

## CAPÍTULO 6

### Manejo do solo e adubação de vinhedos na região da Campanha Gaúcha: ênfase para o potencial produtivo das plantas, a qualidade de frutos e o impacto ambiental

**George Wellington Bastos de Melo**

**Gustavo Brunetto**

**Jovani Zalamena**

#### 6.1. Introdução

O solo é o principal recurso que o viticultor tem disponível na sua propriedade. No entanto, muitas vezes desconhecemos o fundamental papel que ele desempenha para a nossa existência e, por isso, ele é tratado apenas como um local que permite o crescimento da planta. Ele é muito mais do que um substrato para as plantas crescerem, é vivo e composto por uma complexa comunidade de animais, plantas, fungos e bactérias, que interagem entre si, permitindo a realização da ciclagem de nutrientes e aumento da sua biodisponibilidade, que são serviços ecossistêmicos que o homem explora de modo a extrair dali o seu sustento.

A região da Campanha do Rio Grande do sul apresenta solos bastante intemperizados, arenosos, levemente ácidos, com baixa capacidade de suprimento de nutrientes para as plantas. Com essas características, na implantação de vinhedos se faz necessário o uso de calagem para a correção da acidez, bem como da adubação para correção das carências nutricionais do solo (Melo et al. 2012).

Em relação aos atributos físicos, se os solos não forem manejados adequadamente, apresentam um alto potencial para degradação ambiental, principalmente pela baixa resistência à erosão (Brunetto et al. 2007; Melo and Zalamena 2016). Devido à alta suscetibilidade à erosão, é necessário cuidados para não aumentar o impacto negativo da viticultura nos processos erosivos do solo, entre eles aumento nas perdas de solo e nutriente.

A dose, o modo e a forma de aplicação de fertilizantes e corretivos são atividades que, sendo mal executadas, podem ter efeitos negativos sobre o solo e plantas.

Para as condições climáticas do RS, onde na safra de uva a ocorrência de chuvas é frequente, uma outra característica importante e essencial do solo é a capacidade de drenar o excesso de umidade, pois as plantas não se adaptam a períodos longos de alagamento.

Considerando que a cobertura do solo é importante para aumentar a qualidade e a saúde do solo, torna obrigatório o uso de planta de cobertura (PC) na atividade vitícola, pois elas protegem o solo contra o impacto das gotas de chuva, dificultando a desagregação e transporte das partículas de solo. O uso de PC é uma prática agrícola conservativa que, além de proteção, é responsável pela diminuição das perdas de nutrientes por lixiviação. A importância e vantagens de usar plantas de cobertura em vinhedos são bem conhecidas em várias regiões vitícolas (Aronsson et al. 2016; Botton et al. 2010; Brunetto et al. 2013; Fernandes et al. 2019). Os benefícios são muitos, melhoram a qualidade do solo, aumentando o teor de matéria orgânica, melhorando os atributos químicos e físicos do solo, restauram a atividade biológica do solo e podem controlar o vigor e qualidade da uva (Albarelo; et al. 2013; Fernandes et al. 2019; Lopes et al. 2008; Silveira et al. 2014; Zalamea et al. 2013).

Associando as características dos solos com as do clima predominante na região da Campanha Gaúcha, o manejo do solo e das PCs devem ser atividades que visem mitigar os possíveis impactos negativos da viticultura no meio ambiente. Deve-se dar preferências às atividades que evitem a mobilização excessiva do solo. Assim, o impacto das gotas das chuvas sobre o solo - principal causa de erosão - é mitigado, o que proporciona aumento na capacidade de infiltração de água no solo e diminuição da erosão, assegurando vantagens econômicas, sociais e ambientais para a viticultura dentro da propriedade, bem como no seu entorno.

A videira é uma planta que se adapta a variados tipo de solo, desde os mais férteis aos mais pobres em nutrientes (Winkler et al. 1974). Os efeitos do solo podem ser expressos principalmente por sua influência no status de disponibilidade de água às plantas (Ubalde et al. 2010). Em solos mais profundos e com textura franca as plantas têm melhor desenvolvimento, pois as raízes encontram melhores condições para crescimento e, conseqüentemente, para absorção de água e nutrientes.

O tipo de solo influencia as características organolépticas de um vinho e, juntamente com as condições ambientais e climáticas, são responsáveis pela personalidade do vinho (Bohmrich 1996; Ubalde et al. 2010). A variabilidade de tipos de solos é uma constante em uma paisagem vitícola. Assim, a mesma variedade de videira pode produzir frutos com características distintas, quando cultivada em solos com atributos químicos e físicos variados dentro de uma sucessão de solos na mesma paisagem.

Em função das características de solos e climas da região da Campanha Gaúcha, as atividades desenvolvidas tiveram por objetivos avaliar práticas agrícolas de adubação e manejo do solo que tivessem um menor impacto sobre o solo, aumentasse o aproveitamento de fertilizantes e corretivos e, ainda permitissem às plantas de videira expressarem seu potencial de crescimento e produtivo.

## 6.2. Atividades Realizadas

### 6.2.1. Crescimento de plantas jovens de videira em Argissolo arenoso da região da Campanha Gaúcha sob diferentes condições de preparo do solo

#### 6.2.1.1. Descrição da Atividade

A atividade de pesquisa foi conduzida em solo Argissolo Vermelho no município de Santana do Livramento, o qual anteriormente havia sido cultivado com videira durante seis anos, mas já estava em pousio por quatro anos.

Avaliou-se dois modos de preparo do solo para implantação de vinhedos em solos arenosos com alto grau de suscetibilidade à erosão.

Os tratamentos consistiram em: 1 - Preparo do solo em toda área (Testemunha), o preparo do solo consistiu em uma aração a uma profundidade de 0,20 a 0,30 m, seguido de gradagem para nivelar o solo; 2 - Preparo do solo somente nas linhas de plantio, que consistiu em apenas uma aração a uma profundidade de 0,20 a 0,30 m e, posteriormente, realizou-se uma gradagem de nivelamento do solo. Realizou-se a adubação e a calagem antes do preparo do solo. O plantio das mudas ocorreu após o preparo do solo e da aplicação de corretivo e fertilizantes, os quais foram distribuídos sobre o solo antes do preparo.

Instalou-se o vinhedo em agosto de 2012, efetuou-se as avaliações a partir do plantio até 75 dias após o início de brotação. A cultivar utilizada foi Merlot (*Vitis vinifera* L.), enxertada sobre o porta enxerto SO4 (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*), cultivada em sistema de condução espaldeira. A densidade de plantio foi de 2525 plantas ha<sup>-1</sup>, com espaçamento de 1,20 m entre plantas e 3,30 m entrelinhas.

Antes da instalação da atividade de pesquisa, fez-se amostragem do solo para caracterizar os seus atributos, na camada de 0-0,20 m, que foram: 780 g kg<sup>-1</sup> areia, 76 g kg<sup>-1</sup> silte, 144 g kg<sup>-1</sup> argila (Embrapa, 1997); matéria orgânica 9 g kg<sup>-1</sup>, pH em água 5,2; índice SMP de 6,2; P e K disponíveis 18,1 e 54 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente; Al, Ca e Mg trocáveis, 0,1, 1,41 e 0,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tedesco et al., 1995). A dose de calcário utilizada foi baseada nas recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS) - RS/SC (2004) e utilizou-se 2,6 t ha<sup>-1</sup> de um calcário dolomítico com 84% de PRNT. A adubação de correção constou de 170 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (fonte superfosfato triplo) e 60 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (fonte cloreto de potássio).

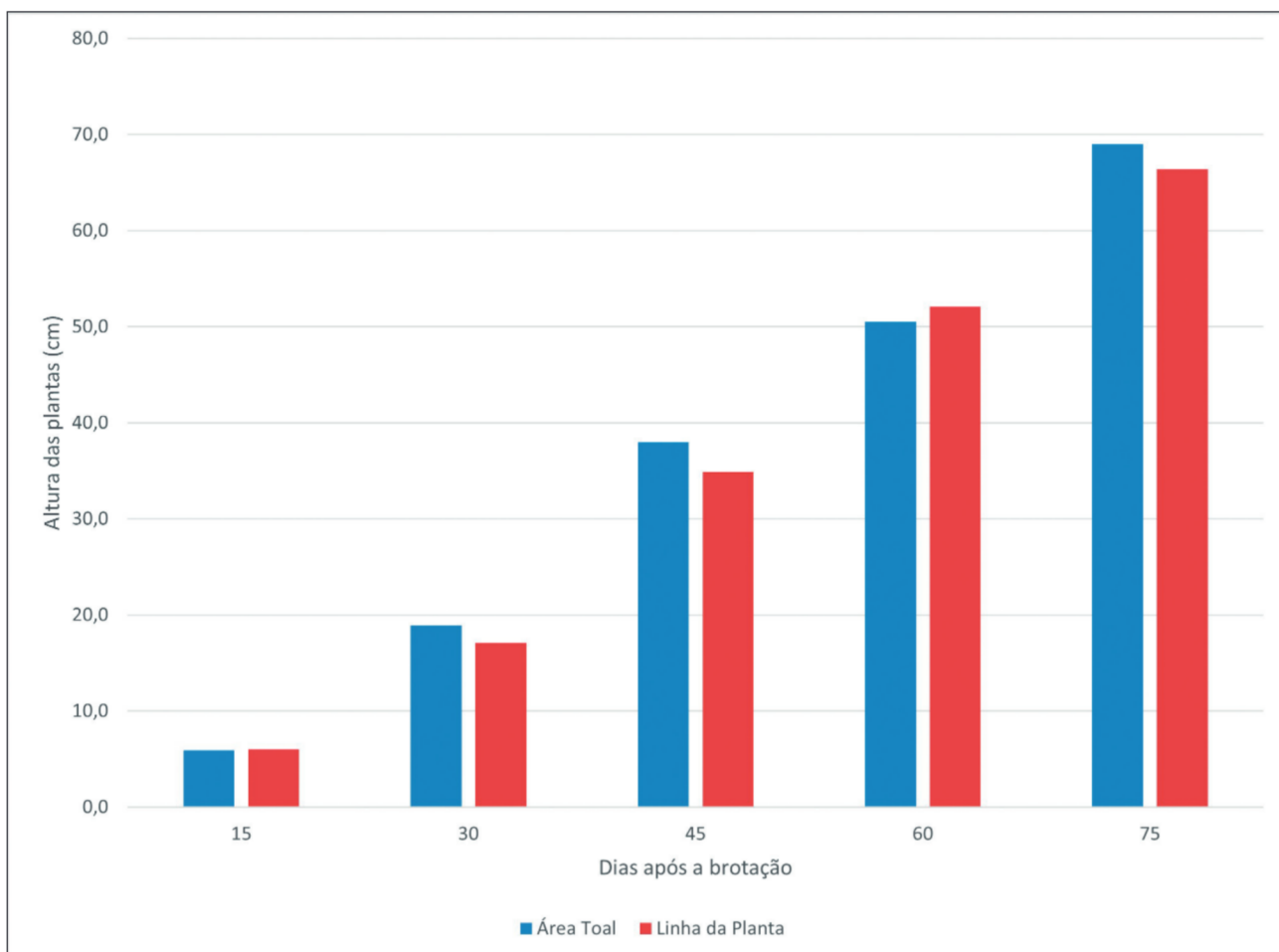
Fez-se análise de crescimento não destrutiva para comparar os tratamentos. As variáveis avaliadas foram: a) altura das plantas, que foi realizada com uma régua graduada, medindo-se a partir do ponto de brotação até o ápice da planta, e b) número de folhas lançadas, que foi determinado pela contagem simples das folhas presentes na planta. As avaliações iniciaram aos 15 dias após a brotação (+ de 80% das plantas brotadas) e repetiu-se aos 30, 45, 60 e 75 dias após a brotação. A partir das avaliações realizadas fez-se o cálculo da taxa de crescimento em altura das plantas e a taxa de lançamento de folhas ao longo do período de avaliação.

### 6.2.1.2. Resultados obtidos

#### 6.2.1.2.1. Altura das plantas afetada pelo modo de preparo do solo

O modo de preparo do solo não afetou o crescimento inicial das plantas (Figura 1). Esse é um importante resultado porque demonstra que, na implantação do vinhedo, a movimentação do solo pode ser realizada apenas na linha onde as mudas serão plantadas. A movimentação restrita do solo implica em diminuir a possibilidade de ocorrência de erosão nos solos arenosos cultivados com videira na região da Campanha Gaúcha.

Nessa região os problemas de erosão não são apenas devidos às intensas chuvas, mas também aos fortes ventos, que são comuns na época de implantação de vinhedos, causando erosão eólica nos solos descobertos de vegetação, afetando negativamente o crescimento inicial das plantas e causando sérios danos econômicos.



**Figura 1.** Variação da altura das plantas submetidas a modos de preparo do solo ao longo de 75 dias de cultivo.

## 6.2.2. Crescimento de plantas jovens de videira em Argissolo arenoso da região da Campanha Gaúcha sob diferentes modos de correção da fertilidade do solo

### 6.2.2.1. Descrição da Atividade

A atividade de pesquisa foi conduzida em solo Argissolo Vermelho no município de Santana do Livramento, o qual anteriormente havia sido cultivado com videira durante seis anos, mas já estava em pousio por quatro anos e cujas características foram apresentadas no item 6.2.1.1

Foram testados modos de adubação de correção de solos para implantação de vinhedos em solos arenosos com alto grau de suscetibilidade à erosão.

Os tratamentos consistiram em: 1 - Adubação em toda área e incorporada ao solo (Testemunha); 2 - Adubação em toda área, mas não incorporada ao solo; 3 - Adubação somente nas linhas de plantio e incorporada e 4 - Adubação somente nas linhas de plantio, mas não incorporada. Aplicou-se o adubo antes do preparo do solo, sendo este, igual em todos os Tratamentos, que consistiu em uma aração a uma profundidade de 0,20 a 0,30 m, em seguida fez-se gradagem para nivelar o solo.

O vinhedo foi instalado em agosto de 2012, e as avaliações foram efetuadas a partir do plantio até 75 dias após o início de brotação. A cultivar utilizada foi Merlot (*Vitis vinifera* L.), enxertada sobre o porta enxerto 'SO4' (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*), cultivada em sistema de condução espaldeira. A densidade de plantio foi de 2.525 plantas ha<sup>-1</sup>, com espaçamento de 1,20 m entre plantas e 3,30 m entrelinhas

Fez-se a mesma análise de crescimento não destrutiva apresentada no item 6.2.1.1 para comparar os tratamentos.

### 6.2.2.2. Resultados obtidos

#### 6.2.2.2.1. Altura das plantas afetada pelo modo aplicação e incorporação de calcário e fertilizantes

Analisando-se a Figura 2, em que estão os dados de altura de plantas, em função do modo aplicação e incorporação de calcário e fertilizantes, observa-se que aos 15 dias após a brotação as plantas apresentavam altura média de 5,6 cm e que, no final do período de avaliação, a altura média da planta atingiu 68,5 cm, correspondente ao acréscimo de 1.218%.

Foi constatado que não houve efeito significativo dos tratamentos aplicados sobre a altura das plantas durante o período de avaliação, assim como no item 6.2.1.2. A falta de significância observada pode estar relacionada com a quantidade de substâncias de reservas que as mudas de videira tinham e que, durante o período de 75 dias, foram responsáveis pela dinâmica de crescimento das plantas.

Na Figura 3, para a variável taxa de crescimento, observa-se que, em nenhuma data de avaliação, houve diferença significativa entre os modos adubação de correção.

**Deste modo, fica evidenciado que a aplicação de fertilizantes e corretivos em toda superfície do solo e incorporados apenas nas linhas das plantas é uma prática que permite a formação do vinhedo com o menor impacto sobre o solo.**

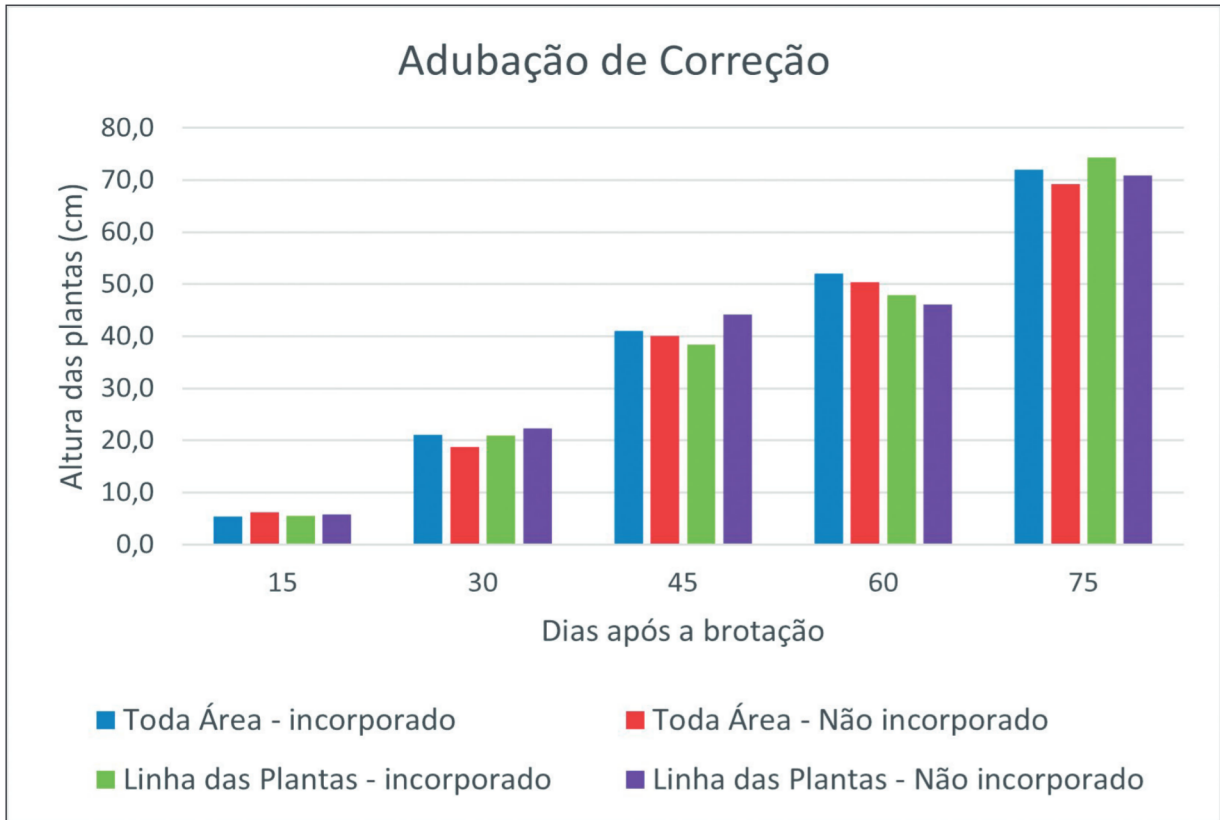


Figura 2. Variação da altura das plantas submetidas a modos de adubação de correção.

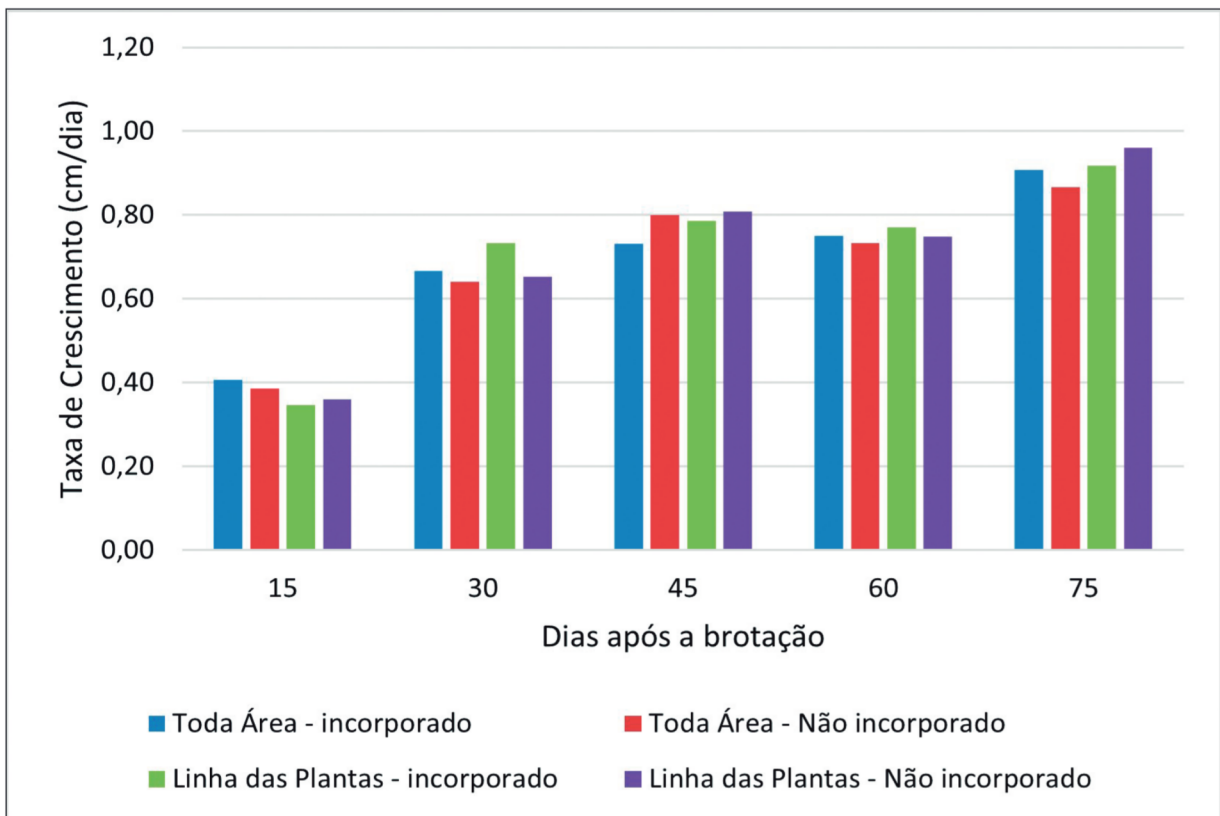


Figura 3. Variação da taxa de crescimento das plantas submetidas a modos de adubação de correção.

### 6.2.3. Manejo de plantas de cobertura visando a adubação da videira

#### 6.2.3.1. Descrição da Atividade

A atividade foi desenvolvida na Vinícola Almadén, em Santana do Livramento, RS, Brasil em um vinhedo variedade 'Merlot', enxertada sobre o porta-enxerto 'SO4', implantado em 1999. Os tratamentos constaram de seis combinações de densidades de plantas de aveia preta (*Avena strigosa*) (Av) e ervilhaca comum (*Vicia sativa*) (Er), em sistemas consorciados e em cultivos isolados conforme segue: 100% Av; 80% Av + 20% Er; 60% Av + 40% Er; 40% Av + 60% Er; 20% Av + 80% Er e 100% Er. Os valores percentuais referem-se às quantidades de 100 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de ervilhaca e aveia, respectivamente, utilizadas na semeadura. A semeadura foi realizada em maio de 2014, durante o período de dormência da videira. Em cada combinação de plantas de cobertura, foi realizado o manejo com roçadas da parte aérea e manutenção na superfície do solo, em quatro épocas distribuídas desde o início da brotação até após a plena floração da videira. Na virada de cor das bagas foram coletadas amostras de folhas (limbo + pecíolo) de videira para análise da composição nutricional.

O objetivo desta atividade de pesquisa foi avaliar a contribuição de plantas de cobertura do solo na nutrição de videiras em produção.

#### 6.2.3.2. Resultados obtidos

A época de manejo das plantas de cobertura não alterou o teor de N e Mg, mas o teor de Ca e P nas folhas de videira aumentou quando o manejo foi realizado após a plena floração. As diferentes combinações de plantas não interferiram nos teores de Ca, Mg e K, mas o N foi superior no tratamento 100% Er em relação ao 100% Av e o teor de P foi maior na combinação 40% Av + 60% Er (Tabela 1).

**Os resultados demonstraram que as plantas de cobertura do solo, de modo especial a ervilhaca, podem ser cultivadas em vinhedos visando fornecer N à videira.**

**Tabela 1.** Teores de nutrientes nas folhas (completa) de videira. Vinícola Almadén – Safra 2014/15

Variável	Época Manejo	Proporção de Aveia Preta						Médias
		A100	A80	A60	A40	A20	A0	
N, %	1	2,07	2,01	2,05	2,14	2,14	2,21	2,10NS
	2	1,81	1,96	2,09	1,99	2,00	2,17	2,00
	3	1,98	2,00	2,03	2,01	2,02	2,09	2,02
	4	2,10	2,14	2,10	2,06	2,13	2,23	2,13
	Médias	1,99 B	2,03 AB	2,07 AB	2,05 AB	2,07 AB	2,18 A	
P, %	1	0,30	0,35	0,27	0,32	0,28	0,30	0,30 b
	2	0,31	0,34	0,31	0,39	0,34	0,31	0,33 ab
	3	0,35	0,38	0,37	0,42	0,39	0,31	0,37 a
	4	0,31	0,37	0,31	0,41	0,34	0,40	0,36 a
	Médias	0,32 B	0,36 AB	0,32 B	0,38 A	0,34 AB	0,33 AB	
K, %	1	2,02	1,89	2,00	1,82	1,83	1,81	1,90 b
	2	2,01	1,97	1,90	1,92	1,81	1,92	1,92 a
	3	1,98	1,82	1,90	1,88	1,96	1,96	1,92 a
	4	1,77	1,60	1,81	1,81	1,74	1,74	1,76 b
	Médias	1,95 NS	1,82 NS	1,9 NS	1,86 NS	1,86 NS	1,86 NS	
Ca, %	1	1,16	1,20	1,13	1,15	1,18	1,30	1,19 b
	2	1,24	1,32	0,95	1,27	1,39	1,24	1,24 ab
	3	1,30	1,41	1,31	1,35	1,28	1,26	1,32 ab
	4	1,34	1,37	1,34	1,43	1,41	1,41	1,38 a
	Médias	1,26 NS	1,32 NS	1,18 NS	1,30 NS	1,32 NS	1,30 NS	
Mg, %	1	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22	0,25	0,23 NS
	2	0,25	0,24	0,17	0,23	0,25	0,22	0,23
	3	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25	0,23	0,24
	4	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,24	0,24
	Médias	0,24 NS	0,24 NS	0,22 NS	0,23 NS	0,24 NS	0,24 NS	

NS – Não significativo; letras iguais minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem as médias dos tratamentos pelo teste Tukey (P<0,05).

#### 6.2.4. Doses e modos de aplicação de Nitrogênio para maximizar a produção e qualidade de uva, mosto e vinho em solos arenosos

##### 6.2.4.1. Estudo 1 - Melhor modo de fornecimento de Nitrogênio em videiras em início de produção

###### 6.2.4.1.1. Descrição do experimento

O objetivo do estudo foi avaliar a produção e a composição química do mosto em videiras '*Alicante Bouschet*' submetidas à aplicação de N de três modos: sem irrigação, seguida de irrigação e via fertirrigação. O estudo foi conduzido em um vinhedo implantado em 2011, no município de Santana do Livramento (Latitude 30° 48' 31" S; Longitude 55° 22' 33" W), localizado na região da Campanha Gaúcha do Estado do RS, região Sul do Brasil. O período de condução do experimento foi de setembro de 2013 a março de 2017. A '*Alicante Bouschet*' foi enxertada sobre o porta-enxerto Paulsen 1103 e implantada no espaçamento de 2,8 m entrelinhas e 1,2 m entre plantas. O sistema de condução das



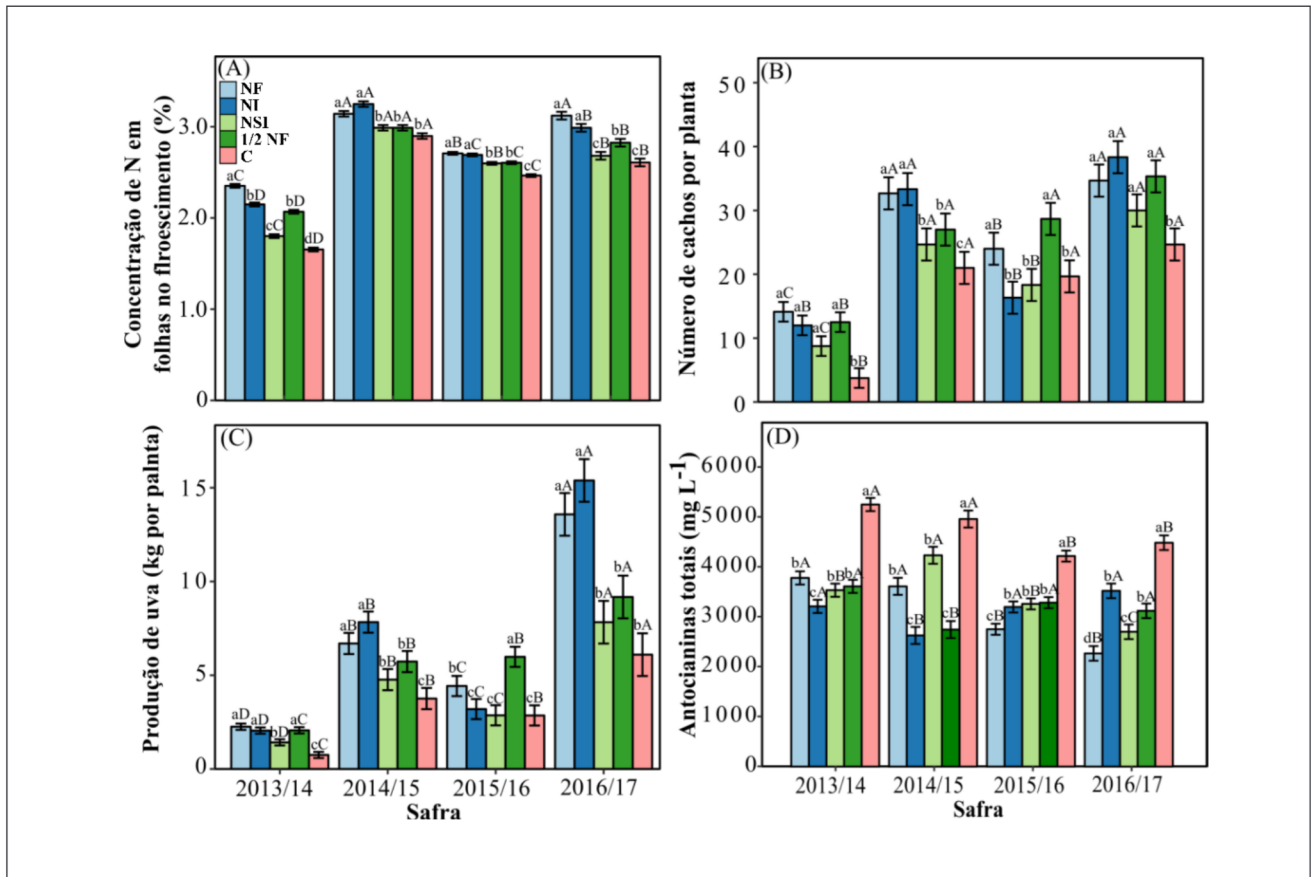
videiras foi espaldeira. Na poda de inverno das safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17 foram mantidas 20 gemas por planta. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Santos et al., 2018).

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições. Cada repetição foi formada por cinco plantas, sendo as três plantas centrais avaliadas. Os tratamentos foram: 1) sem aplicação de N (C), 2) aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> sem irrigação (NSI), 3) aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> com irrigação (NI), 4) aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertirrigação (NF) e 5) aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertirrigação (½NF). O N em todos os tratamentos foi aplicado na forma de ureia (45% de N). Nos tratamentos com e sem irrigação, a ureia foi aplicada na superfície do solo da linha de plantio, na região da projeção da copa das plantas. As doses utilizadas de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> em diferentes modos de fornecimento foram estipuladas com base na recomendação técnica para a cultura da videira proposta pela CQFS-RS/SC (2016), para solos com textura arenosa e com teores de matéria orgânica, menores e iguais a 25 g kg<sup>-1</sup>.

No pleno florescimento e mudança de cor das bagas (*veraison*) foram coletadas folhas completas, opostas ao cacho, no terço médio dos ramos do ano, processadas para posterior determinação de N total (Tedesco et al., 1995). Nas safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17 foram realizadas a contagem do número de cachos por planta. Todos os cachos foram colhidos e pesados, para determinação da produtividade. Posteriormente, em cada cacho foi contado o número de bagas. As bagas foram pesadas para a determinação da massa de 100 bagas. Cinco cachos foram reservados por planta, em que bagas do terço superior, mediano e inferior dos cachos de cada tratamento foram descascadas e maceradas manualmente, sendo apenas a polpa com semente utilizada para determinação de sólidos solúveis totais (TSS), pH, acidez total titulável (ATT). Para a extração das antocianinas totais (AT) foram utilizadas apenas a casca das bagas, sendo determinadas segundo o método da diferença de pH (Giusti & Wroslstad, 2001). A comparação foi realizada considerando as formas de aplicação de N em cada safra e entre safras, sendo as médias dos parâmetros de produtividade e qualidade do fruto dos tratamentos comparadas por meio do teste de Scott-Knott.

#### 6.2.4.1.2. Resultados Obtidos

As videiras submetidas à aplicação de N no solo via fertirrigação (NF) apresentaram maior concentração de N nas folhas no pleno florescimento nas quatro safras (Figura 4A). A aplicação de N em videiras seguida de irrigação (NI) incrementou a concentração de N nas folhas no pleno florescimento nas safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 (Figura 4A). As videiras cultivadas no solo submetido à aplicação de N via NF, NI e ½ NF apresentaram maior produtividade de uva na safra 2013/14 (Figura 4C). Nas safras 2014/15 e 2016/17 as videiras com maior produtividade de uva foram àquelas cultivadas no solo com aplicação de NF e NI. Na safra 2015/16 as videiras cultivadas no solo com a aplicação de ½ NF apresentaram a maior produtividade de uva. Salienta-se que, a produtividade de uva oscilou entre os tratamentos e safras avaliadas, sendo que a menor produtividade de uva observada foi 0.38 kg planta<sup>-1</sup> e a maior 15 kg planta<sup>-1</sup>. As videiras submetidas à aplicação de NF apresentaram o maior número de cachos por planta em todas as safras, seguido das videiras cultivadas no solo com aplicação de NI nas safras 2013/14, 2014/15 e 2016/17 (Figura 4B). Os mostos das uvas das videiras cultivadas no solo sem aplicação de N (C) apresentaram as maiores concentrações de antocianinas totais (AT) em todas as safras (Figura 4D). O mosto das videiras submetidas a NI e NF apresentaram as menores concentrações de AT, respectivamente, nas safras 2013/14, 2014/15, 2015/16 e 2016/17.



**Figura 4.** Concentração de N em folhas no florescimento (A), número de cachos por planta (B), produção de uva (C) e concentração de antocianinas totais (D) em videiras 'Alicante Bouschet' submetidas a modos de fornecimento de N. C - sem aplicação de N; NSI - aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> sem irrigação; NI - aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> com irrigação; NF - aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> + 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertirrigação; 1/2 NF - aplicação de 20 kg N ha<sup>-1</sup> via fertirrigação. Fonte: Adaptado de Stefanello et al., 2020a.

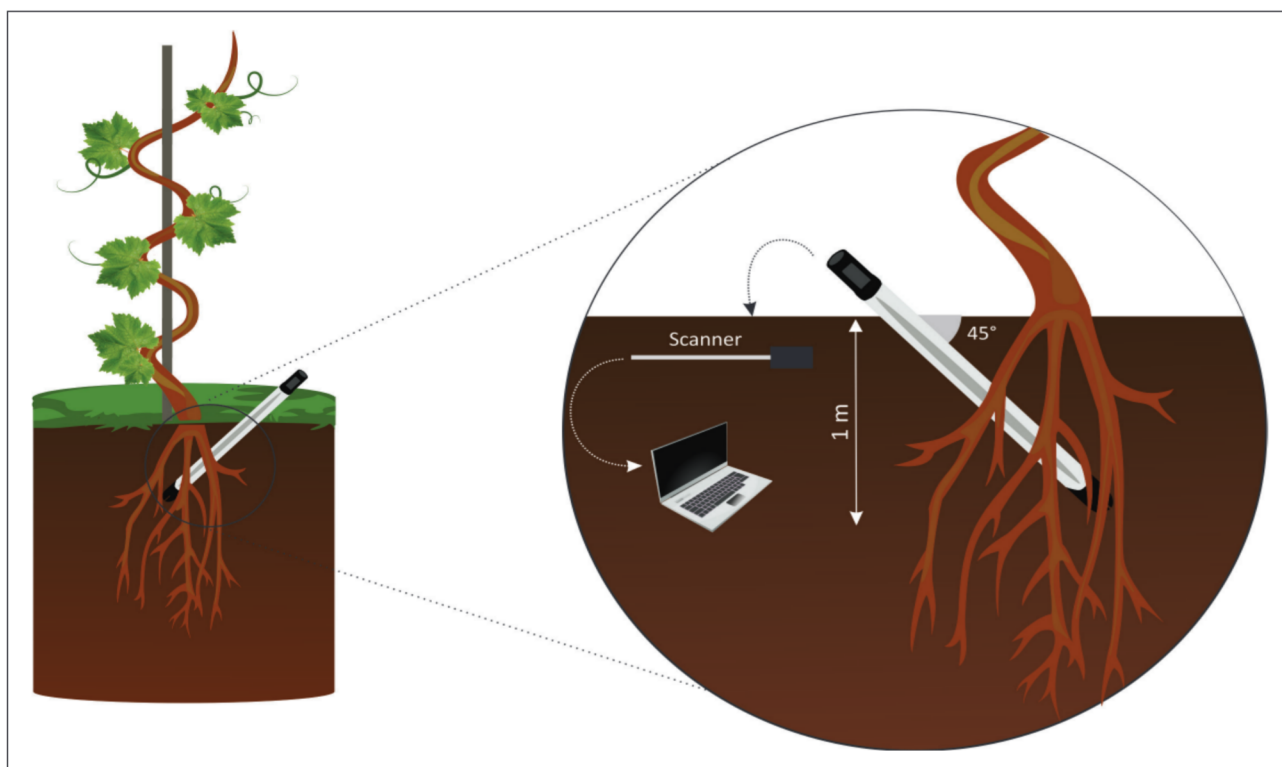
#### 6.2.4.2. Estudo 2 - Crescimento radicular, nutrição, produção de uva, qualidade de mosto e vinho em videiras jovens submetidas a doses e modos de fornecimento de N

##### 6.2.4.2.1. Descrição do experimento

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses e modos de fornecimento de N no crescimento radicular, nutrição, produção de uva, qualidade de mosto e vinho de videiras jovens cultivadas em solos arenosos.

O estudo foi conduzido em um vinhedo implantado em 2011 no município de Santana do Livramento, localizado na mesma área do *Estudo 1* supracitado. A cultivar avaliada foi 'Alicante Bouschet', enxertada sobre o porta-enxerto 'Paulsen 1103'. O período de condução do experimento foi de setembro de 2014 a março de 2017. O experimento foi um bifatorial (dose x modo). As doses de N (0, 20, 40, 60, 80 e 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), foram aplicadas em três modos de fornecimento: (i) aplicação de N sem irrigação - NSI, (ii) N seguido de irrigação - NI e (iii) N via fertirrigação - NF. A fonte de N utilizada foi a ureia (45% de N). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com cinco repetições.

A dinâmica de raízes finas foi analisada utilizando a técnica minirhizotron (CID Bio-Science<sup>1</sup>). Tubos de minirhizotron foram instalados no solo para escaneamento *in situ* do sistema radicular das videiras em cada tratamento, em maio de 2016 (Figura 5). As imagens foram capturadas durante o florescimento das videiras (outubro de 2016 e 2017). As imagens das raízes foram capturadas em três profundidades do solo (0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm), usando um scanner cilíndrico (CI-600 Root Scanner, CID Bio-Science<sup>1</sup>). As imagens foram analisadas no software RootSnap CI-690 versão 1.3.2.25 (CID Bio-Science<sup>1</sup>). As raízes que permaneceram brancas, ou então, que mudaram para marrom, foram definidas como vivas. Enquanto, raízes que foram suberizadas (pretas) ou enrugadas, foram identificadas como mortas. Os parâmetros avaliados em cada tubo a partir das imagens geradas foram a área superficial de raízes ( $\text{mm}^2 \text{ tubo}^{-1}$ ) e produção de raízes ( $\text{mm tubo}^{-1}$ ) (diferença entre o comprimento total de raízes vivas e mortas).



**Figura 5.** Representação esquemática do sistema de geração de imagens a partir de tubos de minirhizotron instalados no vinhedo da área experimental; captura de imagens *in situ* com alta resolução (600 dpi) a partir de um scanner cilíndrico (Root Imager – CI600).

No pleno florescimento e mudança de cor das bagas (veraison) foram coletadas folhas completas, opostas ao cacho, no terço médio dos ramos do ano, para posterior determinação de N total (Tedesco et al., 1995). Na colheita das uvas nas safras 2014/15, 2015/16 e 2016/17 foi realizada a contagem e pesagem de cachos por planta, determinação de produção por área e por planta. Posteriormente, em cada cacho foi contado o número de bagas. As bagas foram pesadas para a determinação da massa de 100 bagas e o peso de ráquis. As bagas foram submetidas a análise química, sendo as mesmas empregadas no *Estudo 1*. As análises físico-químicas do vinho foram realizadas no Winescan SO2 (Foss Analytics<sup>2</sup>). Foi utilizado uma alíquota de 20 mL de vinho para análise multiparamétrica de teor alcoólico, acidez total, pH, acidez volátil e açúcar residual. A

<sup>1</sup> A menção a esta marca é apenas para fins informativos, não havendo, por parte da Embrapa e autores desta publicação, qualquer tipo de conotação comercial ou de recomendação de uso.

<sup>2</sup> A menção a esta marca é apenas para fins informativos, não havendo, por parte da Embrapa e autores desta publicação, qualquer tipo de conotação comercial ou de recomendação de uso.

comparação foi realizada considerando as doses de N e os modos de fornecimento de N, sendo as médias de parâmetros de raízes, concentração de N nos tecidos, produtividade e qualidade da uva e vinho comparadas por meio do teste de Scott-Knott para os modos, e ajustadas equações polinomiais para as doses de N.

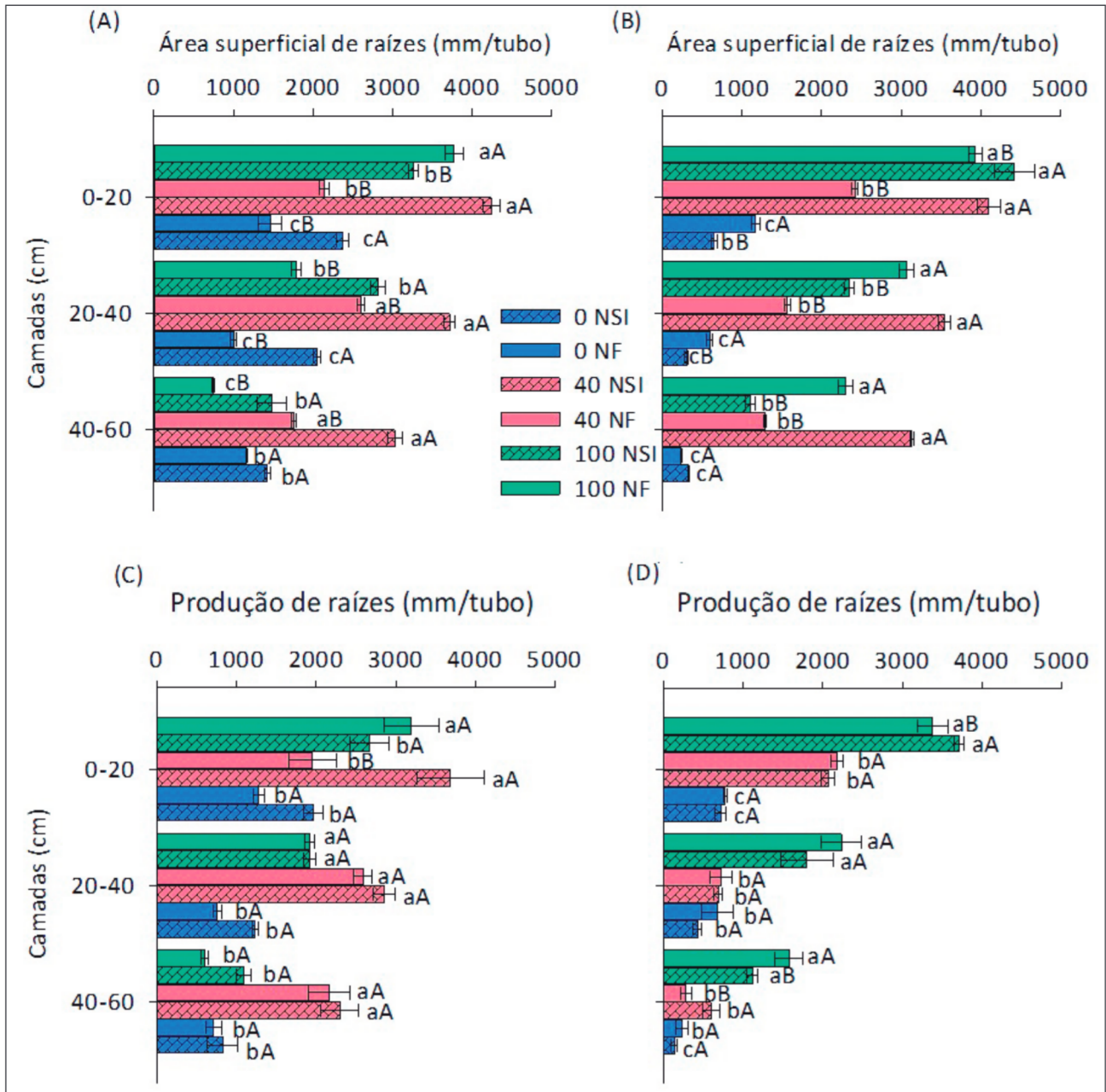
#### 6.2.4.2.2. Resultados obtidos

Os maiores valores de área superficial de raízes na camada 0-20 cm, na safra 2016/17, conforme Figura 6A, foram verificados nas videiras submetidas à aplicação de 40 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no modo NSI e, com 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> no modo NF. Já, na safra 2017/18, Figura 6B, os maiores valores foram observados nas videiras submetidas à aplicação de 40 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, no modo NSI e, na dose 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, nos modos NSI e NF. Os maiores valores de área superficial de raízes nas camadas 20-40 e 40-60 cm, na safra 2016/17, Figura 6A, foram observados nas videiras cultivadas na dose 40 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, no modo NSI, enquanto na safra 2017/18 foram observados nas videiras submetidas às doses 100 e 40 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, nos modos NF e NSI, respectivamente (Figura 6A).

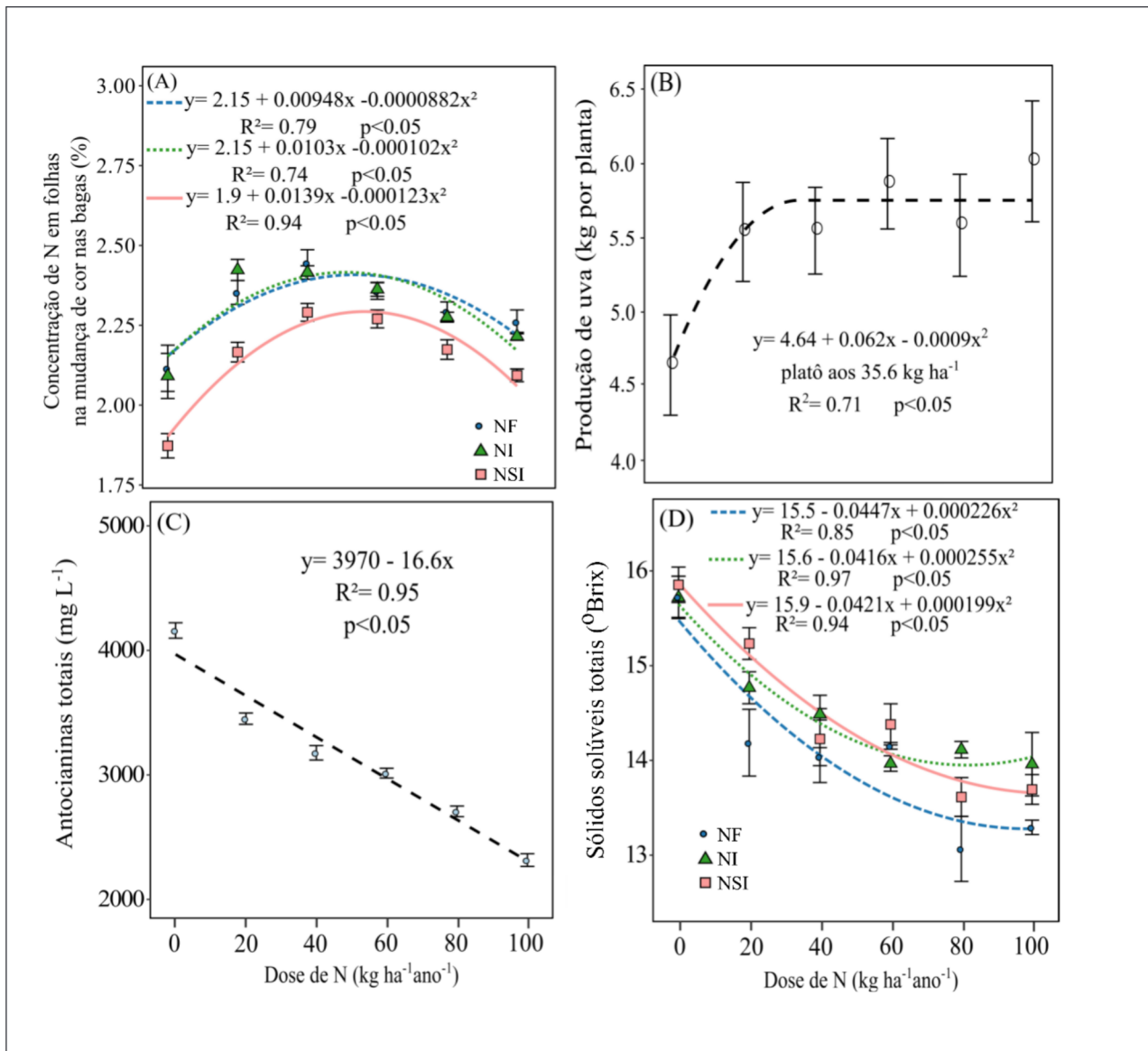
A maior produção de raízes na camada 0-20 cm na safra 2016/17, conforme Figura 6A, foi observada nas videiras cultivadas com a aplicação de 40 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, no modo NSI e na dose 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, no modo NF. A Figura 6B mostra que os maiores valores de produção de raízes nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, na safra 2017/18 foram verificados na dose 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, nos modos NSI e NF.

A aplicação de doses de N, conforme Figura 7A, aumentou de forma quadrática a concentração de N em folhas na mudança de cor das bagas em cada modo de fornecimento de N, sendo que, as videiras submetidas à aplicação de NF e NI apresentaram maiores concentrações de N folha em todas as doses, quando comparadas às plantas submetidas à NSI. Além disso, a aplicação de doses de N aumentou de forma quadrática a produção de uva (Figura 7B), sendo a dose de 35,6 kg N ha<sup>-1</sup> à que proporcionou maior eficiência técnica. Assim, doses maiores que esta não resultará em incremento de produtividade.

A aplicação de doses de N, como visto na Figura 7C, diminuiu de forma linear a concentração de AT no mosto de uvas "*Alicante Bouschet*". Os modos de fornecimento de N via NI e NSI, exibidos na Figura 7D, apresentaram as maiores concentrações de AT em comparação ao mosto das videiras submetidas a NF. Os teores de SST apresentaram interação entre modos de fornecimento e doses de N. A aplicação de doses de N diminuiu de forma quadrática a concentração SST no mosto, principalmente no modo NF.



**Figura 6.** Área superficial de raízes nas safras 2016/17 (A) e 2017/18 (B); produção de raízes nas safras 2016/17 (C) e 2017/18 (D) nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, durante o pleno florescimento de videiras ‘Alicante Bouschet’ (*Vitis vinifera* L.), submetidas a modos de fornecimento de doses de N (NSI - Nitrogênio sem irrigação; NF - Nitrogênio via Fertirrigação). Barras horizontais representam o erro padrão (n = 4). Letras minúsculas indicam diferença entre doses de N no mesmo modo de fornecimento e letras maiúsculas indicam diferença entre modo de fornecimento na mesma dose de N pelo teste Scott-Knott ( $p < 0.05$ ). Fonte: Adaptado de Kulmann et al. (2020).



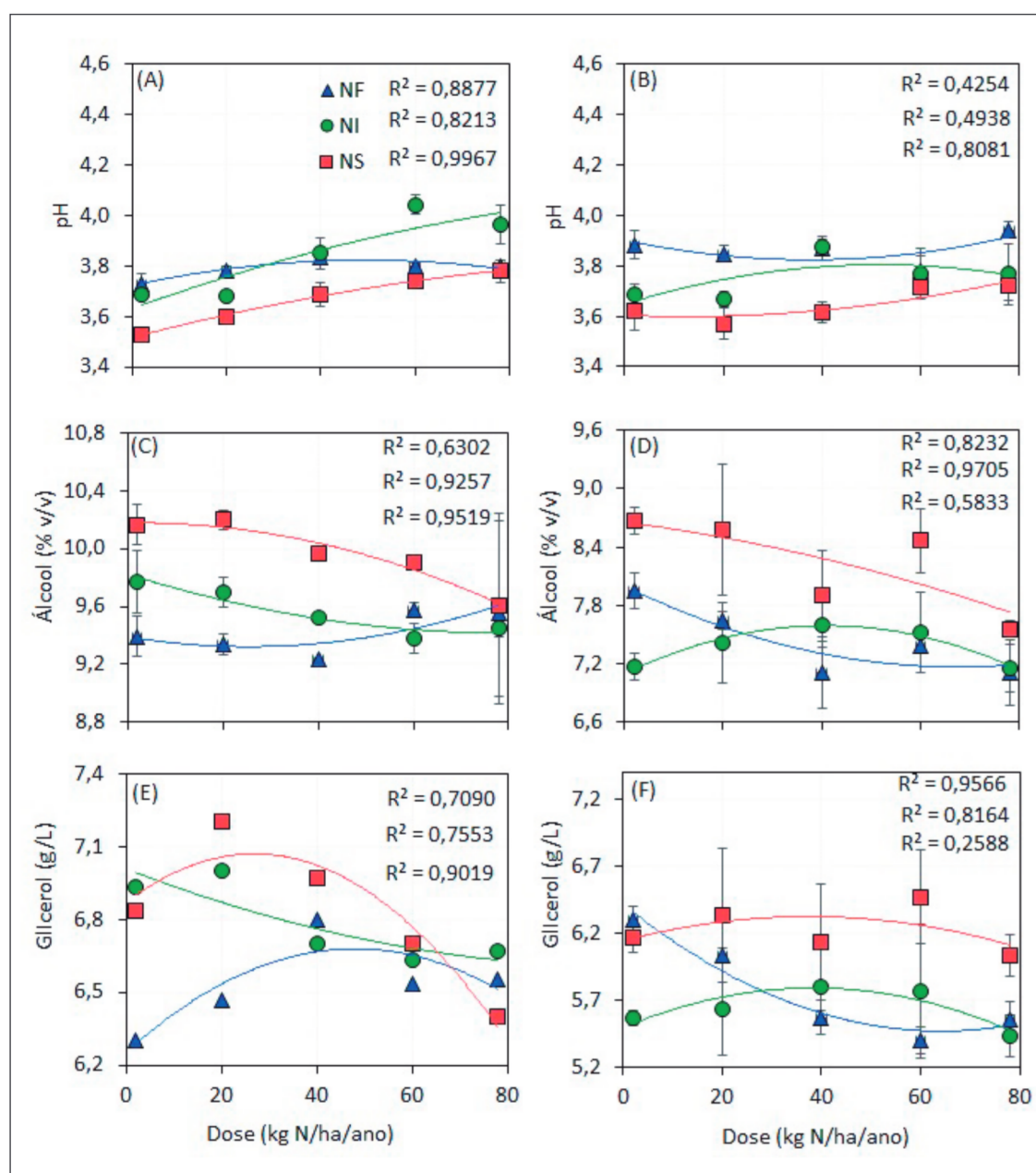
**Figura 7.** Concentração de N em folhas na mudança de cor das bagas (A), produção de uva (B), concentração de antocianinas totais (C) e sólidos solúveis totais no mosto (D) de videiras '*Alicante Bouschet*' submetidas a doses e modos de fornecimento de N. NSI - aplicação de N sem irrigação; NI - N seguido de irrigação; NF - N via fertirrigação. Fonte: Adaptado de Stefanello et al., 2020b.

Os menores valores de pH foram encontrados com adição de N sem irrigação (NSI), sendo que, quanto menor a dose, menor o pH dos vinhos nas duas safras avaliadas (Figuras 7a e 7b). Na safra 2017/18, o aumento das doses de N, no modo NF, aumentou o pH do vinho (Figura 8A). Em 2018/19, foi observado efeito contrário, quando o aumento de N, no modo NF, até 60 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, diminuiu o pH dos vinhos (Figura 8B). No modo NI, o aumento das doses resultou na elevação do pH do vinho, em ambas as safras (Figuras 8A e 8B).

O modo NS resultou em maiores concentrações de álcool nos vinhos nas duas safras avaliadas (Figuras 8C, 8D), sendo a maior concentração de álcool foi observada nos vinhos da safra 2017/18. Em geral, conforme aumenta a dose de N no modo de aplicação NS, diminui a concentração de álcool, em ambas as safras. Este mesmo comportamento foi observado no modo NI, na safra 2017/18, e no modo NF, na safra 2018/19 (Figuras 8C, 8D, respectivamente). Para NF, na safra

2017/18, a concentração de álcool diminuiu nas doses intermediárias (20 e 40 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e aumentou com as doses mais altas (60 e 80 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (Figura 8C). Na safra 2018/19, no modo NI, os níveis de álcool nos vinhos aumentaram quando aplicadas doses de até 60 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 7D).

O modo NS resultou em maiores quantidades de glicerol nos vinhos, quando utilizado nas doses de 20 e 40 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em ambas as safras (Figuras 8E, 8F). Com doses mais altas (60 e 80 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) o glicerol diminuiu, chegando, na safra de 2017/18, abaixo das concentrações obtidas sem aplicação de N (Figura 8E). Na safra 2017/18, o aumento das doses de N no modo NF até 40 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> aumentou o teor de glicerol nos vinhos. Efeito contrário foi observado em 2018/19, onde o aumento das doses de N, resultou na redução dos teores de glicerol nos vinhos. A aplicação de N no modo NI diminuiu a concentração de glicerol no vinho na safra 2017/18, sendo este efeito não observado na safra 2018/19.



**Figura 8.** pH nas safras 2017/18 (A) e 2018/19 (B); álcool na safra 2017/18 (C) e 2018/19 (D); glicerol nas safras 2017/18 (E) e 2018/19 (F) do vinho de 'Alicante Bouschet' (*Vitis vinifera* L.) videira submetida a diferentes doses de N e modos de aplicação (NS - Nitrogênio superficial, NI - Nitrogênio Irrigação, NF - Fertilirrigação com nitrogênio; 0, 20, 40, 60 e 80 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). As barras verticais indicam o erro padrão (n = 3).

### 6.2.5. Diagnóstico do excesso de cobre no solo sobre o crescimento de espécies herbáceas nativas e exóticas de cobertura em vinhedos

#### 6.2.5.1. Descrição do experimento

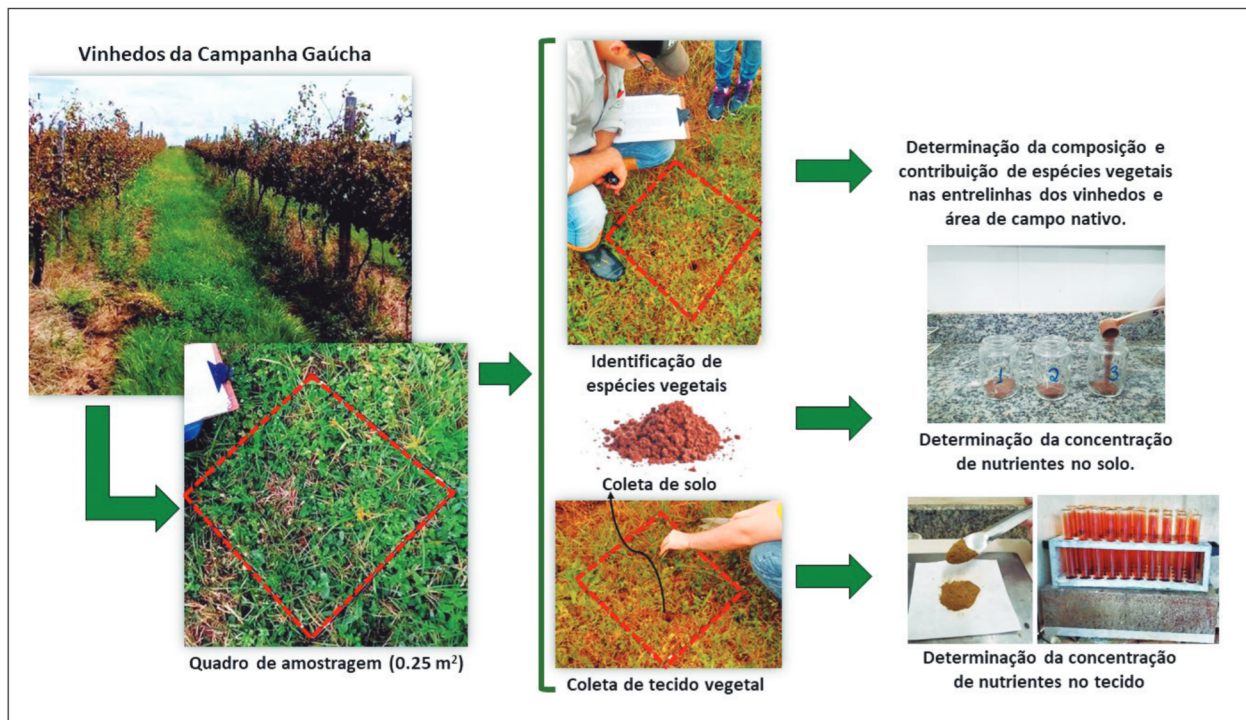
O estudo teve como objetivo realizar um diagnóstico da variabilidade de espécies herbáceas de cobertura em vinhedos cultivados em solos do bioma Pampa com incremento dos teores de cobre (Cu), resultantes de diferentes anos de cultivo e de aplicação de produtos a base de cobre.

Para o desenvolvimento deste estudo foram selecionados três vinhedos e uma área de campo natural, localizados no município de Santana do Livramento - RS. Os vinhedos são cultivados em espaldeira, em Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Santos et al., 2018). O manejo da vegetação presente nas entrelinhas é submetida a aproximadamente cinco roçadas anuais, a 10 cm de altura, e os resíduos são depositados sobre a superfície do solo. As plantas que se desenvolvem nas linhas de plantio da videira são dessecadas com glifosato ou glufosinato de amônia, na dose de 2 L ha<sup>-1</sup>.

Os vinhedos selecionados foram: vinhedos 1 (VN1) com 13 anos de cultivo, 2 (VN2) com 19 anos de cultivo e 3 (VN3) com 36 anos de cultivo, com teores crescentes de Cu no solo, e uma área de campo natural (CN), adjacente aos vinhedos que foi utilizado como referência. Os três vinhedos são da cultivar Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.), enxertada sobre o porta-enxerto SO4 (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*). As quatro áreas experimentais CN, VN1, VN2 e VN3 foram avaliadas em duas épocas, Abril e Novembro de 2017, contemplando assim os períodos de outono-inverno e primavera-verão. Em cada área experimental foram demarcadas quatro parcelas de 350 m<sup>2</sup>, que foram distribuídas em função da declividade do terreno, constituindo assim, quatro repetições.

A composição botânica foi avaliada de acordo com o método BOTANAL (Tothill et al., 1992), com o auxílio de quadros de 0,25 m<sup>2</sup> (Figura 9), onde a composição florística foi descrita através da listagem das espécies componentes (Silva et al., 2020); e por estimativa visual, determinou-se o percentual de contribuição de cada espécie na quantidade de biomassa acumulada na parte aérea (Figura 9). A biomassa aérea contida em cada unidade foi cortada e reservada para determinação da matéria seca (MS) e da concentração de Cu no tecido. Além disso, coletou-se, separadamente, a parte aérea das espécies mais frequentes nas unidades amostrais para posterior análise da concentração total de nutrientes no tecido. Em Abril foram utilizados dois quadros de 0,25 m<sup>2</sup> por parcela, enquanto que em Novembro, utilizou-se três quadros para amostragem, isso devido ao maior número de espécies e taxa de crescimento. O material vegetal coletado em cada quadro foi seco em estufa, obtendo-se assim a MS. Posteriormente, foram moídos em moinho do tipo Willey e submetidos à digestão nitroperclórica (Embrapa, 2009). No extrato determinou-se a concentração total de Cu utilizando espectrômetro de absorção atômica. Próximo aos quadros de amostragem foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para determinações do conteúdo pseudototal de Cu (Cu<sub>PT</sub>), determinado pelo método EPA 3051A (USEPA, 2007). O conteúdo de Cu disponível foi extraído por EDTA (Chaignon et al., 2003) e determinado usando o espectrômetro de absorção atômica.





**Figura 9.** Esquema de levantamento dos dados de composição e contribuição de espécies vegetais nas entrelinhas dos vinhedos (VN1: Vinhedo 1, VN2: Vinhedo 2, e VN3: Vinhedo 3) e área de campo nativo (CN), coleta de amostras de solo e tecido vegetal para análises químicas.

Também foram calculados o índice de poluição (IP) e o fator bioacumulação de Cu na parte aérea ( $FB_{PA}$ ). O IP foi definido como a razão entre a concentração de Cu pseudototal no solo de cada área e o teor natural de Cu do solo (Chen et al., 2005; Usman et al., 2012). A concentração natural de Cu na área é correspondente a  $11 \text{ mg kg}^{-1}$  (Althaus et al., 2013; FEPAM, 2014; Althaus et al., 2018). O IP foi calculado e classificado como baixo ( $IP \leq 1$ ), médio ( $1 < IP < 3$ ) ou alto ( $IP \geq 3$ ). Enquanto, o  $FB_{PA}$  é um índice que mostra a capacidade da planta em acumular um determinado metal em relação à sua concentração no solo.

As variáveis de solo e composição botânica foram submetidas à análise multivariada por meio de testes de aleatorização e ordenação por análise de componentes principais (ACP) e análise de coordenadas principais (ACoP), com distância euclidiana como medida de similaridade, utilizando o software MULTIV (Pillar, 1997). A concentração de Cu nas espécies mais frequentes foram submetidas ao teste aleatorização a 5% de probabilidade.

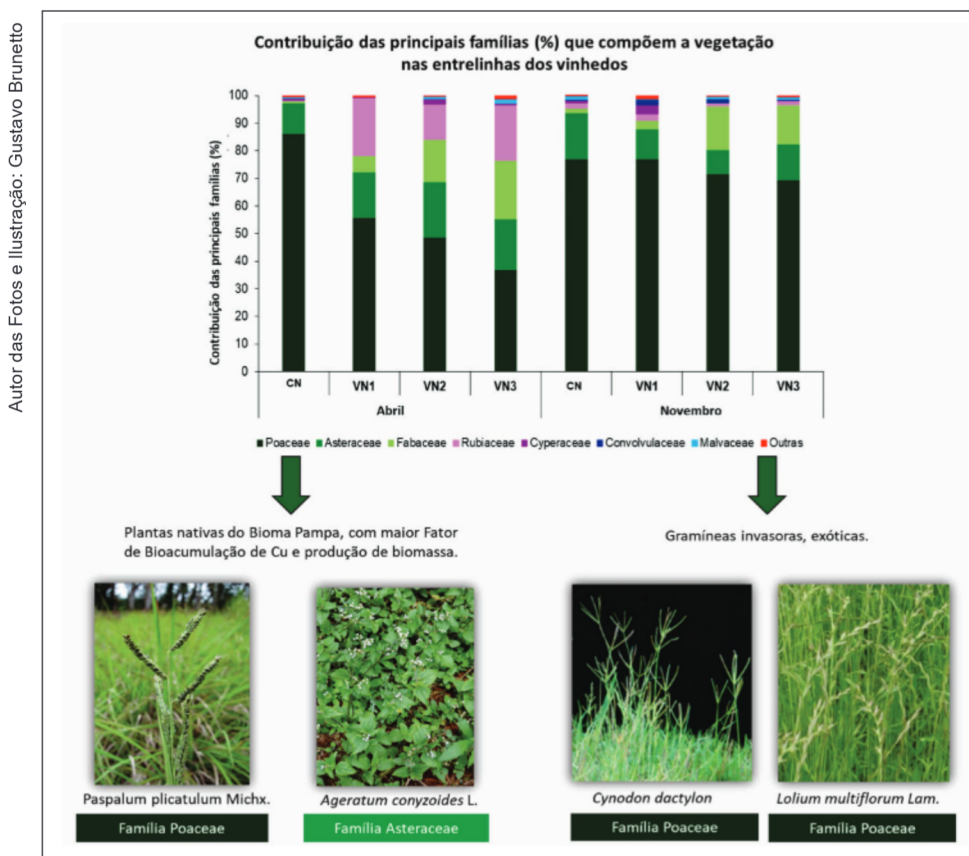
#### 6.2.5.2. Resultados obtidos

Os vinhedos VN1, VN2 e VN3 apresentaram teores crescentes de Cu pseudototal no solo, de 8,2, 22,56 e 55,57  $\text{mg kg}^{-1}$ , de acordo com o ano de implantação de 2004, 1998, e 1981, respectivamente. Isso é resultado de aplicações frequentes de fungicidas cúpricos para prevenção e controle de doenças fúngicas. A concentração de Cu disponível foi de 1,43, 3,50, 17,86, e 40,38  $\text{mg kg}^{-1}$  nas áreas de CN, VN1, VN2, e VN3, respectivamente. O IP por Cu dos vinhedos foi classificado em baixo para o VN1, médio para o VN2, e alto para o VN3.

Foram identificadas 39 espécies de plantas vasculares distribuídas em 12 famílias (Silva et al., 2020). O maior número de espécies foi verificado em novembro do que em abril, devido às condições

climáticas com temperaturas mais elevadas. As espécies predominantes nas entrelinhas das áreas avaliadas foram das famílias *Poaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae* e *Rubiaceae* (Figura 10), as quais são comuns na flora do bioma Pampa (Boldrini et al, 2009). No entanto, na área de CN, as famílias *Poaceae* e *Asteraceae* contribuíram com mais de 90% da biomassa produzida, tanto em abril como em novembro. Nos vinhedos, especialmente nos VN2 e VN3, a contribuição dessas famílias na produção de biomassa foi significativamente menor que no CN, indicando que a composição botânica dessas áreas sofreu grande alteração.

Embora a composição botânica tenha sofrido alteração, o aumento dos níveis de Cu nas áreas avaliadas não impactou a diversidade de plantas, mantendo o mesmo número de espécies. Possivelmente, nas áreas com maiores níveis de Cu no solo, VN2 e VN3, a interação entre plantas e Cu é balanceada por outros fatores, como maiores concentrações de Zn, Ca e P e pH próximo a 6,0, de modo a diminuir os efeitos fitotóxicos do Cu. O VN3 apresentou maior diversidade de espécies. As espécies perenes apresentaram maior ocorrência, em todas as áreas avaliadas, como *Ageratum conyzoides*, *Paspalum notatum* e *Cynodon dactylon*. Espécies exóticas foram pouco identificadas no CN, porém nos vinhedos apresentaram maior participação. Em abril foi identificada a gramínea *C. dactylon*, uma espécie exótica, com presença restrita aos vinhedos, especialmente no VN2 e VN3, onde contribuiu com mais de 15% da produção de biomassa nas entrelinhas. Em novembro, quatro espécies exóticas foram identificadas, e as espécies *Lolium multiflorum* e *C. dactylon* se destacaram pela ampla cobertura dos vinhedos (Figura 10). A espécie *L. multiflorum* foi a mais abundante nos três vinhedos, contribuindo com 49, 30 e 36% da biomassa presente nos vinhedos VN1, VN2 e VN3, respectivamente.



**Figura 10.** Esquema da contribuição das principais famílias (%) que compõem a vegetação nas entrelinhas dos vinhedos (VN1: Vinhedo 1, VN2: Vinhedo 2, e VN3: Vinhedo 3) e área de campo nativo (CN), no período de outono-inverno (abril) e primavera-verão (novembro). Em destaque as duas plantas do bioma Pampa (*P. plicatulum* e *A. conyzoides*) que apresentam maior Fator de Bioacumulação de Cu e produção de biomassa, com potencial de uso em programas de fitorremediação; e as plantas exóticas, invasoras (*C. Dactylon* e *L. multiflorum*) que apresentaram ampla cobertura nos vinhedos.

O maior acúmulo de MS, concentração e acúmulo de Cu no tecido das espécies identificadas nas entrelinhas foi superior nos VN2 e VN3. A capacidade de absorção e acúmulo de Cu pela vegetação depende das espécies que compõem a comunidade vegetal (Singh et al., 2010; Khan et al. 2015) e da concentração de Cu no solo da área avaliada. As plantas de *A. conizoydes* e *P. plicatum*, coletadas no VN2, apresentaram as maiores concentrações de Cu na parte aérea, sendo de 126,74 mg kg<sup>-1</sup> e 117,64 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. As concentrações consideradas tóxicas em tecidos de folhas maduras, é de 20 a 100 mg Cu kg<sup>-1</sup> de matéria seca (Kabata-Pendias, 2011). O maior fator de bioacumulação (FB) das espécies *A. conizoydes* e *P. plicatum* indica que, entre as espécies mais frequentemente encontradas nas áreas avaliadas, essas têm maior capacidade de absorver e acumular Cu na parte aérea.

### 6.2.6. Fungos micorrízicos arbusculares como estratégia de cultivo para minimização da toxidez por excesso de cobre em áreas de vinhedo

#### 6.2.6.1. Descrição do experimento

O estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da pré-inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) sobre o crescimento de mudas de videiras em solo arenoso contaminado com Cu.

O experimento foi conduzido no município de Santana do Livramento - RS, em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Santos et al., 2018). Em agosto de 2014, a área experimental derivada de um vinhedo erradicado, com aproximadamente 15 anos de cultivo, seguido, de um histórico de manutenção de dois anos com gramíneas nativas do bioma Pampa, foi dividida em duas partes. Em uma parte da área não foi realizada a adição suplementar de Cu e na outra parte foi aplicado 125 kg de sulfato de Cu (CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O) de modo a aumentar os teores de Cu no solo, até valores próximos aos observados em vinhedos com 30 anos de histórico de cultivo e periódicas aplicações foliares de Cu. Em agosto de 2015, o solo da camada de 0-20 cm artificialmente contaminado com Cu (+Cu) apresentou 118 mg Cu kg<sup>-1</sup>, enquanto o teor de Cu na área sem suplementação (-Cu) foi de 62 mg Cu kg<sup>-1</sup> (ambos extraídos por Mehlich-1).

As mudas de videira do porta-enxerto 'Paulsen 1103' (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*), foram pré-inoculadas com FMAs, constituindo os seguintes tratamentos: mudas não inoculadas com FMAs - controle, mudas inoculadas com os isolados de FMA *Rhizophagus clarus* - UFSC-14, *Rhizophagus intraradices* - UFSC-32 e *Dentisculata heterogama* - UFSC-08, fornecidos pelo Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis - SC, Brasil. Quatro meses após a inoculação, em agosto de 2015, as mudas de videiras foram transplantadas para o campo adotando-se espaçamento de 3,0 x 1,20 m (2.778 plantas ha<sup>-1</sup>), nas áreas com diferentes teores de Cu no solo. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 2 (quatro tratamentos de pré-inoculação das mudas e duas concentrações de Cu no solo), com cinco repetições, sendo o vinhedo instalado em sistema espaldeira.

No momento da implantação do experimento, a vegetação que predominava no vinhedo era a grama-forquilha (*Paspalum notatum*), enquanto na estação do inverno predominava o azevém (*Lolium multiflorum*) e trevo branco (*Trifolium repens*). O manejo de roçada foi realizado periodicamente, e aos 103 e 292 dias após o transplante (DAT) foram realizadas as aplicações de

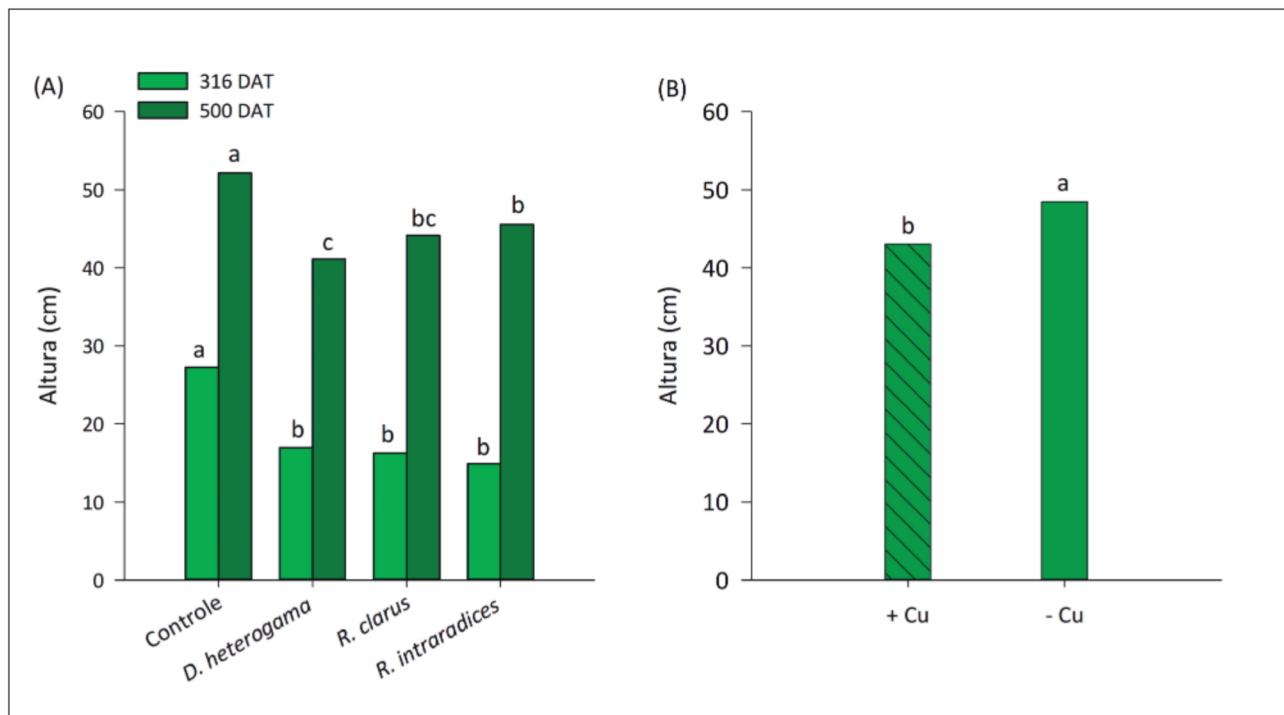
48 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e 1333 kg N ha<sup>-1</sup>, sobre a superfície do solo na região da projeção da copa, sem incorporação.

As avaliações foram realizadas aos 316 dias após o transplante (DAT) (1ª avaliação) e aos 500 DAT (2ª avaliação). Foi mensurada a altura das plantas utilizando fita métrica e coletado folhas no terço médio das plantas. As folhas foram secas em estufa até atingir massa constante, moídas em moinho do tipo Willey e submetidas a digestão nitroperclórica (Embrapa, 2009). No extrato foram determinadas as concentrações totais de Cu em espectrofotômetro de absorção atômica e de P em espectrofotômetro de UV-visível a 882 nm (Tedesco et al., 1995). Além disso, foi realizada a coleta de amostras de solo para determinação dos teores de P e Cu (ambos extraídos por Mehlich-1). Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância e quando significativo foi aplicado o teste de comparação de médias Tukey a 5% de probabilidade de erro.

#### 6.2.6.2. Resultados obtidos

O crescimento das mudas de videira foi influenciado pela inoculação de FMA e contaminação do solo com Cu (Figura 11A). A altura das mudas de videira foi 12,5% superior no solo com menor concentração de Cu (-Cu) em relação ao solo com suplementação (+Cu) (Figura 11B). A maior disponibilidade de Cu pode ocasionar toxicidade para as plantas, causar alterações anatômicas e morfológicas no sistema radicular que comprometem a absorção de água e nutrientes do solo, o que pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento das videiras (Ambrosini et al., 2015a; 2015b).

Os resultados mostram que a inoculação de FMA não apresentou incremento no crescimento das mudas de videira, o que foi bastante incomum. Trabalhos conduzidos em condições controladas, incluindo aqueles empregando solos contaminados com Cu, demonstram os benefícios da inoculação dos FMA para o crescimento vegetal (Ambrosini et al., 2015b; Rosa et al., 2016). Cabe ressaltar que o presente estudo foi conduzido a campo, com o intuito de ser empregado para acompanhamento do desenvolvimento da videira em ensaio de longa duração. Neste cenário, as condições ambientais como a temperatura, luminosidade e umidade do solo durante o ciclo vegetal podem ter influenciado o crescimento das plantas. Também é importante considerar a complexidade envolvida nas interações planta-clima-solo-microrganismos, que ao longo do tempo, podem alterar a contribuição dos isolados fúngicos selecionados. Espera-se que a inoculação de FMA nas mudas de videira permita uma maior colonização radicular, facilitando o estabelecimento e crescimento das plantas após longa exposição ao excesso de Cu em condições de campo.

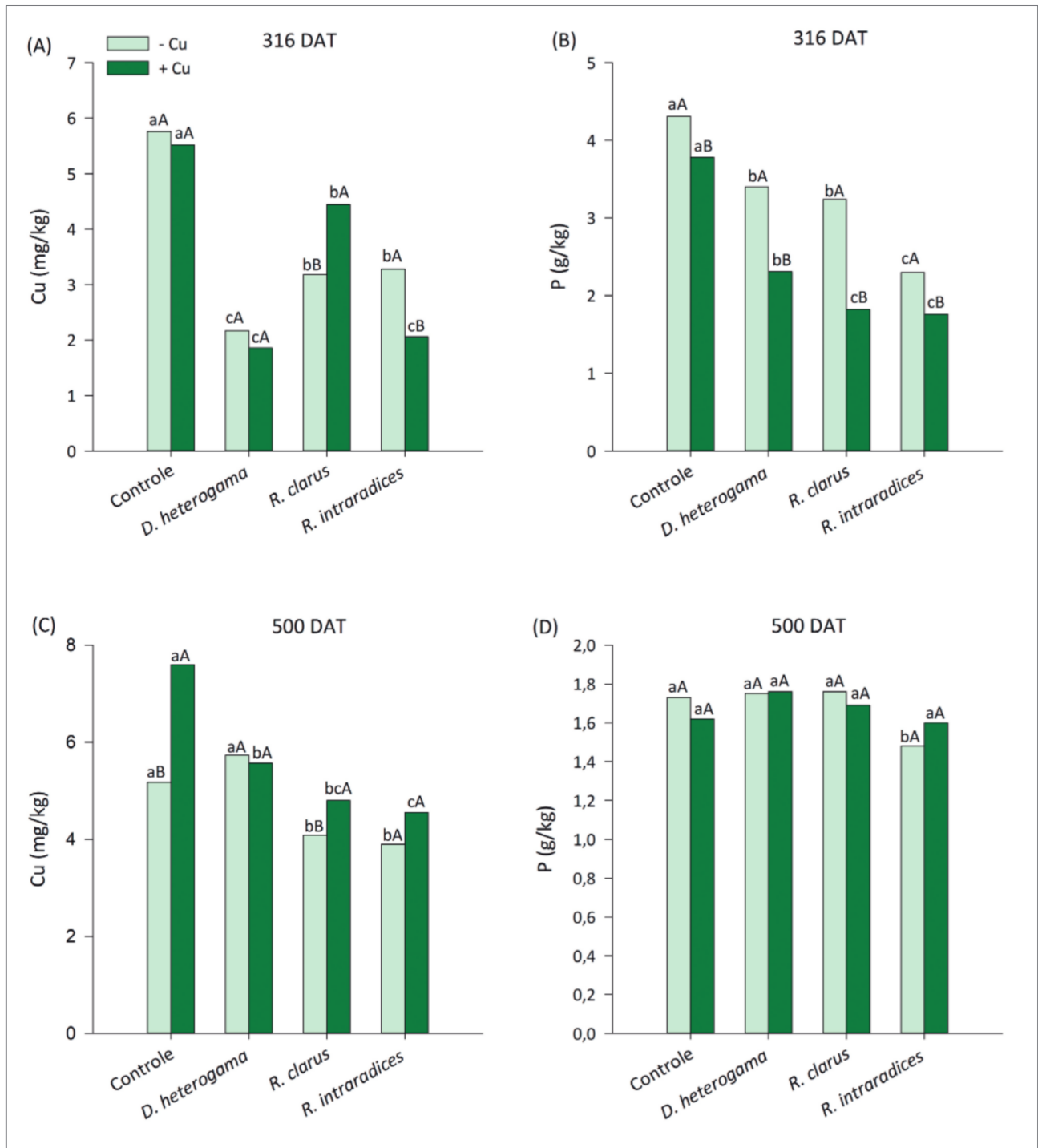


**Figura 11.** Altura de mudas de videiras pré-inoculadas com isolados de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) aos 316 e 500 dias após o transplante (DAT) (A) para o campo em solos com (+Cu) ou sem (-Cu) suplementação de Cu (B). Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si pelo Teste de Tukey (5%).

De maneira geral, verificou-se um incremento nos teores foliares de Cu dos 316 DAT para os 500 DAT, demonstrando efeito da exposição da contaminação do solo sobre a absorção de Cu pelas mudas de videira (Figura 12A, 12C). A exposição prolongada de mudas de videira a solos contaminados com Cu pode ocasionar toxicidade para as plantas e estratégias para reduzir as concentrações nos tecidos podem favorecer a sobrevivência das mudas no campo. No presente trabalho, verificou-se que as mudas de videiras inoculadas com FMA apresentaram teores de Cu foliares inferiores àquelas não-inoculadas, especialmente para as mudas inoculadas com *R. clarus* – UFSC 14 e *R. intraradices* – UFSC 32. Os benefícios associados aos FMA podem contribuir para tolerar altos teores de Cu em solos, destacando-se o mecanismo envolvido na liberação de glicoproteínas, denominadas glomalina (Wright & Upadhyaya, 1998), que podem formar complexos com o Cu no solo, diminuindo a quantidade do metal absorvidas pelas raízes e translocada para a parte aérea das plantas (González-Chávez et al., 2004; Bedini et al., 2010; Ambrosini et al., 2015b). Além disso, estruturas típicas dos FMA como hifas extraradiculares, esporos e vesículas podem armazenar o excesso de Cu (Cornejo et al., 2013), reduzindo a transferência para as plantas e, conseqüentemente, reduzindo a toxicidade.

Os teores de P nas folhas aos 316 DAT foram, aproximadamente 37%, superiores no solo com -Cu em relação ao solo com +Cu (Figura 12B). Esses resultados demonstram que a contaminação do solo com Cu pode reduzir a capacidade de absorção de P pelas plantas e os FMA podem desempenhar importante papel no fornecimento deste nutriente para as plantas. Entretanto, as concentrações de P nas folhas das mudas inoculadas com FMA aos 316 e 500 DAT foram inferiores àquelas não-inoculadas (Figuras 12B, 12D). Esse resultado pode estar relacionado ao favorecimento do crescimento radicular com conseqüente aumento do acúmulo de P nas raízes micorrizadas, atuando como mecanismo de amenização da toxicidade de Cu, com a formação de complexo metal-fosfato insolúvel, diminuindo o transporte de P para órgãos da parte aérea (Soares & Siqueira, 2008; Zambrosi et al., 2013; Guimarães et al., 2016). Além disso, parte do

P das folhas pode ser redistribuído para outros órgãos em crescimento, como caule e mesmo raízes, já que as mudas eram jovens e apresentavam intensa divisão e alongação celular (Piccin et al., 2017; Ciotta et al., 2018).



**Figura 12.** Concentrações de Cu e P em folhas de videiras pré-inoculadas com isolados de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) aos 316 (A, B) e 500 (C, D) dias após o transplante (DAT) para o campo em solos com (+Cu) ou sem (-Cu) suplementação de Cu. Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si pelo Teste de Tukey (5%).

### **6.3. Benefícios e Diferencial (Impactos científico, técnico, econômico, social, ambiental)**

A preocupação com o impacto negativo que a viticultura pode ter nos solos da região da Campanha nos levou a realizar atividades de pesquisas que pudessem contribuir para a mitigação desses possíveis impactos e também recomendar doses e modos de aplicação de nutrientes para maximizar a produção e qualidade de uva, mosto e vinho.

Os resultados das atividades de pesquisas enfatizaram que:

- O preparo do solo apenas na linha de plantas, que mobiliza apenas 30% da superfície do solo de cultivo, causa menor impacto ambiental, diminuindo o potencial erosivo que a mobilização excessiva do solo pode propiciar e permite o crescimento normal das plantas de videira.
- A aplicação de fertilizantes e corretivos da acidez do solo durante a implantação de vinhedos, em toda superfície e incorporados apenas nas linhas de plantio, permitem a correção da acidez e aumento da fertilidade do solo em solos pobres quimicamente e de frágil estrutura física, como os solos arenosos da região da Campanha Gaúcha. Desta forma, essa prática promove o menor impacto sobre a estrutura do solo, uma vez que, o revolvimento ocorre apenas nas linhas de plantio, reduzindo a desagregação e a consequente perda de solo pelos processos erosivos.
- O uso de plantas de cobertura nos sistemas de produção de uvas contribui para aumentar a eficiência dos nutrientes aplicados como fertilizantes e/ou corretivos da acidez do solo. Além disso, as plantas de cobertura absorvem nutrientes que poderiam ser perdidos durante o período de dormência da videira, incorporam nitrogênio atmosférico ao sistema de cultivo e reduzem o impacto das gotas de chuvas sobre o solo, assim diminuindo a perda de solos por erosão.
- A aplicação de N seguida de irrigação ou N fornecido via fertirrigação na maioria das safras, proporcionou um maior acréscimo de nitrato na solução do solo, o que permitiu uma maior recuperação de N pela planta, observada pelas diferenças de crescimento das videiras jovens, e na concentração de N nas folhas nos dois períodos avaliados.
- As videiras submetidas à fertilização com N via fertirrigação ou seguida de irrigação apresentaram rendimentos cerca de duas a três vezes maiores do que as videiras submetidas ao tratamento controle (sem aplicação de N) e com fornecimento convencional de N (sem irrigação).
- A concentração de antocianinas diminuiu com a aplicação de N, independentemente do método de fornecimento, sendo os maiores valores observados no tratamento sem fornecimento de N.
- A máxima eficiência técnica foi alcançada com base na aplicação de 36 kg N ha<sup>-1</sup>, que se associou positivamente aos demais componentes da produção, como peso das bagas, comprimento e largura do cacho, independente dos modos de aplicação de N. No entanto, os maiores rendimentos em todas as doses foram observados após a aplicação de N seguida de irrigação.
- A aplicação de 40 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, especialmente no modo N sem irrigação, proporcionou um suprimento adequado de N no solo, possibilitando o aumento do desenvolvimento do sistema radicular, com maior área superficial e produção de raízes. Isso contribuiu para o aumento da absorção de N do solo, incrementando o teor de N nas folhas, resultando em maior produtividade de uva.

- O rendimento máximo da uva foi alcançado quando as concentrações de N nas folhas ultrapassaram 2,75% no florescimento e 2,25% na mudança de cor das bagas, independentemente dos modos de aplicação de N.
- A biodiversidade da comunidade vegetal na entrelinha dos vinhedos não foi alterada pelo aumento nas concentrações de Cu no solo. Por outro lado, a composição botânica foi modificada, o que pode estar relacionado com o aumento dos teores de Cu e fertilidade do solo durante os anos de cultivo.
- As espécies *P. plicatulum* e *A. conyzoides*, que estão entre as mais representativas do bioma Pampa, apresentaram os maiores valores de FB (fator de bioacumulação), mostrando potencial para utilização em programas de fitorremediação. Assim, é fundamental adotar estratégias de manejo para favorecer a manutenção dessas espécies nas entrelinhas da cultura da videira. A presença destas espécies pode contribuir para o controle do avanço de espécies invasoras, como a gramínea perene *C. dactylon*, minimizar o processo erosivo e de dispersão do poluente através da cobertura do solo. Somado a isso, também imobilizar maiores quantidades de Cu em sua biomassa, diminuindo a concentração de Cu disponível no solo e favorecendo o desenvolvimento de outras espécies nativas, as quais são mais sensíveis ao Cu, assim como a videira.
- A inoculação de FMA em mudas de videiras jovens pode representar uma estratégia na diminuição da fitotoxicidade de Cu, favorecendo o estabelecimento e manutenção das plantas em solos de vinhedos contaminados. Embora a inoculação de FMA não influenciou a altura das mudas, houve redução nos teores foliares de Cu após longo período de exposição, especialmente para as mudas inoculadas com *Rhizophagus clarus* – UFSC 14 e *Rhizophagus intraradices* – UFSC 32. Assim, a técnica de inoculação com FMA pode ser uma estratégia importante para o estabelecimento e manutenção das mudas de videira em solos de vinhedos antigos contaminados com Cu.

#### 6.4. Referências

- ALBARELLO, J. B. *et al.* Efeito da adição da parte aérea de plantas de cobertura na fitotoxicidade de cobre em solo cultivado com videira. In: (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Org.) 2013, Florianópolis, SC. **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 34. Florianópolis, SC: SBCS, 2013.
- ALTHAUS, D. *et al.* Natural Fertility and Metals Contents in Soils of Rio Grande do Sul (Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-15, 2018.
- ALTHAUS, D. *et al.* Teores naturais de metais pesados em solos do Estado do Rio Grande do Sul. In: **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Florianópolis, 2013. Anais
- AMBROSINI, V.G. *et al.* Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on young vines in copper contaminated soil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 46, n. 4, p. 1045–1052, 2015b.
- AMBROSINI, V.G. *et al.* Reduction of copper phytotoxicity by liming: A study of the root anatomy of young vines (*Vitis labrusca* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 96, p. 270–280, 2015a.
- ARONSSON, H. *et al.* The ability of cover crops to reduce nitrogen and phosphorus losses from arable land in southern Scandinavia and Finland. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 71, n. 1, p. 41–55, 2016.
- BEDINI, S. *et al.* Molecular characterization and glomalin production of arbuscular mycorrhizal fungi colonizing a heavy metal polluted ash disposal island, downtown Venice. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 5, p. 758–765, 2010.
- BOHMRICH, R. Terroir: Competing perspectives on the roles of soil, climate and people. **Journal of Wine Research**, v. 7, n. 1, p. 33–46, 1996.
- BOLDRINI I.I. **A flora dos Campos do Rio Grande do Sul**. In: Pillar, V.D., Müller, S.C., Castilhos, Z.M.S., Jacques, A.V.A. Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente Brasília, p. 63-77, 2009.



- BOTTON, M. *et al.* Effect of cover crops on brazilian ground pearl (Hemiptera: Margarodidae) in vineyards. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 4, 2010.
- BRUNETTO, G. *et al.* Adubação nitrogenada em videiras na Campanha do Rio Grande do Sul: avaliação do rendimento e das características químicas do mosto da uva. **Comunicado Técnico Embrapa Uva e Vinho**, v. 82, 2007.
- BRUNETTO, G. *et al.* Soil Phosphorus Fractions in a Sandy Typic Hapludaf as Affected by Phosphorus Fertilization and Grapevine Cultivation Period. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, n. 13, p. 1937–1950, 2013.
- CHAIGNON, V. *et al.* Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. **Environmental Pollution**, v. 123, p. 229–238, 2003.
- CHEN, T.B. *et al.* Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. **Chemosphere**, v. 60, p. 542–551, 2005.
- CIOTTA, M.N. *et al.* Phosphorus fertilization for young grapevines of Chardonnay and Pinot Noir in sandy soil. **IDESIA (Chile)** v. 36, n.1, 2018.
- CORNEJO, P. *et al.* Copper compartmentalization in spores as a survival strategy of arbuscular mycorrhizal fungi in Cu-polluted environments. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 925–928, 2013.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - CNPS: **Manual de métodos de análise de solos**. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 212p. 1999.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, planta e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, 2009. 627p.
- FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS. Portaria n.º 85/2014. Disponível em <http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria085-2014.pdf>. Acesso em julho de 2018.
- FERNANDES, L. *et al.* Effect of nutrient cycle influenced by inter-row cover crops on the nutritional status of rustic grapevine. **Revista facultad Nacional de Agronomía**, v. 72, n. 1, p. 8685–8698, 2019.
- GIUSTI, M.M., WROLSTAD, R.E., 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV visible spectroscopy, in: WROLSTAD, R.E. (Eds.), *Current protocols in food analytical chemistry*. New York: John Wiley, Sons.
- GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M.C. *et al.* The role of glomalin, a protein produced by mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. **Environ Pollution**, v.130, n. 3, p. 317–323, 2004.
- GUIMARÃES, P. R. *et al.* Black Oat (*Avena strigosa* Schreb.) Growth and Root Anatomical Changes in Sandy Soil with Different Copper and Phosphorus Concentrations. **Water Air and Soil Pollution**, v. 227, p. 192, 2016.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace Elements in Soils and Plants**. [s.l.] CRC Press, Boca Ratón, Florida, 2011.
- KHAN, A. *et al.* The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 13772 – 13799, 2015.
- KULMANN, M.S.S. *et al.* Morphological and kinetic parameters of the absorption of nitrogen forms for selection of Eucalyptus clones. **Journal of Forestry Research**, 2020.
- LOPES, C. M. *et al.* Cover cropping in a sloping non-irrigated vineyard: ii-effects on vegetative growth, yield, berry and wine quality of “*Cabernet sauvignon*” grapevines. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 23, n. 1, p. 37–43, 2008.
- MELO, G. W. *et al.* Acúmulo de fósforo em solos cultivados com videiras na região da Campanha Gaúcha. **Comunicado Técnico Embrapa Uva e Vinho**, v. 131, p. 1–7, 2012.
- MELO, G.W.; ZALAMENA, J. Retrato da Fertilidade de Solos Cultivados com Videira nas Regiões da Serra e Campanha Gaúcha. **Comunicado Técnico 181 - Embrapa Uva e Vinho**, v. 181, p. 1–9, 2016.
- PICCIN, R. *et al.* Distribution and redistribution of phosphorus forms in grapevines. **Scientia Horticulturae**, v. 218, p.125–131, 2017.
- PILLAR, V.D.P. Multivariate exploratory analysis and randomization testing with MULTIV. *Coenoses*, **Gorizia**, v.12, n.2-3, p.145-148, 1997.
- ROSA, D.J. *et al.* Parâmetros fisiológicos em videiras Paulsen 1103 (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*) inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado com cobre. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v.31, p. 14-23, 2016.
- SANTOS, H.G. dos, *et al.* 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos, Rio de Janeiro - Brasil, pp. 356.

- SILVA, I.C.B. *et al.* Spatial variation of herbaceous cover species community in Cu-contaminated vineyards in Pampa biome. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 12, p. 13348-13359, 2020.
- SILVEIRA, R. B. *et al.* Influência da decomposição de plantas de cobertura na mitigação da fitotoxicidade do cobre em solo cultivado com videira. *In*: 2014, Bento Gonçalves. **Encontro de iniciação científica da Embrapa Uva e Vinho, 12., Encontro de pós-graduandos da Embrapa Uva e Vinho, 8.** Bento Gonçalves, 2014. p. 60.
- SINGH, R. *et al.* Accumulation and translocation of heavy metals in soil and plants from fly ash contaminated area. **Journal of Environmental Biology**, v. 31, p. 421–430, 2010.
- SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O. Mycorrhiza and phosphate protection of tropical grass species against heavy metal toxicity in multi-contaminated soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, p. 833–841, 2008.
- STEFANELLO, L.O. *et al.* Nitrogen supply method affects growth, yield and must composition of young grape vines (*Vitis vinifera* L. cv Alicante Bouschet) in southern Brazil, **Scientia Horticulturae**, v. 261, 2020a.
- STEFANELLO, L.O. *et al.* Photosynthetic activity and grape yield of 'Alicante Bouschet' (*Vitis vinifera* L.) grapevines submitted to nitrogen supply methods and doses, **Vitis – Journal of Grape Research**, v. 59, 2020b.
- TEDESCO, M.J. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).
- TOTHILL, J.C. *et al.* Botanal - A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. 1. Field sampling. **Tropical Agronomy Technical Memorandum**, Canberra, v.78, p.1-24, 1992.
- UBALDE, Josep Miquel *et al.* Effects of Soil and Climatic Conditions on Grape Ripening and Wine Quality of Cabernet Sauvignon. **Journal of Wine Research**, v. 21, n. 1, p. 1–17, 2010.
- USEPA, Method 3051a: Microwave Assisted Acid Dissolution of Sediments, Sludges, Soils, and Oils. Revision 1. **United States Environmental Protection Agency**, Washington, DC., 2007.
- USMAN, A. R. A. *et al.* Soil pollution assessment and identification of hyperaccumulating plants in chromated copper arsenate (CCA) contaminated sites, Korea. **Chemosphere**, v. 87, p. 872–878, 2012.
- WINKLER, Alberto Julius *et al.* **General Viticulture**. 2nd. ed. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1974. *E-book*.
- WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97–107, 1998.
- ZALAMENA, J. *et al.* Estado nutricional, vigor e produção em videiras cultivadas com plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1190–1200, 2013.
- ZAMBROSI, C.F.B. *et al.* Phosphorus availability and rootstock affect copper-induced damage to the root ultra-structure of Citrus. **Environmental and Experimental Botany**, p. 1–27, 2013.