁾	38,6 aA	37,3 aA	15,5 aB	10,5 aB	14,2
5-10	2,1 bC	11,9 bA	8,1 bB	10,5 bA	7,4 bB	7,9
10-20	5,8 abBC	11,0 bA	7,7 bAB	10,0 bcA	3,5 cC	17,0
20-40	5,6 abB	10,2 bA	6,1 bAB	5,6 cB	3,1 cB	25,6
CV (%)	33,0	4,4	20,9	16,8	19,2	
P_{bic} (mg kg ⁻¹)						
0-5	6,2 ^{ns} ns	11,3 ab	6,7 a	8,5 a	7,6 a	30,5
5-10	2,5 C	13,1 aA	3,6 bC	7,9 aB	2,1 bC	22,7
10-20	4,2 B	7,9 bA	4,2 bAB	4,6 abAB	1,9 bB	30,2
20-40	4,0 B	7,1 bA	1,8 bB	2,9 bB	1,2 bB	31,4
CV (%)	55,2	19,6	22,8	28,2	25,6	
P_{hid} (mg kg ⁻¹)						
0-5	2,2 aC	18,0 ^{ns} AB	7,1 bBC	18,1 aAB	23,6 aA	36,0
5-10	0,8 bC	11,0 B	22,4 aA	11,6 bB	9,5 bB	26,3
10-20	0,4 bC	5,4 B	9,3 bA	6,8 cAB	1,3 cC	29,3
20-40	0,0 b	6,8	6,2 b	6,6 c	1,3 c	84,8
CV (%)	36,7	52,1	42,7	10,2	28,2	
P_{hid05} (mg kg ⁻¹)						
0-5	3,3 aC	11,4 ^{ns} BC	17,8 aAB	16,6 aAB	26,2 aA	25,1
5-10	2,9 aC	10,3 A	4,5 bBC	8,1 bAB	9,6 bB	22,4
10-20	2,5 abCD	9,2 A	1,8 bD	6,4 bB	4,4 bBC	18,7
20-40	1,7 bCD	7,9 A	0,7 D	5,8 bB	2,5 bC	15,2
CV (%)	13,8	16,9	38,9	10,2	33,7	
P_{HCl} (mg kg ⁻¹)						
0-5	6,7 aB	19,8 aA	16,7 aA	19,2 aA	23,8 aA	16,9
5-10	4,8 bD	18,6 aA	14,4 aB	11,7 bBC	8,6 bCD	12,6
10-20	3,6 bC	5,5 bBC	12,7 aA	8,5 bcB	6,0 bcBC	19,9
20-40	3,5 bB	3,6 bB	8,5 bA	3,8 cB	4,9 cB	10,9
CV (%)	15,0	24,6	11,6	17,6	10,6	
$P_{residual}$ (mg kg ⁻¹)						
0-5	942,7 ^{ns}	772,3 ^{ns}	809,5 ^{ns}	901,5 ab	983,1 a	10,3
5-10	742,1	757,9	909,1	649,7 b	744,5 ab	12,5

10-20	631,6	733,1	801,9	730,8 b	718,1 b	12,0
20-40	773,7 B	771,4 B	849,4 AB	1071,4 aA	690,4 bB	10,4
CV (%)	15,9	8,6	4,9	11,7	12,5	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. CN: Campo nativo, V13 (13 anos de histórico de cultivo), V19 (19 anos de histórico de cultivo), V36 e VE36 (linha e entrelinha do vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo).

Tabela 7 - Frações orgânicas de P extraída pelo NaHCO_3 (P_{bic}), pelo NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid}) e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid05}) em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo em Santana do Livramento.

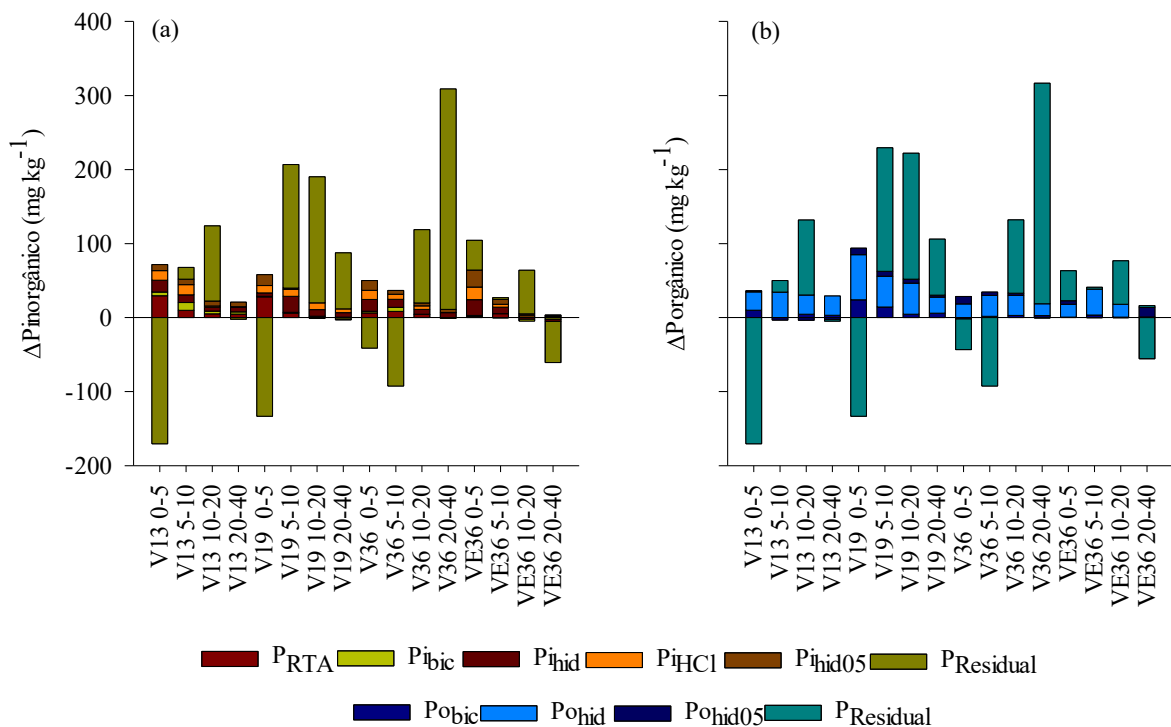
Camada (cm)	CN	V13	V19	V36	VE36	CV (%)
P_{bic} (mg kg^{-1})						
0-5	11,8 ^{nsB} (¹)	21,8 aAB	35,7 aA	9,8 ^{nsB}	12,6 ^{nsB}	33,9
5-10	8,7 B	8,7 bB	22,9 abA	10,3 B	12,3 B	15,2
10-20	6,7	11,2 b	12,4 b	10,2	7,5	23,7
20-40	5,6 C	8,8 bAB	11,5 bA	8,2 BC	6,4 BC	14,4
CV (%)	39,3	18,5	25,9	15,8	39,1	
P_{hid} (mg kg^{-1})						
0-5	29,9 aB	54,6 ^{nsB}	90,9 aA	48,4 ^{nsB}	45,0 abB	22,8
5-10	21,2 bB	55,5 A	62,9 bA	49,5 A	56,1 aA	16,1
10-20	16,8 cC	42,6 AB	58,8 bA	44,1 AB	33,9 bBC	21,2
20-40	22,0 bC	47,8 A	43,9 bAB	38,1 AB	34,8 bB	11,5
CV (%)	6,6	24,9	15,8	20,3	13,5	
P_{hid05} (mg kg^{-1})						
0-5	6,9 ^{ns}	8,3 a	16,0 a	16,9 ^{ns}	11,9 ^{ns}	44,8
5-10	6,6 AB	3,1 bB	13,1 abA	11,2 AB	6,4 AB	41,0
10-20	6,0 BC	2,3 bC	11,2 abA	8,7 AB	5,7 BC	28,1
20-40	5,0 B	2,4 bD	7,6 bA	4,4 CD	7,6 A	17,1
CV (%)	28,6	41,1	24,0	48,0	52,0	

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. CN: Campo nativo, V13 (13 anos de histórico de cultivo), V19 (19 anos de histórico de cultivo), V36 e VE36 (linha e entrelinha do vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo).

As Figuras 16a e 16b apresentam o comportamento das frações inorgânicas e orgânicas nas áreas de Santana do Livramento, respectivamente, demonstrando variação nos teores de 0,1 a 29 e 0,7 a 34 mg kg^{-1} . A camada superficial dos vinhedos apresentou os maiores ganhos nas frações inorgânicas em relação a área de referência (Figura 16a). No V13 e V19, a fração mais expressiva foi a P_{RTA} , com 29,5 e 28,1 mg kg^{-1} , respectivamente, no V36 foram as frações P_{hid} e P_{hid05} , com 15,9 e 13,2 mg kg^{-1} , respectivamente. Nas frações orgânicas foi possível observar que houve maiores ganhos nas frações P_{hid} e P_{bic} nas áreas de vinhedos (Figura 16b). No V19,

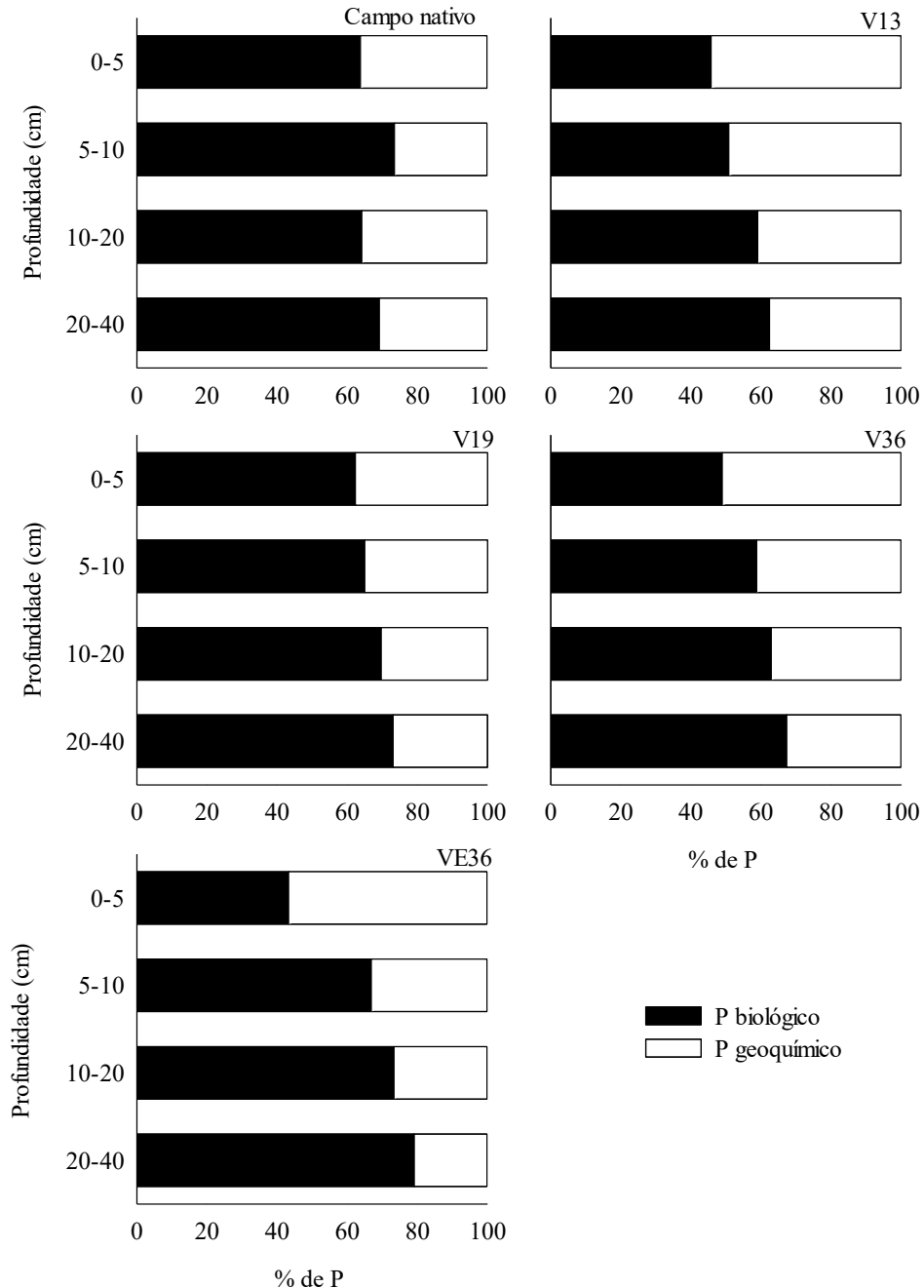
a fração P_{hid} foi mais expressiva na camada 0-5 cm que se observou os maiores teores com $61,0 \text{ mg kg}^{-1}$, seguido da fração P_{bic} com $23,9 \text{ mg kg}^{-1}$.

Figura 16 - Variação dos teores das frações inorgânicas (a) e orgânicas (b) de P dos solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivos em relação as áreas de referência de Santana do Livramento (SL). V13 (13 anos de histórico de cultivo), V19 (19 anos de histórico de cultivo), V36 e VE36 (linha e entrelinha do vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo).



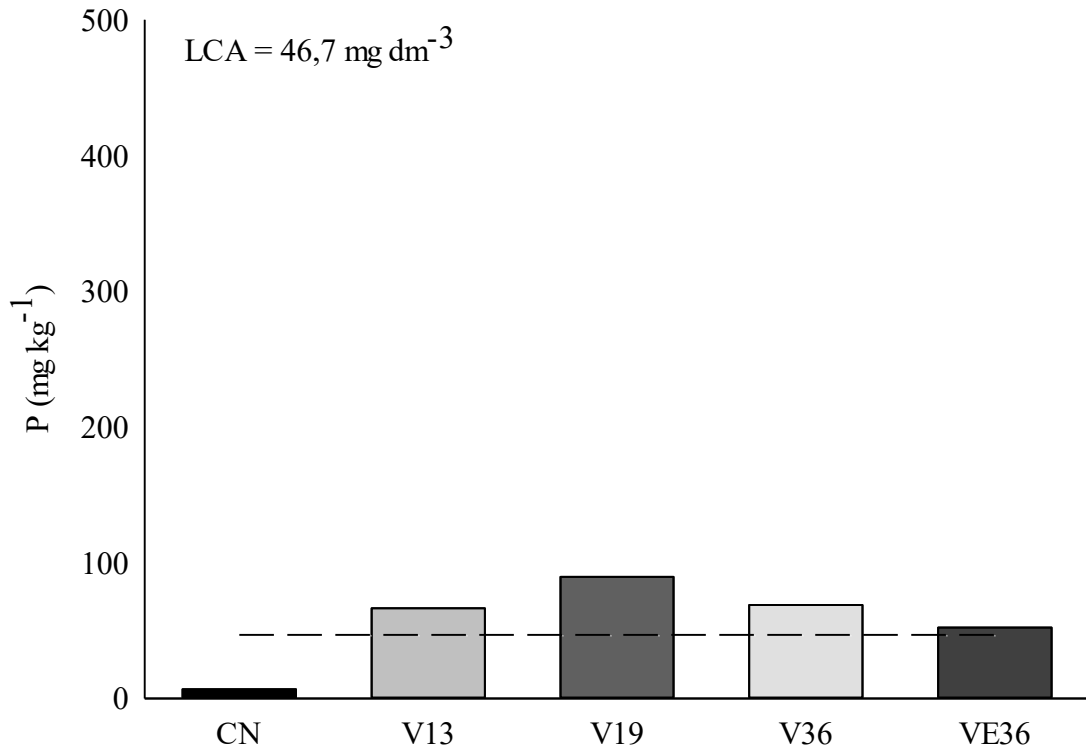
Nas áreas de Santana do Livramento houve predomínio do P biológico em relação ao P gequímico em todas as camadas avaliadas, com exceção da camada 0-5 cm no V13 e no V36 (Figura 17). As proporções de P biológico se comportaram de forma crescente com o aumento da profundidade da camada de solo, no qual V13, V19 e V36, apresentaram uma variação de 45 a 62%, 62 a 73% e 48 a 67%, respectivamente.

Figura 17- Distribuição percentual das formas de P geoquímico ($P_{IRTA} + P_{ibic} + P_{ihid} + P_{ihid05} + P_{iHCl}$) e P biológico ($P_{obic} + P_{ohid} + P_{ohid05}$), em diferentes camadas nos solos dos vinhedos localizados em Santana do Livramento (RS). 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; VE36: entrelinha do V36.



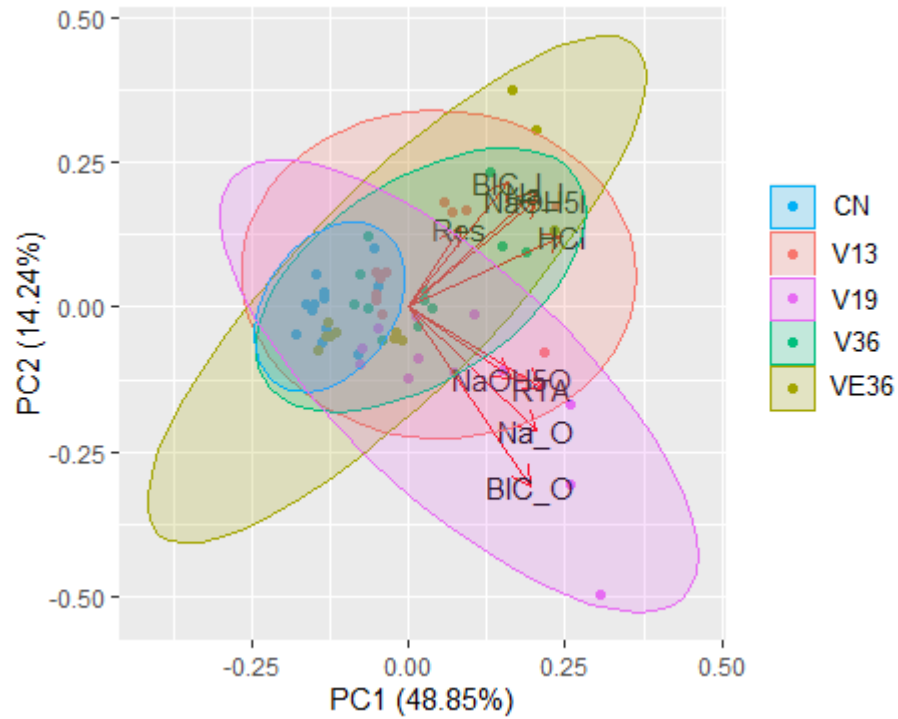
Conforme o LCA-P obtido das áreas avaliadas em Santana do Livramento, de acordo com os teores médios de $P_{disponível}$ da camada 0-10 cm, os três vinhedos (V13, V19 e V36) estão acima desse valor, sendo de 66,5, 89,5 e 68,8 $mg\ kg^{-1}$, respectivamente (Figura 18). Considerando os teores médios de $P_{disponível}$ observados em cada vinhedo, também estão acima do P_{Lim} , que é 56,0 $mg\ kg^{-1}$.

Figura 18 - Teores médios de $P_{\text{disponível}}$ e as respectivas médias do Limite Crítico Ambiental (LCA) na camada 0-10 cm nos solos dos vinhedos localizados em Santana do Livramento (SL). CN: Campo nativo; 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; VE36: entrelinha do V36.



Em Santana do Livramento, a variância acumulada pelos dois primeiros componentes principais (PC1 – 48,85% e PC2 – 14,24%), respondeu por 63,09% da variância total (Figura 19). É visível o contraste das frações orgânicas e inorgânicas de P no solo, que se agruparam e diferenciaram V19 e V13, respectivamente. Esta separação é representada principalmente por PC1, no qual destacaram-se as variáveis P_{HCl} , P_{RTA} e P_{hid05} . Já em PC2 as variáveis que mais contrastaram foram P_{bic} e P_{hid} .

Figura 19- Análise discriminante entre as áreas de vinhedos com diferentes históricos e a área de referência localizadas em Santana do Livramento (RS), por ACP. CN: Campo nativo; 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; VE36: entrelinha do V36.



5 DISCUSSÃO

As frações de P consideradas de maior labilidade são extraídas pelos primeiros extratores no fracionamento químico de P, sendo a resina trocadora de ânions (P_{RTA}) e o bicarbonato de sódio (P_{ibic} e P_{obic}) (Hedley et al., 1982). Os teores encontrados para essas frações demonstraram que o manejo da adubação fosfatada realizada ocasionou maior acúmulo nessas frações em V36 para Urussanga, V35 em Bento Gonçalves e V13 em Santana do Livramento. A adubação fosfatada descrita para as áreas de Urussanga foi periódica e em um manejo convencional dos vinhedos. Já para as áreas de Bento Gonçalves haviam cinco anos (até o momento da coleta de solo) que não era realizada fertilização fosfatada, enquanto para os vinhedos de Santana do Livramento a aplicação era realizada anualmente. Os manejos das áreas, apesar de distintos, reforçam a ideia que a adubação pré-plantio e de manutenção foram acima da exportação de P exigida pela cultura da videira, resultando no maior acúmulo dessas frações de maior labilidade no solo (SCHMITT et al., 2013).

Os teores foram incrementados, principalmente, nas camadas superficiais, devido à aplicação de fertilizantes na superfície dos solos dos vinhedos sem incorporação, o que aumenta gradativamente os teores de P nessa camada (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001). Segundo os critérios estabelecidos para a adubação fosfatada em videiras pela CQSC-RS/SC (2016), os teores de P_{RTA} e P_{ibic} obtidos na camada de 0-20 cm no V36, em Urussanga, de P_{RTA} no V35 e V37, e de P_{ibic} em Bento Gonçalves, foram superiores à faixa de “Muito Alto” ($>36,0 \text{ mg kg}^{-1}$) de acordo com a sua classe textural (Tabela 1). Essas frações de P, apesar de contribuem ativamente para a nutrição e crescimento das videiras devido à sua alta labilidade, podem ser desorvidas para a solução do solo, transferidas no ambiente e atingir corpos d’água (HUANG et al., 2020). No estudo realizado em um vinhedo localizado em Portugal por Ferreira et al (2018) em que foram avaliados os efeitos de diferentes manejos de solo sobre os níveis de escoamento, a exportação de sedimentos e de nutrientes associados (dentre eles o fósforo total - P_T), os autores verificaram que as concentrações de P_T no escoamento variou de 0,04 a 2,99 mg L^{-1} , sendo esse valor superior ao permitido segundo as normas de qualidade de águas superficiais da legislação portuguesa. Além disso, a exportação anual de P_T por meio do escoamento variou de 0,4 a 6,5 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com as maiores transferências nos meses com maior precipitação, demonstrando o potencial poluidor das áreas de vinhedos e um risco de eutrofização para águas superficiais.

Pode-se constatar o potencial poluidor das áreas de vinhedos de Urussanga, Bento Gonçalves e Santana do Livramento com o LCA-P (Figuras 10a, 10b e 10c). Além de estarem

acima do LCA-P, algumas áreas de vinhedo extrapolaram o teor de P_{Lim} que é acima de 20% do LCA-P. Segundo Gatiboni et al. (2014), quando os teores de P na camada 0-10 cm estão entre o valor de LCA-P e o P_{Lim} deve-se apenas suspender a aplicação de qualquer tipo de fertilizante fosfatado até retornar aos teores de P adequados. Entretanto, quando ocorre do teor de P no solo extrapolar o P_{Lim} , além de suspender a aplicação de fertilizantes fosfatados deve-se realizar medidas mitigatórias para minimizar a condição de risco ambiental das áreas em questão, que no caso são o V36 e V60 em Urussanga, o V35 e V37 em Bento Gonçalves e os três vinhedos (V13, V19 e V36) em Santana do Livramento. Destaca-se também que além dos elevados níveis de P no solo das áreas avaliadas em Urussanga e Bento Gonçalves, elas estão em uma condição de relevo acidentado e em solos mais argilosos, o que favorece ainda mais o escoamento superficial e a transferência desse elemento pela paisagem ((DALL'ORSOLETTA et al., 2021)

Para a fração P_{bic} , os resultados encontrados em todas as camadas do V36 em Urussanga (Tabela 3) podem ser atribuídos à presença de plantas de cobertura, como o azevém e nabo forrageiro, cultivadas durante o inverno na entrelinha de plantio, e das plantas espontâneas no verão. Assim como também a deposição e posterior decomposição dos resíduos vegetais oriundos das podas realizadas na parte aérea da videira, das folhas e raízes em senescência ao longo do ciclo da videira (BRUNETTO et al., 2011). Logo após a decomposição do material orgânico depositado no solo, ocorre a incorporação de P pelo ataque microbiano a biomassa vegetal, no qual após a morte dos tecidos vivos os compostos orgânicos que contém P se destinam ao solo, sendo mineralizados de acordo com a disponibilidade de P no solo e a demanda da planta (RHEINHEIMER et al., 2019). No compartimento de P orgânico no solo, a fração P_{bic} é composta pelos ortofosfatos diésteres (como ácidos nucleicos e fosfolípidos) adsorvidos e o fosfato orgânico presente na biomassa microbiana, sendo facilmente mineralizada pela atividade microbiana do solo (RHEINHEIMER et al., 2020).

As frações P_{hid} , P_{ohid} , P_{hid05} e P_{ohid05} representam o P inorgânico ligado aos óxidos e às argilas silicatadas com energia de ligação intermediária, e o P orgânico constituído majoritariamente por ortofosfato monoésteres (como fosfato inotol) pela sua estrutura molecular e as relações químicas com os argilominerais e óxidos, tendendo a ser adsorvido aos grupos funcionais e formando complexo de esfera interna que lhe permite maior estabilidade no solo (CROSS; SCHLESSINGER, 1995; MENEZES-BLACKBURN et al., 2018). Os acúmulos observados para as frações inorgânicas, P_{hid} e P_{hid05} , em Urussanga, Bento Gonçalves e Santana do Livramento se devem aos baixos níveis de perturbação física no solo e à baixa exportação de P pelas plantas, o que garante a estabilidade dessas frações que estão associadas

aos argilominerais e óxidos no solo, como demonstrado por Rheinheimer et al. (2019) que compararam diferentes sistemas de manejo do solo com plantas de cobertura, em área com 30 anos de histórico de cultivo, e observaram maior acúmulo nessas frações no sistema de manejo que não promovia a exposição e perturbação do solo, evitando a possível dessorção dos fosfatos ligados aos grupos funcionais menos acessíveis física e/ou quimicamente.

Os valores encontrados para as frações $P_{O_{hid}}$ e $P_{O_{hid05}}$ em Urussanga, Bento Gonçalves e Santana do Livramento foram maiores na camada superficial do V36, V37 e V19, respectivamente. Isso pode ser devido ao acúmulo de matéria orgânica no solo, pela rizodeposição das plantas, assim como pela decomposição de resíduos vegetais depositados sobre o solo oriundos das plantas de cobertura e das podas realizadas nas videiras (BRUNETTO et al., 2009). Em geral, aproximadamente $4 \text{ kg de P ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ são transportados para os cachos de uva, considerando um rendimento médio de 25 Mg ha^{-1} de uvas por ano (TECCHIO et al., 2011). Devido à baixa exportação de P pelos cachos de uva ocorre acúmulo nessas frações consideradas moderadamente lábeis, além do aporte da fertilização fosfata contínua nos vinhedos. O acúmulo nessas frações reflete a dificuldade na definição de critérios para o manejo da adubação fosfatada nas frutíferas (BRUNETTO et al., 2015), pois esses baixos valores de P removidos dos solos de vinhedos demonstram que a mineralização do Po existente no solo poderia atender à demanda da planta (DAMON et al., 2014). Com isso também é possível inferir que com a excessiva fertilização fosfatada há maior disponibilidade de P inorgânico no solo, que em parte é absorvido pelos cultivos ao longo dos anos e, com isso, ocorre maior acúmulo nas frações orgânicas de P do solo (HUANG et al., 2017; OHM et al., 2017).

A fração $P_{i_{HCl}}$ reflete principalmente o P que está ligado ao cálcio, que geralmente é derivado de minerais primários apatíticos (CROSS; SCHLESSINGER, 1995). Os dados observados para essa fração demonstraram que os teores nas áreas de vinhedos nos três locais foram superiores às áreas de referência, resultado considerado coerente, pois nos solos intemperizados do Sul do Brasil a apatita é quase ausente (TIECHER et al., 2018). Os maiores teores de $P_{i_{HCl}}$ no solo das áreas de vinhedo, principalmente na camada superficial, se devem à adição de fosfato via fertilização combinado com a adição de cálcio (Ca), por meio da calagem que visa o aumento do pH do solo, resultando na neoformação de fosfato de Ca no solo. Assim como nas duas áreas de vinhedos com histórico de 62 anos avaliadas por Schmitt et al. (2019) também apresentaram incrementos de $P_{i_{HCl}}$ na camada 0-10 cm de 207 e 52% em relação a área de referência, devido à aplicação de corretivos de acidez para a elevação do pH do solo.

O teor de $P_{Residual}$ é considerado uma fração de difícil acesso pelos extratores e é acessado pelas plantas em caso de déficit extremo do nutriente no solo (GATIBONI et al.,

2007). Os resultados encontrados nos três locais demonstram que os manejos realizados nas áreas não afetam de forma significativa os teores de $P_{Residual}$. Portanto, o P adicionado com a aplicação de fertilizantes fosfatadas ao longo dos ciclos das videiras acumula-se no solo em frações de menor recalitrância. Em solos com textura arenosa e com menores proporções de óxidos de ferro e alumínio na fração argila, o P adicionado tende a se acumular, preferencialmente, em frações lábeis, com pouco ou nenhum efeito sobre a fração residual. Por sua vez, em solos com maior capacidade de adsorção de fosfatos, maiores proporções de P devem ser adsorvidas com alta energia, como observado por Soltangheisi et al. (2019), que avaliaram a dinâmica das frações de P no solo em áreas de pastagens e florestas amazônicas com diferentes texturas do solo. Os autores constataram maiores teores de $P_{Residual}$ nas áreas de pastagem e floresta com textura argilosa e, por meio da análise de caminhos, não foi constatado a contribuição da fração $P_{Residual}$ no incremento das frações de P com maior labilidade para as plantas.

Analisando o balanço das frações orgânicas e inorgânicas de P nas áreas de vinhedos em relação às suas respectivas áreas de referência (Figuras 8, 9 e 10) pode-se inferir sobre a influência das frações mais recalitrantes na manutenção das frações mais lábeis para garantir a nutrição vegetal. Diversos estudos já verificaram as diferentes contribuições das frações de P pelo “efeito cascata” na manutenção dos teores de P_{RTA} por meio da análise de caminhos comparando manejo de solo (TIECHER et al., 2018), uso da terra e a influência da textura (SOLTANGHEISI et al., 2019) e fontes de P (ZHENG et al., 2004). Nos solos altamente fertilizados, o P disponível na solução do solo garante a nutrição das plantas e posteriormente há reestruturação do P nas formas inorgânicas menos lábeis, sendo necessário o esgotamento dessas frações para iniciar a depleção das frações orgânicas de P por meio da mineralização (GATIBONI et al., 2021).

As frações orgânicas que obtiveram ganhos mais significativos nas áreas de vinhedo, em relação às suas respectivas áreas de referência, foram P_{hid} , P_{hid05} e P_{bic} na camada superficial do solo, sendo que pode-se atribuir o maior acúmulo das frações de menor labilidade, P_{hid} e P_{hid05} a manutenção da MOS, devido a decomposição dos resíduos vegetais oriundos do manejo das videiras que são depositados na superfície do solo. O acúmulo nessas frações também é consequência do menor esgotamento desses estoques orgânicos, que geralmente são mineralizados e incrementam os teores de P_i no solo para a absorção e nutrição das plantas (SANTOS et al., 2008). O comportamento observado se deve aos altos teores das P_i lábeis no solo que são responsáveis pela reposição do P, ocasionados pelas sucessivas aplicações de

fertilizantes fosfatados durante os ciclos das videiras; logo não está havendo a depleção das frações orgânicas de P.

Em trabalho comparando estratégias de fertilização fosfatada em diferentes manejos de solo, Nunes et al. (2020) observaram maiores ganhos dessas mesmas frações orgânicas na camada de até 10 cm nos tratamentos em que não havia revolvimento do solo, corroborando com o manejo realizado nas áreas de vinhedos avaliadas. As variações observadas nos teores das frações inorgânicas e orgânicas de P nos vinhedos avaliados demonstram o potencial dos pools com menor labilidade em mobilizar P aos pools mais lábeis, sendo o P disponibilizado no solo para a nutrição das videiras, confirmando o potencial de reestruturação desse elemento no solo que varia de acordo com o manejo realizado como Gatiboni et al. (2021) que avaliaram as transformações das frações de P no solo e a capacidade de tamponamento das mesmas durante o ciclo de 15 cultivos. Através da análise de caminhos e constataram que no solo altamente fertilizado, as frações $P_{i_{bic}}$, $P_{i_{hid}}$, $P_{o_{bic}}$ e $P_{o_{hid05}}$ contribuem diretamente na manutenção dos teores da fração P_{RTA} durante os cultivos, além de que as frações $P_{i_{hid}}$ e $P_{o_{bic}}$ também tamponam os teores da fração $P_{o_{bic}}$.

A distribuição do P biológico e P geoquímico nos três locais demonstraram que há maior predominância nas frações orgânicas de P em todas as camadas, principalmente nas camadas subsuperficiais (Figuras 9, 13 e 16). Porém, para as frações inorgânicas há maior proporção nas camadas superficiais devido a fertilização das áreas serem realizadas de forma superficial no solo, destacando-se o V3 de Urussanga, que possui 60 anos de histórico de cultivo e apresentou as maiores proporções de P geoquímico nas camadas superficiais, assim como Schmitt et al. (2019) que avaliaram as frações de P em vinhedos com 62 anos de cultivo e também constataram predomínio do P geoquímico no solo na camada superficial do solo e nas frações mais lábeis devido aos altos níveis de aplicação de fertilizantes fosfatados.

O acúmulo do P biológico nas camadas subsuperficiais do solo nas áreas de Urussanga, Bento Gonçalves e Santana do Livramento se deve principalmente pela mineralização das frações orgânicas na camada superficial devido a atividade microbiana, exsudação de enzimas pelas plantas e também pelos microrganismos visto que os baixos níveis de perturbação do solo e a deposição de resíduos culturais na superfície do solo criam um ambiente favorável para a intensa atividade e diversidade microbiana, que é responsável por regular a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo (MOS) (LI et al., 2020). A rizodeposição e a exsudação radicular das espécies vegetais devido ao estresse físico das plantas também aumenta o acúmulo de P biológico em camadas mais profundas do solo (LIMA et al., 2020).

Os agrupamentos observados na ACP para os resultados é a influência da fração orgânica do solo no V36 e V37, em US e BG, no qual também é possível observar que o teor de COT é maior quando comparado às outras áreas avaliadas (Tabela 1). Os altos teores de COT no solo, principalmente nas camadas superficiais, possibilita o incremento de frações orgânicas, especialmente, as consideradas moderadamente lábeis extraídas por NaOH (DOS SANTOS RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2003). Segundo Barber (1984), a liberação do Po para a solução do solo é controlada pela taxa de mineralização da MOS, que depende da atividade microbiana que usa os esqueletos carbônicos como fonte de energia, hidrolisando os ésteres de fosfato, o que fornece o íon P_i para as plantas, e produzindo compostos orgânicos fosfatados a partir do P_i existente no solo (TIECHER et al., 2012). Os autores Milić et al. (2019) também verificaram a influência do manejo dos cultivos e que foram observados maiores teores de COT e P orgânico, no qual contribuíram na ACP para a diferenciação e agrupamento dos manejos avaliados

O predomínio e o agrupamento das frações inorgânicas na ACP nos V35 e V13 de BG e SL se devem às aplicações excessivas de fertilizantes fosfatados, acima de necessidade para a nutrição vegetal e além da exportação desse elemento nos ciclos de produção da videira. Estudos que avaliaram a alteração das frações de P no solo, constataram que as sucessivas fertilizações fosfatadas no solo geram maior acúmulo nas frações inorgânicas de P, principalmente as mais biodisponíveis (P_{RTA} e $P_{i_{bi}}$), como foi verificado por Lima et al. (2020), que observaram maiores proporções de P geoquímico no solo de pomar de macieiras com diferentes manejos de plantas espontâneas. Os autores também observaram, no tratamento sem manejo das plantas espontâneas, em relação as frações inorgânicas P_{RTA} , $P_{i_{bic}}$ e $P_{i_{hid}}$, no qual o aumento do teor de alguma fração menos lábil provoca o efeito cascata e aumenta os teores das frações mais lábeis.

Uma possível estratégia de manejo da adubação fosfatada nos vinhedos com o intuito de potencializar o uso das frações orgânicas de P existentes no solo é a aplicação de fertilizantes fosfatados de forma parcelada, em pequenas doses. É sabido que a mineralização de compostos orgânicos realizada pelos microrganismos heterotróficos é potencializada quando o P não é um nutriente limitante (WRIGHT; REDDY, 2001). O monitoramento dos níveis dos teores de P disponível no solo e pequenas adições de fertilizantes fosfatados podem fomentar a mineralização de P oriundo das frações orgânicas do solo, de modo que esse pool possa desempenhar um papel relevante na nutrição das videiras e mitigando as excessivas aplicações de fertilizantes fosfatados no solo (MENEZES-BLACKBURN et al., 2018).

6 CONCLUSÕES

As aplicações excessivas de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio e de manutenção nos vinhedos, além da deposição de resíduos vegetais na superfície do solo, principalmente nos vinhedos V36, V37 e V19 de Urussanga, Bento Gonçalves e Santana do Livramento, aumentou os teores das frações de fósforo orgânico no solo.

As proporções de P biológico foram maiores em todas as camadas do solo nas áreas de vinhedos, exceto na camada superficial do solo do V60 em Urussanga, devido ao seu avançado histórico de cultivo predominou o P geoquímico.

Os teores elevados de P no solo observados nas áreas de vinhedos estão acima do LCA-P estabelecido, com exceção ao V39 em Bento Gonçalves, caracterizando-as com alto risco de contaminação ambiental.

Os vinhedos com solos de textura mais arenosas, de Santana do Livramento, apresentaram maiores proporções de frações orgânicas de P no solo.

O baixo nível de perturbação no solo e a deposição de resíduos culturais na superfície resultou no acúmulo das frações inorgânicas e orgânicas de P moderadamente lábeis no solo, havendo o potencial das mesmas incrementarem os teores das frações de P biodisponíveis às videiras.

7 PERSPECTIVAS DE ESTUDOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos e da discussão gerada sobre o tema proposto nesse estudo, as alterações das frações de fósforo em solos de vinhedos com diferentes históricos de cultivo no sul do Brasil, criam-se perspectivas e novas possibilidades de estudos para preencher as lacunas existentes nessa área do conhecimento:

- e) Analisar os mecanismos utilizados pelas espécies vegetais (videiras e plantas de cobertura) na rizosfera para o acesso às frações inorgânicas e orgânicas de P menos lábeis no solo, em diferentes históricos de cultivo;
- f) Avaliar o potencial de contribuição direta dos pools das frações inorgânicas e orgânicas de P do solo na nutrição mineral da videira;
- g) Estimar a capacidade de extração das frações inorgânicas e orgânicas de P do solo pelas espécies vegetais utilizadas como plantas de cobertura em áreas de vinhedos, visando potencializar o uso dessas frações de P já existentes no solo e minimizar a adubação fosfatada em vinhedos;
- h) Avaliar estratégias de parcelamento de adubação fosfatada inorgânica em vinhedos, no intuito de identificar o potencial de mineralização das frações orgânicas de P.

REFERÊNCIAS

BRUNETTO, Gustavo; CERETTA, Carlos Alberto; MELO, George Wellington De; GIROTTI, Eduardo; TRENTIN, Eder Efrain; COSTA, Renan; VIEIRA, Beber; GATIBONI, Luciano Colpo. Produção e composição química da uva de videiras Cabernet Sauvignon submetidas à adubação nitrogenada. *[S. l.]*, 2009.

BRUNETTO, Gustavo; COMIN, Jucinei Jose; MIOTTO, Alcione; DE MORAES, Marcel Pires; SETE, Paula Beatriz; SCHMITT, Djalma Eugênio; GATIBONI, Luciano Colpo; DE MELO, George Wellington Bastos; MORAIS, Gildean Portela. Copper and zinc accumulation, fractionation and migration in vineyard soils from Santa Catarina State, Brazil. *Bragantia*, *[S. l.]*, v. 77, n. 1, p. 141–151, 2018. DOI: 10.1590/1678-4499.2016391.

BRUNETTO, Gustavo; LORENSINI, Felipe; CERETTA, Carlos Alberto; GATIBONI, Luciano Colpo; TRENTIN, Gustavo; GIROTTI, Eduardo; MIOTTO, Alcione; LOURENZI, Cledimar Rogério; DE MELO, George Wellington. Soil Phosphorus Fractions in a Sandy Typic Hapludalf as Affected by Phosphorus Fertilization and Grapevine Cultivation Period. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *[S. l.]*, v. 44, n. 13, p. 1937–1950, 2013. DOI: 10.1080/00103624.2013.794819.

BRUNETTO, Gustavo; NAVA, Gilberto; AMBROSINI, Vítor Gabriel; COMIN, Jucinei José; KAMINSKI, João. Resposta da pereira à aplicação de fósforo e potássio. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *[S. l.]*, v. 37, n. 2, p. 507–516, 2015. DOI: 10.1590/0100-2945-027/14.

BRUNETTO, Gustavo; VENTURA, Maurizio; SCANDELLARI, Francesca; CERETTA, Carlos Alberto; KAMINSKI, João; DE MELO, George Wellington; TAGLIAVINI, Massimo. Nutrient release during the decomposition of mowed perennial ryegrass and white clover and its contribution to nitrogen nutrition of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *[S. l.]*, v. 90, n. 3, p. 299–308, 2011. DOI: 10.1007/s10705-011-9430-8.

CAPOANE, Viviane; TIECHER, Tales; SCHAEFER, Gilmar Luiz; CIOTTI, Lucas Henrique; DOS SANTOS, Danilo Rheinheimer. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. *Ciencia Rural*, *[S. l.]*, v. 45, n. 4, p. 647–650, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20140738.

CERETTA, Carlos Alberto et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *[S. l.]*, v. 45, n. 6,

p. 593–602, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000600009.

CORRÊA, Juliano Corulli; MAUAD, Munir; ROSOLEM, Ciro Antônio. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 39, n. 12, p. 1231–1237, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004001200010.

DALL'ORSOLETTA, D. J.; GATIBONI, L. C.; MUMBACH, G. L.; SCHMITT, D. E.; BOITT, G.; SMYTH, T. J. Soil slope and texture as factors of phosphorus exportation from pasture areas receiving pig slurry. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 761, p. 144004, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144004.

DAMON, Paul M.; BOWDEN, Bill; ROSE, Terry; RENGEL, Zed. Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: A review. **Soil Biology and Biochemistry**, [S. l.], v. 74, p. 127–137, 2014. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.03.003.

DOS SANTOS RHEINHEIMER, Danilo; ANGHINONI, Ibanor. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems under subtropical conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S. l.], v. 34, n. 15–16, p. 2339–2354, 2003. DOI: 10.1081/CSS-120024068.

FERREIRA, C. S. S.; KEIZER, J. J.; SANTOS, L. M. B.; SERPA, D.; SILVA, V.; CERQUEIRA, M.; FERREIRA, A. J. D. Agriculture, Ecosystems and Environment Runoff, sediment and nutrient exports from a Mediterranean vineyard under integrated production: An experiment at plot scale. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l.], v. 256, n. January, p. 184–193, 2018. DOI: 10.1016/j.agee.2018.01.015.

FINK, Jessé Rodrigo; INDA, Alberto Vasconcellos; BAYER, Cimélio; TORRENT, José; BARRÓN, Vidal. Mineralogy and phosphorus adsorption in soils of south and central-west Brazil under conventional and no-tillage systems. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 379, 2014. DOI: 10.4025/actasciagron.v36i3.17937.

GATIBONI, Luciano Colpo; BRUNETTO, Gustavo; KAMINSKI, João; DOS SANTOS RHEINHEIMER, Danilo; CERETTA, Carlos Alberto; BASSO, Claudir José. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 32, n. 4, p. 1753–1761, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000400040.

GATIBONI, Luciano Colpo; DOS SANTOS RHEINHEIMER, Danilo; CLARO FLORES, Alex Fabiani; ANGHINONI, Ibanor; KAMINSKI, João; DE LIMA, Maria Angélica Silveira. Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-NMR in successively cropped soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S. l.], v. 36, n. 19–20, p. 2625–2640,

2005. DOI: 10.1080/00103620500301917.

GATIBONI, Luciano Colpo; KAMINSKI, João; DOS SANTOS RHEINHEIMER, Danilo; FLORES, João Paulo Cassol. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 691–699, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000400010.

GATIBONI, Luciano Colpo; SCHMITT, Djalma Eugênio; TIECHER, Tales; VELOSO, Murilo G.; DOS SANTOS, Danilo Rheinheimer; KAMINSKI, João; BRUNETTO, Gustavo. Plant uptake of legacy phosphorus from soils without P fertilization. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [S. l.], v. 2, p. 139–151, 2021. DOI: 10.1007/s10705-020-10109-2.

GATIBONI, Luciano Colpo; SMYTH, Thomas Jot; SCHMITT, Djalma Eugênio; CASSOL, Paulo César; OLIVEIRA, Clovisson Menotti Boeira. Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de Santa Catarina. **Boletim Técnico CAV/UEDESC**, [S. l.], p. 38, 2014.

GUZMÁN, G.; CABEZAS, J. M.; SÁNCHEZ-CUESTA, R.; LORA; BAUER, T.; STRAUSS, P.; WINTER, S.; ZALLER, J. G.; GÓMEZ, J. A. A field evaluation of the impact of temporary cover crops on soil properties and vegetation communities in southern Spain vineyards. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l.], v. 272, n. March 2018, p. 135–145, 2019. DOI: 10.1016/j.agee.2018.11.010.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in Inorganic and Organic Soil Phosphorus Fractions Induced by Cultivation Practices and by Laboratory Incubations. **Soil Science Society of America Journal**, [S. l.], v. 46, n. 5, p. 970–976, 1982. DOI: 10.2136/sssaj1982.03615995004600050017x.

HEUER, Sigrid; GAXIOLA, Roberto; SCHILLING, Rhiannon; HERRERA-ESTRELLA, Luis; LÓPEZ-ARREDONDO, Damar; WISSUWA, Matthias; DELHAIZE, Emmanuel; ROUACHED, Hatem. Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. **Plant Journal**, [S. l.], v. 90, n. 5, p. 868–885, 2017. DOI: 10.1111/tpj.13423.

HONGYU, Kuang; SANDANIELO, Vera L. M.; OLIVEIRA-JR, Gilmar J. Análise de Componentes Principais : resumo teórico , aplicação e interpretação Principal Component Analysis : theory , interpretations and applications. **E&S - Engineering and Science**, [S. l.], v. 1, n. August, p. 83–90, 2015. DOI: 10.18607/ES20165053.

HUANG, Lai Ming; JIA, Xiao Xu; ZHANG, Gan Lin; SHAO, Min An. Soil organic phosphorus transformation during ecosystem development: A review. **Plant and Soil**, [S. l.],

v. 417, n. 1–2, p. 17–42, 2017. DOI: 10.1007/s11104-017-3240-y.

HUANG, Lidong; SHENG, Ruiyao; LI, Zhenxuan; SUN, Daquan; YAN, Ning. Comparison of phosphorus fraction in eutrophic lake sediments from the northern hemisphere. **Chemistry and Ecology**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 100–121, 2020. DOI: 10.1080/02757540.2019.1699538.

JÚNIOR, Reginaldo Fidelis de Souza; OLIVEIRA, Fábio Henrique Tavares De; SANTOS, Hemmannuella Costa; FREIRE, Fernando José; DE ARRUDA, Jandeilson Alves. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 159–169, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000100017.

KUNZE, Alceu; COSTA, Murilo Dalla; EPPING, Jailso; LOFFAGUEN, Jean Carlos; SCHUH, Rafael; LOVATO, Paulo Emílio. Phosphatase activity in sandy soil influenced by mycorrhizal and non-mycorrhizal cover crops. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [S. l.], v. 35, n. 3, p. 705–711, 2011. DOI: 10.1590/s0100-06832011000300005.

LI, Yuan; ZHANG, Qingping; CAI, Yanjiang; YANG, Qian; CHANG, Scott X. Minimum tillage and residue retention increase soil microbial population size and diversity: Implications for conservation tillage. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 716, p. 137164, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137164.

LIMA, Andria Paula; LOURENZI, Cledimar Rogério; COMIN, Jucinei José; LOSS, Arcângelo; BRUNETTO, Gustavo; SOUZA, Monique; VENTURA, Bárbara Santos; TRAPP, Talita. Soil phosphorus fractions in an apple orchard with different weed managements Frações. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, p. 1–17, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8767>.

LIU, Zhanjun; HOU, Liyao; ZHU, Yuanjun; XU, Xinpeng. Vertical distribution and regulation of Olsen-phosphorus in 6-m soil profiles after farmland-to-apple orchard conversion on the Chinese Loess Plateau. **Catena**, [S. l.], v. 202, n. January, 2021. DOI: 10.1016/j.catena.2021.105254.

LOURENZI, Cledimar Rogério et al. Forms of phosphorus transfer in runoff under no-tillage in a soil treated with successive swine effluents applications. **Environmental Monitoring and Assessment**, [S. l.], v. 187, n. 4, 2015. DOI: 10.1007/s10661-015-4437-2.

MACHADO, Vanessa Júnia; DE SOUZA, Carlos Henrique Eiterer. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, [S. l.], v. 28, n. SUPPL. 1, p. 1–7, 2012.

MENEZES-BLACKBURN, Daniel et al. Opportunities for mobilizing recalcitrant

phosphorus from agricultural soils: a review. **Plant and Soil**, [S. l.], v. 427, n. 1–2, p. 5–16, 2018. DOI: 10.1007/s11104-017-3362-2.

MILIĆ, Stanko; NINKOV, Jordana; ZEREMSKI, Tijana; LATKOVIĆ, Dragana; ŠEREMEŠIĆ, Srđan; RADOVANOVIĆ, Vesna; ŽARKOVIĆ, Branka. Soil fertility and phosphorus fractions in a calcareous chernozem after a long-term field experiment. **Geoderma**, [S. l.], v. 339, n. December 2018, p. 9–19, 2019. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.12.017.

NUNES, Novais; CANTARUTTI, Bertola; NOVAIS, Ferreira; SILVA, Ribeiro; ROGÉRIO, Marcos; RIBEIRO, Neves; FOSFATASES, Atividade D. E.; GRAMÍNEAS, E. M.; EM, Forrageiras. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214065011>. [S. l.], 2008.

NUNES, Rafael de Souza; DE SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; GOEDERT, Wenceslau J.; DE OLIVEIRA, Luiz Eduardo Zancanaro; PAVINATO, Paulo Sergio; PINHEIRO, Thamires Dutra. Distribution of Soil Phosphorus Fractions as a Function of Long-Term Soil Tillage and Phosphate Fertilization Management. **Frontiers in Earth Science**, [S. l.], v. 8, n. September, p. 1–12, 2020. DOI: 10.3389/feart.2020.00350.

OHM, Magdalena; PAULSEN, Hans Marten; MOOS, Jan Hendrik; EICHLER-LÖBERMANN, Bettina. Long-term negative phosphorus budgets in organic crop rotations deplete plant-available phosphorus from soil. **Agronomy for Sustainable Development**, [S. l.], v. 37, n. 3, 2017. DOI: 10.1007/s13593-017-0425-y.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbon, light organic matter and remaining phosphorus in different soil management systems | Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S. l.], v. 45, n. 5, p. 508–514, 2010. DOI: 10.1590/S0100-204X2010000500010.

PORRO, Duilio; STEFANINI, Marco. Tecnologias para o desenvolvimento da vitivinicultura de Santa Catarina: Relatório das atividades desenvolvidas. [S. l.], n. December, p. 145, 2016.

PRESTON, Welka; DA SILVA, Yuri J. A. B.; DO NASCIMENTO, Clístenes W. A.; DA CUNHA, Karina P. V.; SILVA, Davi J.; FERREIRA, Hailson A. Soil contamination by heavy metals in vineyard of a semiarid region: An approach using multivariate analysis. **Geoderma Regional**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 357–365, 2016. DOI: 10.1016/j.geodrs.2016.11.002.

RHEINHEIMER, Danilo dos Santos et al. Phosphorus distribution after three decades of different soil management and cover crops in subtropical region. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 192, n. May, p. 33–41, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.04.018.

RHEINHEIMER, Danilo Dos Santos; ANGHINONI, Ibanor. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 151–160, 2001. DOI: 10.1590/s0100-204x2001000100019.

RHEINHEIMER, Danilo Santos; GATIBONI, Luciano Colpo; KAMINSKI, João. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 576–586, 2008.

ROY, Eric D. et al. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature Plants**, [S. l.], v. 2, n. 5, p. 2–7, 2016. DOI: 10.1038/NPLANTS.2016.43.

SANTOS, José Zilton Lopes; FURTINI NETO, Antonio Eduardo; RESENDE, Álvaro Vilela De; CURI, Nilton; CARNEIRO, Leandro Flávio; COSTA, Sérgio Ely Valadão Gigante de Andrade. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 705–714, 2008. DOI: 10.1590/s0100-06832008000200025.

SCHMITT, Djalma E.; GATIBONI, Luciano C.; GIROTTO, Eduardo; LORENSINI, Felipe; MELO, George W. B.; BRUNETTO, Gustavo. Phosphorus fractions in the vineyard soil of the Serra Gaúcha of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 134–140, 2014. DOI: 10.1590/S1415-43662014000200002.

SCHMITT, Djalma Eugênio et al. Phosphorus fractions in sandy soils of vineyards in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 472–481, 2013. DOI: 10.1590/s0100-06832013000200018.

SCHMITT, Djalma Eugênio; GATIBONI, Luciano Colpo; HEIDEMANN, Joice Crescêncio; DALL'ORSOLETTA, Daniel João; BOITT, Gustavo; BRUNETTO, Gustavo. Phosphorus fractions in soil cultivated with vineyards after 62 years of poultry litter addition. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [S. l.], v. 54, 2019. DOI: 10.1590/S1678-3921.PAB2019.V54.00817.

SOLTANGHEISI, Amin et al. Forest conversion to pasture affects soil phosphorus dynamics and nutritional status in Brazilian Amazon. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 194, n. July, p. 104330, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.104330.

TECCHIO, Marco Antonio; ANTONIO, Luiz; TEIXEIRA, Junqueira; TERRA, Maurilo Monteiro; MOURA, Mara Fernandes; PAIOLI-PIRES, Erasmo José. Extração De Nutrientes Pela Videira ‘ Niagara Rosada ’ Enxertada Em Diferentes Grafted on Different Rootstocks. [S. l.], p. 736–742, 2011.

TIECHER, Tales; GOMES, Murilo Veloso; AMBROSINI, Vítor Gabriel; AMORIM,

Magno Batista; BAYER, Cimélio. Assessing linkage between soil phosphorus forms in contrasting tillage systems by path analysis. **Soil and Tillage Research**, [S. l.], v. 175, n. September 2017, p. 276–280, 2018. DOI: 10.1016/j.still.2017.09.015.

TIECHER, Tales; SANTOS, Danilo Rheinheimer Dos; KAMINSKI, João; CALEGARI, Ademir. Forms of inorganic phosphorus in soil under different long term soil tillage systems and winter crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 271–282, 2012. DOI: 10.1590/s0100-06832012000100028.

VIEIRA, ADRIANA CARVALHO PINTO; GARCIA, JUNIOR RUIZ; BRUCH, KELLY LISSANDRA. Análise Exploratória Dos Potenciais Efeitos Das Mudanças Climáticas Nos “Vales Da Uva Goethe”. **Ambiente & Sociedade**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 171–192, 2015. DOI: 10.1590/1809-4422asoc885v1832015.

ZALAMENA, Jovani; CASSOL, Paulo Cezar; BRUNETTO, Gustavo; GROHNSKOPF, Marco André; MAFRA, Maria Sueli Heberle. Estado nutricional, vigor e produção em videiras cultivadas com plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S. l.], v. 35, n. 4, p. 1190–1200, 2013. DOI: 10.1590/S0100-29452013000400030.

ZHAO, Zheng; CHU, Changbin; ZHOU, Deping; SHA, Zhimin; WU, Shuhang. Soil nutrient status and the relation with planting area, planting age and grape varieties in urban vineyards in Shanghai. **Heliyon**, [S. l.], v. 5, n. 8, p. e02362, 2019. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02362.

ZHENG, Zhiming; CANADA, Agri-food; LAFOND, Jean; CANADA, Agri-food. Soil Phosphorus Dynamics After Ten Annual Applications of Mineral Fertilizers and Liquid Dairy Manure: Fractionation and Path Analyses. [S. l.], n. November 2020, 2004. DOI: 10.1097/01.ss.0000131225.05485.25.