

Bento Gonçalves, RS / Abril, 2024

Avaliação e seleção de cultivares de aveia-preta para cultivos em solos contaminados por cobre

George Wellington de Melo⁽¹⁾, Bruna Trevizan Paese⁽²⁾ e Natália Moreira Palermo⁽²⁾⁽¹⁾ Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, DF. ⁽²⁾ Estudantes de mestrado da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

Resumo – A viticultura na Serra Gaúcha, afetada pelo clima subtropical úmido, recorre aos fungicidas à base de cobre para prevenir doenças como o míldio. Contudo, seu uso excessivo tem elevado a concentração deste metal nos solos vitícolas, gerando impactos ambientais adversos. O elemento em excesso pode comprometer o desenvolvimento e a produtividade das plantas, impactando processos como germinação, crescimento e fotossíntese. A videira, mesmo moderadamente tolerante a este metal, pode sofrer inibição da fotossíntese e desequilíbrios nutricionais. A aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) cultivada em consórcio com videira pode modificar a química da rizosfera, reduzindo a biodisponibilidade deste elemento, favorecendo o crescimento da videira. Este estudo avaliou a produção de biomassa seca de cultivares e seleções de aveia em solos com alto nível de cobre, visando identificar aquelas que são adaptáveis e que podem servir como alternativa para viticultores relutantes em cultivar o azevém, planta mais tolerante a este elemento do que as aveias. As seleções ‘PFA201701’, ‘PFA201702’, ‘PFA201801’ e ‘PFA201803’ e as cultivares ‘Madrugada’, ‘Pampeana’ e ‘Centaurus’ mostraram-se promissoras para coabitar com videiras em solos com elevada concentração do metal. Estudos futuros devem determinar a concentração de cobre no solo, a partir da qual limitaria a produção de biomassa da aveia.

Termos para indexação: plantas de cobertura, videira, biomassa seca, cobre no solo, sistema de cultivos consorciados.

Evaluation and selection of black oat cultivars for cultivation in copper-contaminated soils

Abstract – Viticulture in the Serra Gaúcha, affected by the humid subtropical climate, uses copper-based fungicides to prevent diseases such as downy mildew. However, its excessive use has increased the concentration of copper in viticultural soils, generating adverse environmental impacts. Excess copper can compromise plant development and productivity, impacting germination, growth, and photosynthesis. The vine, even moderately tolerant to copper, can suffer inhibition of photosynthesis and nutritional imbalances. Black oats (*Avena strigosa* Schreb) grown in consortium with the vine can modify the chemistry of the rhizosphere, reducing the bioavailability of copper and favoring the vine’s growth. This study evaluated the dry biomass production of

Embrapa Uva e Vinho

Rua Livramento, nº 515
Caixa Postal 130
95701-008 Bento Gonçalves, RS
www.embrapa.br/uva-e-vinho
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Henrique Pessoa dos Santos

Secretária-executiva

Renata Gava

Membros

Edgardo Aquiles Prado Perez,

Fernando José Hawerorth,

Mauro Celso Zanús, Joelsio

José Lazzarotto, Jorge Tonietto,

Rochelle Martins Alvorcem, Thor

Vinicius Martins Fajardol

Revisão de texto

Renata Gava

Normalização bibliográfica

Rochelle Martins Alvorcem

(CRB-10/1810)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Renata Gava

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

oat cultivars and selections in soils with high copper levels, aiming to identify adaptable ones that can serve as an alternative for vintners hesitant to grow ryegrass, a plant more tolerant to copper than oats. The results revealed that the selections 'PFA201701', 'PFA201702', 'PFA201801', and 'PFA201803' and cultivars 'Madrugada', 'Pampeana', and 'Centauro' are promising to cohabit with vines in soils with high concentrations of copper. Future studies should determine the concentration of copper in the soil, which would limit the production of oat biomass.

Index terms: cover crops, grapevine, dry biomass, copper in the soil, intercropping systems.

Introdução

A contaminação do solo por cobre (Cu) é um problema ambiental crescente, principalmente em áreas agrícolas, onde o uso excessivo de fungicidas à base de cobre, como a calda bordalesa, tem sido aplicado para a prevenção de doenças fúngicas em vinhedos (Komárek et al., 2010). O acúmulo de cobre no solo pode afetar negativamente a qualidade e a saúde do solo, prejudicando a biodiversidade, a atividade microbiana e a disponibilidade de nutrientes (Ambrosini et al., 2016; Andreatza et al., 2013; Tiecher et al., 2017).

Os solos da Serra Gaúcha cultivados com videiras, em sua maioria, possuem grandes concentrações de cobre, devido às aplicações continuadas de fungicidas cúpricos, causando acúmulo deste metal no solo ao longo dos anos (Melo; Zalameña, 2016). Observa-se que a concentração de cobre biodisponível, variando entre 70 e 150 mg kg⁻¹, afeta negativamente o crescimento da videira e das plantas de cobertura (Albarelo et al., 2013; Ambrosini et al., 2015; Brunetto et al., 2007; Trentin et al., 2022). Nos solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica, a fitotoxicidade ocorre nas concentrações mais baixas. Em contrapartida, solos franco-argilosos, com teor de matéria orgânica acima de 40 g kg⁻¹, apresentam fitotoxicidade nos níveis mais elevados de cobre.

O cobre é um micronutriente essencial ao crescimento e desenvolvimento da planta (Ambrosini et al., 2016). Contudo, quando em excesso, pode acarretar alterações na morfologia e anatomia das raízes, resultando na redução da absorção de nutrientes, podendo causar deficiência nutricional nas plantas (Rosa et al., 2016). Um sintoma habitual é a redução do conteúdo de clorofilas em folhas jovens, gerando clorose (Oliveira et al., 2013; Santos et al., 2004).

Associado a isso, os solos da região da Serra Gaúcha se caracterizam pela declividade média a alta, propiciando o processo erosivo. A utilização de plantas de cobertura é uma alternativa de proteção do solo. Elas também atuam acumulando nutrientes e disponibilizando-os durante sua decomposição, propiciando a melhoria e manutenção da fertilidade do solo (Wutke et al., 2005; Zalameña; Melo, 2021) e estímulo à atividade biológica (Abad et al., 2021; Agnelli et al., 2014).

Desta forma, é necessário identificar opções de plantas de cobertura que melhor se adaptem às condições de contaminação por cobre. A aveia possui grande aceitação pelos viticultores, contudo as cultivares disponíveis no mercado são mais sensíveis à fitotoxicidade por cobre que o azevém, que possui menor aceitação. Essa resistência por parte dos agricultores da Serra Gaúcha em utilizar o azevém como planta de cobertura em pomares e vinhedos deriva de múltiplos fatores. Aspectos bióticos, tais como a competição por recursos hídricos e nutrientes, colocam o azevém em desvantagem. Além disso, seu ciclo de vida, que ao longo do tempo pereniza, pode interferir nas operações agrícolas, tornando difícil a eliminação da planta da área quando se decide cessar seu uso como cobertura. Fatores culturais e econômicos também atuam como barreiras, refletindo uma resistência a mudanças nas práticas agronômicas tradicionalmente adotadas na região.

Assim, foram avaliadas cultivares e seleções de aveia com o objetivo de identificar aquelas que melhor se adaptem às condições de solo com elevada concentração de cobre e possam servir como alternativa para viticultores relutantes em cultivar o azevém, planta mais tolerante ao cobre do que a aveia.

Material e métodos

Este estudo foi conduzido na Embrapa Uva e Vinho, situada no município de Bento Gonçalves, RS, em ambiente de casa de vegetação, entre 26 de maio e 14 de julho de 2022, com duração de 50 dias. O solo utilizado foi um cambissolo húmico aluminoso (Santos et al., 2013), coletado no município de Bento Gonçalves, analisado conforme Tedesco et al. (1995), com os seguintes atributos químicos e físicos: argila, 340 g kg⁻¹; índice SMP, 5,9; pH da água, 5,0; fósforo (P), 4,6 mg kg⁻¹; potássio (K), 103 mg kg⁻¹; alumínio (Al), 3+ 10 mmol_c dm⁻³; cálcio (Ca), 36 mmol_c dm⁻³; magnésio (Mg), 19 mmol_c dm⁻³; matéria orgânica, 16 g kg⁻¹ e cobre (Cu), 4,0 mg kg⁻¹.

O foco foi na avaliação de várias cultivares e seleções de aveia, tais como as cultivares 'IPR Cabocla', 'Planalto', 'Embrapa 139 Neblina', 'BRS Pampeana', 'BRS Tropeira', 'BRS Centauro' e 'BRS Madrugada', e as seleções 'PFA201701', 'PFA201702', 'PFA201801' e 'PFA201803'. Estas amostras foram fornecidas pela Embrapa Trigo, localizada em Passo Fundo, RS. Os genótipos foram comparados entre si e, também, em relação ao azevém comum, cujas sementes deste também foram obtidas da coleção da Embrapa Trigo. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com parcela subdividida, com três repetições, sendo as cultivares de aveia consideradas como parcela e as doses de cobre como subparcela.

Com relação ao preparo do solo, após a coleta o solo foi seco naturalmente à sombra e, posteriormente, passado por peneiras de 2 mm. Esse solo foi dividido em duas partes: uma que não recebeu adição de cobre e a outra que teve 150 mg de cobre por quilo de solo adicionados, ou seja, a concentração de cobre no solo que pode afetar negativamente o crescimento das plantas, conforme identificado em estudos anteriores. Ambas as partes foram corrigidas para atingir o nível de nutrientes recomendados para a cultura da videira, incluindo calagem e adição de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). A fonte de cobre foi o sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). A quantidade total de cobre a ser usada para a dose de 150 mg kg^{-1} foi primeiramente dissolvida em água, distribuída e misturada em um vaso contendo 7 kg de solo. Após a completa secagem, a quantidade de solo no vaso foi misturada com uma quantidade suficiente do mesmo solo para completar todos os tratamentos com cobre, sendo essa mistura realizada com o auxílio de uma betoneira, a fim de garantir uma distribuição homogênea do cobre. A calagem e a adição de nutrientes também foram realizadas com o emprego de uma betoneira, visando à uniformização dessas operações. As quantidades de nutrientes seguiram as recomendações da Comissão Regional de Química e Fertilidade do Solo (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016).

Após a homogeneização, vasos de plástico de cor preta, com capacidade para 7 kg de solo, foram preenchidos. Esses vasos possuíam dimensões de 29 cm de altura e 37 cm de diâmetro. Após o preenchimento dos vasos, procedeu-se à semeadura das plantas de cobertura. Em cada vaso foram semeadas, em média, 20 sementes. Para garantir a uniformidade do número de plantas em cada vaso, aos cinco dias após a germinação, realizou-se um desbaste, deixando apenas 10 plantas de cobertura por vaso. As plantas foram irrigadas adicionando-se

água aos pratos dos vasos, sempre que estes estivessem secos.

O experimento foi conduzido até o estágio de apontamento da folha bandeira pelas cultivares, momento em que a parte aérea e as raízes foram coletadas para a avaliação da massa seca e a concentração de cobre na parte aérea e nas raízes. Essas amostras foram armazenadas por 48 horas em sacos de papel identificados e secas em estufa a 60 °C até atingirem a massa constante. Para a coleta das raízes, foi necessário retirar o máximo possível de solo, sendo recomendado que a coleta fosse realizada após a secagem completa do mesmo para facilitar o manejo. As raízes foram lavadas com água para a retirada de resíduos de solo e, posteriormente, com solução de HCl 0,01N para limpeza de resíduos aderidos. As massas secas da parte aérea e das raízes foram determinadas com o auxílio de uma balança analítica. As análises de concentração de nutrientes nos tecidos foram feitas conforme Tedesco et al. (1995).

Com a finalidade de verificar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos tratamentos avaliados, os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e, quando o valor de F apresentou diferença significativa ao nível de 5% de erro, foram comparados por meio do teste de Tukey. Para comparação das cultivares de aveia em relação ao azevém utilizou-se o teste t de Dunnett (Alfa 0,05).

Resultados e discussão

Em condições de baixo nível de cobre, isto é, não fitotóxico, as plantas apresentaram variações no potencial de produção de massa seca radicular, provavelmente devido às diferenças na capacidade de absorção e utilização de água e nutrientes em cada cultivar ou seleção (Tabela 1). Entretanto, em níveis fitotóxicos de cobre, a massa seca radicular de todas as cultivares e seleções sofreu redução significativa. Observou-se que, apesar da diminuição na massa seca radicular devido ao cobre, não houve redução na mesma para azevém, 'PFA 201803', 'PFA 201801', 'PFA 201702' e 'Centauro'. A fitotoxicidade ocasionada pelo excesso de cobre prejudica o desenvolvimento vegetal, como confirmado pela alteração na massa seca radicular (Giroto et al., 2016; Manivasagaperumal et al., 2011).

Relativamente à massa seca da parte aérea, identificaram-se variações intercultivares, tanto em níveis baixos quanto altos de cobre, refletindo divergências no potencial genético de produção. Enquanto o azevém manteve-se estável entre os

Tabela 1. Avaliação de massa seca de raízes das cultivares de aveia cultivadas com baixo e alto nível de cobre⁽¹⁾.

Aveia	Raiz (g)		Parte aérea (g)				Total (g)								
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com									
Azevém	1,56	e	1,38	a	ns	6,40	d	7,23	a b	ns	7,96	e	8,61	a	ns
Pampeana	2,63	a b c	1,37	a	*	13,73	b c	9,70	a	*	16,36	d	11,07	a	*
Neblina	2,81	a b	1,46	a	*	13,57	b c	6,80	a b	*	16,38	d	8,26	a	*
Tropeira	2,84	a b	1,79	a	*	12,93	c	7,20	a b	*	15,77	d	8,99	a	*
PFA 201803	1,96	c d e	1,38	a	ns	18,17	a	7,87	a b	*	20,13	a b	9,25	a	*
PFA 201801	2,16	b c d e	1,47	a	ns	18,67	a	8,87	a b	*	20,83	a b	10,34	a	*
Madrugada	2,28	b c d	1,26	a	*	16,20	a b	8,10	a b	*	18,48	a b c d	9,36	a	*
Planalto	2,88	a b	1,57	a	*	12,4	c	6,10	b	*	15,28	d	7,67	a	*
PFA 201701	2,82	a b c	1,51	a	*	18,57	a	7,43	a b	*	21,39	a	8,94	a	*
Cabocla	3,11	a	1,71	a	*	13,83	b c	6,20	b	*	16,94	c d	7,91	a	*
PFA 201702	2,25	b c	1,71	a	ns	18,60	a	8,90	a b	*	20,85	a b	10,61	a	*
Centauro	1,79	d e	1,47	a	ns	16,00	a b	7,17	a b	*	17,79	b c d	8,64	a	*
Média	2,42		1,51			14,92		7,63			17,35		9,14		

⁽¹⁾ No tratamento "Sem" a concentração de cobre no solo foi de 4 mg kg⁻¹ de solo e no tratamento "Com" 150 mg kg⁻¹.

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 0,05.

* e ns indicam, para cada genótipo, a presença ou ausência, respectivamente, de diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos baixo e alto cobre.

tratamentos de cobre, as cultivares de aveia exibiram decréscimo estatisticamente relevante de massa seca devido à toxicidade do cobre. Adicionalmente, exceto pelo azevém, todas as cultivares apresentaram diminuição significativa na massa seca total ao comparar tratamentos de baixo e alto nível de cobre.

Os resultados encontrados nesta pesquisa sugerem que o cobre pode prejudicar o crescimento das cultivares de aveia, afetando tanto a massa seca das raízes quanto da parte aérea. Esses efeitos negativos são consequência da toxicidade do cobre para as plantas. Em contraste, o azevém mostrou-se mais tolerante ao cobre, sem diferenças significativas quando comparados os tratamentos com baixo e alto nível de cobre. Em concentrações elevadas, o cobre pode interferir na absorção de água e nutrientes, gerando estresse oxidativo e afetando a síntese de proteínas (Yruela, 2009, 2005). Isso explica a diminuição na massa seca observada nas cultivares de aveia. Além disso, o acúmulo

excessivo de cobre pode induzir a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), o que pode causar danos às membranas celulares, proteínas e DNA, afetando negativamente o crescimento das plantas (Hall, 2002; Kopittke et al., 2014).

Também é importante destacar que o uso da aveia como planta de cobertura em sistemas de cultivo de videiras, especialmente em solos com alto teor de cobre, traz diversos benefícios. Entre eles estão a proteção do solo contra a erosão, o aumento da matéria orgânica, a melhoria da estrutura do solo, a promoção da atividade biológica e a redução da evaporação de água. Estes benefícios, por sua vez, podem contribuir para a manutenção da qualidade do solo e a sustentabilidade do cultivo de videiras.

A comparação entre cultivares e seleções de aveia e azevém, em relação à massa seca de raízes (MS_R) e da parte aérea (MS_PA), foi conduzida mediante a aplicação do teste de Dunnett, considerando dois níveis distintos de cobre no solo,

Tabela 2. Comparação do azevém com cultivares de aveia em relação à produção de massa seca de raízes (MS_R) e parte aérea (MSPA).

Aveia - Azevém	Diferença entre médias	Limites de confiança simultâneos de 95%			Diferença entre médias	Limites de confiança simultâneos de 95%		
		MS_R (g)				MSPA (g)		
Cabocla - Azevém	0,93	0,05	1,82	***	3,20	-0,80	7,20	ns
Tropeira - Azevém	0,85	-0,04	1,74	ns	3,25	-0,75	7,25	ns
Planalto - Azevém	0,75	-0,13	1,64	ns	2,43	-1,57	6,44	ns
PFA201701 - Azevém	0,69	-0,2	1,58	ns	6,18	2,18	10,19	***
Neblina - Azevém	0,66	-0,23	1,55	ns	3,37	-0,64	7,37	ns
Pampeana - Azevém	0,53	-0,36	1,42	ns	4,90	0,90	8,90	***
PFA201702 - Azevém	0,51	-0,38	1,39	ns	6,93	2,93	10,94	***
PFA201801 - Azevém	0,34	-0,55	1,23	ns	6,95	2,95	10,95	***
Madrugada - Azevém	0,30	-0,59	1,19	ns	5,33	1,33	9,34	***
PFA201803 - Azevém	0,20	-0,69	1,08	ns	6,20	2,20	10,20	***
Centauro - Azevém	0,16	-0,73	1,04	ns	4,77	0,76	8,77	***

^{ns} Não significativo. ^{***} Significativo a 0,05% de probabilidade para o teste de t de Dunnett, alfa 0,05. A diferença mínima significativa para o teste é de 0,89 para MS_R e 2,83 para MSPA.

conforme apresentado na Tabela 2. Os dados obtidos revelam que apenas a cultivar Cabocla exibe uma diferença estatisticamente significativa em sua MS_R quando comparada ao azevém, que foi utilizado como padrão de controle. As demais cultivares e seleções, incluindo 'Tropeira', 'Planalto', 'PFA201701', 'Neblina', 'Pampeana', 'PFA201702', 'PFA201801', 'Madrugada', 'PFA201803' e 'Centauro', não manifestaram variações significativas nesse aspecto em comparação ao azevém.

Nessa pesquisa, as diferenças entre as aveias e o azevém podem ser atribuídas ao ciclo das culturas, pois as aveias são mais precoces do que o azevém (Rocha et al., 2007). Nas condições com elevado nível de cobre, a maior tolerância do azevém, apesar do seu crescimento mais lento, demonstrou tolerância semelhante às aveias, resultando em produção igual de massa seca total.

A cultivar Cabocla, quando comparada ao azevém, aparentemente protegeu seu sistema radicular contra o excesso de cobre, favorecendo densidade e comprimento radicular. Em cenários onde há estresse, tais características podem impedir a translocação de cobre para a parte aérea, evitando assim que o seu excesso danifique o aparelho fotossintético. O mecanismo de ação que atuaria nessas condições, que ocorre majoritariamente ao

nível radicular, seria a intensificação da adsorção de cobre na superfície radicular, sua imobilização perto da epiderme e aumento da complexação do cobre por ânions (Keller et al., 2015). Uma outra explicação seria a compartimentalização nos vacúolos e outras organelas que também reduziria a fitotoxicidade (Pasricha et al., 2021).

Os resultados desta análise são importantes para o cultivo de aveias como plantas de cobertura em sistemas de cultivo de videiras plantadas em solos com alto teor de cobre. Ao identificar cultivares de aveia que apresentam diferenças significativas na massa seca de raízes em resposta ao cobre no solo, os produtores podem selecionar as cultivares mais adequadas para essas condições específicas. Esta seleção pode potencializar a fitoestabilização do cobre no sistema radicular da aveia, reduzindo a concentração de cobre na solução do solo. Consequentemente, isso favorece o crescimento inicial das videiras.

Além disso, o conhecimento das diferenças na resposta das cultivares de aveia ao cobre no solo pode ser útil para o desenvolvimento de práticas de manejo adequadas, levando em consideração as características do solo e as necessidades das plantas. No entanto, é importante ressaltar que, embora os resultados desta pesquisa sejam relevantes

e informativos, estudos adicionais são necessários para ampliar o conhecimento sobre a tolerância das diferentes cultivares de aveia ao cobre e investigar os mecanismos envolvidos na resposta das plantas a esse nutriente.

Ao comparar o azevém com diversas cultivares e seleções de aveia quanto à concentração de cobre na massa seca de raízes (MS_R) e na parte aérea (MSPA), conforme apresentado na Tabela 3, os dados revelam que, em termos gerais, não existem diferenças significativas nas médias de concentração de cobre nas raízes entre as cultivares e seleções de aveia e o azevém. Contudo, identifica-se uma diferença estatisticamente significativa na concentração de cobre na parte aérea das plantas, onde todas as cultivares de aveia exibiram valores inferiores em comparação ao azevém.

A análise das médias de concentração de cobre nas raízes revela uma variação considerável, com valores de $-4,33 \text{ mg kg}^{-1}$ na 'PFA201702' até $72,67 \text{ mg kg}^{-1}$ na 'Planalto'. Os amplos limites de confiança, de $-79,89$ a $148,22 \text{ mg kg}^{-1}$, sugerem uma heterogeneidade significativa nas respostas das cultivares de aveia à acumulação de cobre nas raízes. Em contraste, na parte aérea, as diferenças entre as médias de cobre foram consistentemente significativas, com variações menores nos limites

de confiança. Este padrão sugere uma acumulação de cobre mais uniforme e previsível nas cultivares de aveia em comparação com o azevém.

A variação observada nos limites de confiança entre raízes e parte aérea reflete possivelmente diferenças nas características genéticas, condições do solo e interação com o cobre no ambiente. Isso indica que a variabilidade na acumulação de cobre nas raízes pode ser devido aos diferentes mecanismos de tolerância ao cobre entre as cultivares, enquanto a uniformidade na parte aérea aponta para uma resposta mais homogênea.

A análise conjunta das três tabelas revelou diferenças significativas na resposta das cultivares de aveia a altos níveis de cobre no solo. As seleções e cultivares, particularmente, 'PFA201801', 'PFA201803', 'PFA201701', 'PFA201702', 'Pampeana', 'Madrugada' e 'Centauro', mostraram maior potencial para cultivo em tais condições, evidenciado por uma maior massa seca da parte aérea e eficiente regulação na concentração de cobre.

Essa observação torna-se particularmente relevante quando consideramos regiões vitícolas que enfrentam problemas de excesso de cobre no solo. Neste contexto, o cultivo consorciado de plantas de cobertura com videiras assume uma dimensão estratégica. As plantas de cobertura podem funcionar

Tabela 3. Comparação do azevém com cultivares de aveia em relação à concentração de cobre na massa seca de raízes (MS_R) e parte aérea (MSPA).

Aveia - Azevém	Diferença entre médias	Limites de confiança simultâneos de 95%			Diferença entre médias	Limites de confiança simultâneos de 95%		
		Cobre nas raízes (mg kg^{-1})				Cobre na parte aérea (mg kg^{-1})		
Cabocla - Azevém	61,17	-14,39	136,72	ns	-4,17	-6,48	-1,86	***
Tropeira - Azevém	32,83	-42,72	108,39	ns	-5,67	-7,98	-3,36	***
Planalto - Azevém	72,67	-2,89	148,22	ns	-6,00	-8,31	-3,69	***
PFA201701 - Azevém	18,67	-56,89	94,22	ns	-7,00	-9,31	-4,69	***
Neblina - Azevém	47,50	-28,05	123,05	ns	-6,00	-8,31	-3,69	***
Pampeana - Azevém	36,67	-38,89	112,22	ns	-7,67	-9,98	-5,36	***
PFA201702 - Azevém	-4,33	-79,89	71,22	ns	-6,83	-9,14	-4,52	***
PFA201801 - Azevém	13,67	-61,89	89,22	ns	-7,83	-10,14	-5,52	***
Madrugada - Azevém	12,33	-63,22	87,89	ns	-4,83	-7,14	-2,52	***
PFA201803 - Azevém	22,17	-53,39	97,72	ns	-8,00	-10,31	-5,69	***
Centauro - Azevém	18,00	-57,55	93,55	ns	-4,67	-6,98	-2,36	***

^{ns} Não significativo. ***Significativo a 0,05% de probabilidade. Teste de t de Dunnett. A diferença mínima significativa para o teste é de 75,55 para MS_R e 2,31 para MSPA.

como um mecanismo de bioacumulação, ajudando a retirar o cobre em excesso do solo. A capacidade da aveia de acumular menos cobre na parte aérea, em comparação ao azevém, sugere que ela pode ser menos eficaz na bioacumulação de cobre do solo. Portanto, em áreas com excesso de cobre, o azevém poderia ser uma opção mais adequada como planta de cobertura consorciada à videira, dado o seu potencial maior de bioacumulação na parte aérea.

Consequentemente, em vinhedos onde o excesso de cobre no solo é uma preocupação, a escolha do azevém como planta de cobertura pode auxiliar na redução da biodisponibilidade deste metal e potencial toxicidade para a videira. Porém, outros aspectos agrônômicos, ambientais e sociais devem ser ponderados ao selecionar a planta de cobertura ideal para cada situação.

Conclusões

- 1) A relevância da geração de biomassa seca da parte aérea e das raízes das cultivares de aveia, quando cultivadas em sistema consorciado com videiras e em circunstâncias de alta concentração de cobre no solo, pode ser atribuída à combinação das funções de estabilização temporária do cobre e potencial de remediação do solo que estas plantas podem exercer. A fitoestabilização diz respeito à habilidade das raízes de captar e reter metais pesados, como o cobre, tornando-os temporariamente indisponíveis para as plantas, enquanto a fitorremediação engloba a captação e transferência do cobre para a parte aérea das plantas, onde pode ser acumulado e, eventualmente, eliminado por meio da colheita.
- 2) A seleção de cultivares de aveia com elevada produção de biomassa seca das raízes, bem como da parte aérea, é crucial para aprimorar a estabilização do cobre, pois permite que as plantas consorciadas tenham crescimento normal. A produção de biomassa seca das raízes favorece a fitoestabilização, diminuindo a mobilidade e a biodisponibilidade do cobre no solo e, consequentemente, os perigos de contaminação e toxicidade para as culturas associadas. Por outro lado, a geração de biomassa seca da parte aérea aumenta a eficácia da fitorremediação, possibilitando a remoção eficiente do cobre do solo por meio da absorção e transferência do metal para a parte aérea das plantas.
- 3) A associação entre aveia e videira pode ser uma estratégia eficiente para o uso e manejo de solos com alto nível de cobre. Ao incluir a aveia como planta de cobertura no sistema, é possível promover a restauração e conservação da qualidade do solo e, ao mesmo tempo, permitir o crescimento normal da cultura comercial, como a videira.
- 4) A utilização de aveia como planta de cobertura em sistemas de cultivo de videira plantados em solos com alto teor de cobre apresenta potencial para mitigar os efeitos negativos da toxicidade do cobre. Os resultados da Tabela 3 mostram que a aveia é capaz de imobilizar o cobre, evitando sua translocação para a parte aérea e, assim, diminuindo sua disponibilidade no solo.
- 5) As cultivares de aveia 'Pampeana', 'Madrugada' e 'Centouro', e as seleções 'PFA201701', 'PFA201702', 'PFA201801', 'PFA201803', mostraram-se alternativas promissoras para produtores que evitam o uso do azevém. Contudo, faz-se necessário conduzir pesquisas adicionais para estabelecer a concentração limite de cobre no solo a partir da qual o desenvolvimento adequado das aveias não é mais vantajoso.

Referências

- ABAD, J.; HERMOSO DE MENDOZA, I.; MARÍN, D.; ORCARAY, L.; SANTESTEBAN, L. G. Cover crops in viticulture. A systematic review (1): Implications on soil characteristics and biodiversity in vineyard. **OENO One**, v. 55, n. 1, p. 295-312, Mar. 2021. DOI: 10.20870/OENO-ONE.2021.55.1.3599.
- AGNELLI, A.; BOL, R.; TRUMBORE, S. E.; DIXON, L.; COCCO, S.; CORTI, G. Carbon and nitrogen in soil and vine roots in harrowed and grass-covered vineyards. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 193, p. 70-82, Aug. 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2014.04.023.
- ALBARELLO, J. B.; DAL MAGRO, R.; MELO, G. W. B. de; FREITAS, R. F.; RODIGHERO, K.; OLIVEIRA, P. D. de. Efeito da adição da parte aérea de plantas de cobertura na fitotoxicidade de cobre em solo cultivado com videira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Costão do Santinho, SC. Ciência do solo: para quê e para quem? **Anais [...]**. Florianópolis, SC: SBCS, 2013. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/980078>. Acesso em: 6 dez. 2023.
- AMBROSINI, V. G.; ROSA, D. J.; PRADO, J. P. C.; BORGHEZAN, M.; MELO, G. W. B. de; SOARES, C. R. F. de S.; COMIN, J. J.; SIMÃO, D. G.; BRUNETTO, G. 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, 2015. DOI: 10.1016/j.plaphy.2015.08.012.

AMBROSINI, V. G.; SORIANI, H. H.; ROSA, D. J.; TIECHER, T. L.; GIROTTO, E.; GUIMARÃES, D.; MELO, G. W. B. de; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G. Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura. In: MELO, G. W. B. de; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A. (ed.). **Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2016. p. 91-110. (Embrapa Uva e Vinho. Documentos, 100). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1065884>. Acesso em: 6 dez. 2023.

ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. de O.; ANTONIOLLI, Z. I.; QUADRO, M. S.; BARCELOS, A. A. Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 127-136, 2013. DOI: <https://doi.org/10.19084/rca.16290>.

BRUNETTO, G.; MELO, G. W. B. de; SCHÄFER JUNIOR, A.; KAMINSKI, J.; CERETTA, C. A. **Taxa fotossintética e acúmulo de matéria seca e nutrientes em videiras jovens na Serra Gaúcha cultivadas em solos com excesso de cobre**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2007. 8 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 80) Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/539304>. Acesso em: 6 dez. 2023.

GIROTTO, E.; CERETTA, C. A.; ROSSATO, L. V.; FARIAS, J. G.; BRUNETTO, G.; MIOTTO, A.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L.; LOURENZI, C. R.; SCHMATZ, R.; GIACHINI, A.; NICOLOSO, F. T. Biochemical changes in black oat (*Avena strigosa* Schreb) cultivated in vineyard soils contaminated with copper. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 103, p. 199-207, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.02.030>.

HALL, J. L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 366, p. 1-11, Jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.1>.

KELLER, C.; RIZWAN, M.; DAVIDIAN, J. C.; POKROVSKY, O. S.; BOVET, N.; CHAURAND, P.; MEUNIER, J.-D. Effect of silicon on wheat seedlings (*Triticum turgidum* L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 IM Cu. **Planta**, v. 241, p. 847-860, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2220-1>.

KOMÁREK, M.; CADKOVÁ, E.; CHRASTNÝ, V.; BORDAS, F.; BOLLINGER, J.-C. Contamination of vineyard soils with fungicides: A review of environmental and toxicological aspects. **Environment International**, v. 36, n. 1, p. 138-151, Jan. 2010. DOI: 10.1016/j.envint.2009.10.005.

KOPITTKKE, P. M.; MENZIES, N. W.; WANG, P.; MCKENNA, B. A.; WEHR, J. B.; LOMBI, E.; KINRAIDE,

T. B.; BLAMEY, F. P. C. The rhizotoxicity of metal cations is related to their strength of binding to hard ligands.

Environmental Toxicology and Chemistry, v. 33, n. 2, p. 268-277, Feb. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.2435>.

MANIVASAGAPERUMAL, R.; VIJAYARENGAN, P.; BALAMURUGAN, S.; THIYAGARAJAN, G. Effect of copper on growth, dry matter yield and nutrient content of *Vigna radiata* (L.) Wilczek. **Journal of Phytology**, v. 3, n. 3, p. 53-62, 2011.

MELO, G. W. B. de; ZALAMENA, J. Retrato da Fertilidade de Solos cultivados com videira nas Regiões da Serra e Campanha Gaúcha. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2016. 9 p. (Embrapa Uva e Vinho. **Comunicado Técnico, 181**). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1046427>. Acesso em: 6 dez. 2023.

OLIVEIRA, P. D. de; FREITAS, R. F.; DAL MAGRO, R.; ALBARELLO, G. B.; RODIGHERO, K.; MELO, G. W. B. de. Mitigação do efeito fitotóxico do cobre em videiras jovens pela calagem. 2013. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., E ENCONTRO DE PÓS-GRADUANDOS DA EMBRAPA UVA E VINHO, 7., 2013, Bento Gonçalves, RS. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2013. p. 26. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/979828>. Acesso em: 6 dez. 2023.

PASRICHA, S.; MATHUR, V.; GARG, A.; LENKA, S.; VERMA, K.; AGARWAL, S. Molecular mechanisms underlying heavy metal uptake, translocation and tolerance in hyperaccumulators—an analysis: Heavy metal tolerance in hyperaccumulators. **Environmental Challenges**, v. 4, p. 100197, Aug. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100197>.

ROCHA, M. G. da; PEREIRA, L. E. T.; SCARAVELLI, L. F. B.; OLIVO, C. J.; AGNOLIN, C. A.; ZIECH, M. F. Produção e qualidade de forragem da mistura de aveia e azevém sob dois métodos de estabelecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 1, p. 7-15, fev. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000100002>.

ROSA, D. J.; AMBROSINI, V. G.; BRUNETTO, G.; SOARES, C. R. F. S.; BORGHEZAN, M.; PESCADOR, R. 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, n. 1, p. 14-23, jul. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1051/ctv/20163101014>.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013.

SANTOS, H. P. dos; MELO, G. W. B. de; LUZ, N. B. da; TOMASI, R. J. **Comportamento Fisiológico de Plantas de Aveia (*Avena strigosa*) em Solos com Excesso de Cobre**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2004. 4 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 49). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/539510>. Acesso em: 6 dez. 2023.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. Santa Maria, RS: Núcleo Regional Sul - SBCS, 2016.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSIANI, C. A.; BOHNEM, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de Solo, Plantas e outros Materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995.

TIECHER, T.; TIECHER, T. L.; MALLMANN, F. J. K.; ZAFAR, M.; CERETTA, C. A.; LOURENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; SANTOS, D. R. dos. Chemical, Biological, and Biochemical parameters of the soil p cycle after long-term pig slurry application in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, p. 170037, 2017. DOI: 10.1590/18069657rbcS20170037.

TRENTIN, E.; FERREIRA, P. A. A.; RICACHENEVSKY, F. K.; MORSCH, L.; HINDERSMANN, J.; TAROUÇO, C. P.; NICOLOSO, F. T.; SILVA, L. O. S. da; DE CONTI, L.; SILVA, I. C. B. da; MARCHEZAN, C.; CERETTA, C. A.;

BRUNETTO, G. The tolerance of grapevine rootstocks to copper excess and to the use of calcium and phosphorus to mitigate its phytotoxicity. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 29, n. 55, p. 82844-82854, Nov. 2022. DOI: 10.1007/S11356-022-21515-0.

WUTKE, E. B.; TERRA, M. M.; PIRES, E. J. P.; COSTA, F.; SECCO, I. L.; RIBEIRO, I. J. A. Influência da cobertura vegetal do solo na qualidade dos frutos de videira 'Niagara Rosada'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 3, p. 434-439, dez. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000300023>.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 5, p. 409, 2009. DOI: 10.1071/FP08288.

YRUELA, I. Copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 145-156, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100012>.

ZALAMENA, J.; MELO, G. W. B. de. Manejo de plantas de cobertura do solo em vinhedos. In: RUFATO, L.; MARCON FILHO, J. L.; BRIGHENTI, A. F.; BOGO, A.; KRETZSCHMAR, A. A. (eds.). **A cultura da videira: vitivinicultura de altitude**. Florianópolis, SC: Editora Udesc, 2021. p. 369-378. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1144708>. Acesso em: 6 dez. 2023.