

EVOLUÇÃO DA FERTILIDADE EM SOLOS E CONTAMINAÇÃO EM VINHEDOS E POMARES

João Kaminski⁽¹⁾,
Gustavo Brunetto⁽²⁾,
Leandro Souza da Silva⁽³⁾,
George Wellington Melo⁽⁴⁾,
Eduardo Giroto⁽⁵⁾

Resumo

Os solos ácidos e que não possuem a quantidade suficiente de nutrientes para suprir a demanda das plantas necessitam ser submetidos à calagem e adubação. A recomendação da calagem e adubação pode ser estabelecida em sistemas regionais. Assim, no presente capítulo, inicialmente apresentaremos a concepção e evolução histórica dos sistemas de calagem e adubação em solos, com ênfase ao sistema de recomendação estabelecido aos estados do Rio Grande do Sul (RS) e de Santa Catarina (SC). Logo depois, apresentaremos um breve contexto de como nem sempre o que é previsto em sistemas de recomendação de calagem e adubação é seguido pelos seus usuários e, quando isso acontece, práticas de manejo em

⁽¹⁾Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor Aposentado do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: joao.kaminski@gmail.com

⁽²⁾Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Bolsista em Produtividade do CNPq. E-mail: brunetto.gustavo@gmail.com

⁽³⁾Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: leandrosolos@ufsm.br

⁽⁴⁾Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Uva e Vinho), Bento Gonçalves, RS, Brasil. E-mail: wellington.melo@embrapa.br

⁽⁵⁾Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor EBTT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Bento Gonçalves, RS, Brasil. E-mail: eduardo.giroto@ifrs.edu.br

sistemas de cultivo podem incrementar os teores de elementos em solos acima da sua capacidade de adsorção ou mesmo superior a demanda das plantas. Isso potencializa a contaminação de solos e águas, além do risco de causar a toxidez em espécies vegetais. É o caso do uso excessivo de fertilizantes orgânicos, por exemplo, de dejetos de animais em sistemas de cultivo de grãos e pastagens na região Sul do Brasil, mas que também pode ser observado em pomares e vinhedos que são submetidos a doses excessivas de fertilizantes industrializados e orgânicos. Soma-se a isso as frequentes e elevadas doses de fungicidas, que podem possuir na composição cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), para prevenção e controle fitossanitário em folhas e cachos de videiras. Por isso, além da evolução do sistema recomendação de calagem e adubação e assuntos vinculados a esse tópico, será abordado um breve histórico sobre a contaminação de áreas cultivadas com frutíferas, com ênfase ao Sul do Brasil, mas que também acontece de maneira similar em outros estados do país ou mesmo em outros países. Na sequência, serão destacados os principais estudos realizados sobre o diagnóstico de metais pesados em solos cultivados com frutíferas e o potencial de toxidez às plantas. Ao fim, abordaremos a evolução dos estudos relacionados as estratégias usadas para diminuir a disponibilidade e toxidez de metais pesados em pomares e vinhedos.

Palavras-chaves: Fertilidade do solo; Nutrição mineral de plantas; Toxidez; Contaminação por metais pesados.

1. Introdução

A Ciência do Solo é resultado da reunião de informações de diferentes áreas do conhecimento científico aplicadas para entender a origem dos solos, seu comportamento como meio de crescimento de plantas e a sua resiliência à intervenção antrópica. Não tem uma origem histórica específica, mas os conhecimentos foram acumulados desde que a humanidade se tornou gregária e iniciou o cultivo de seus próprios alimentos. Uma das maiores preocupações históricas da humanidade, como ainda é até nossos dias, era garantir o completo ciclo das espécies cultivadas ou aumentar a sua produtividade. Porém, isso somente é possível em solos que possuem capacidade de fornecer a quantidade necessária de nutrientes às plantas. Quando isso não acontece é necessário realizar a aplicação de corretivos da acidez do solo e/ou fertilizantes.

Uma recomendação de calagem e adubação deve ser estabelecida seguindo etapas, como as previstas em sistemas de recomendação, com destaque para a amostragem do solo ou tecido, análises em laboratório e interpretação dos resultados, para posterior recomendação de produtos corretivos e fertilizantes.

Entretanto, nem sempre o previsto em sistemas de recomendação de calagem e adubação é seguido pelos seus usuários. Quando isso acontece, práticas de manejo em sistemas de cultivo podem incrementar os teores de elementos em solos para valores acima da sua capacidade de suporte ou mesmo superior a demanda das plantas. Isso potencializa a contaminação de solos, águas superficiais ou subsuperficiais, além do risco de toxidez em espécies vegetais.

Este cenário se aplica ao caso do uso excessivo de fertilizantes, por exemplo, de dejetos de animais em sistemas de cultivo de grãos e pastagens na região Sul do Brasil. Também pode ser observado em pomares e vinhedos que são submetidos a doses excessivas de fertilizantes industrializados e orgânicos. Inclui-se as frequentes e elevadas doses de fungicidas, que podem possuir na composição cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn), para a prevenção e controle fitossanitário em folhas e cachos de videiras. Por isso, torna-se importante conhecer o histórico da contaminação de áreas cultivadas com frutíferas, bem como os estudos realizados sobre o diagnóstico de metais pesados nesses solos, seu potencial de toxidez e as estratégias usadas para diminuir a disponibilidade e toxidez de metais pesados em espécies vegetais presentes em pomares e vinhedos.

2. Concepção/evolução do sistema de calagem e adubação em solos no Sul do Brasil

A Ciência do Solo avançou na medida que aumentava o conhecimento científico como um todo, mas a sua feição atual se deve muito a duas personagens importantes do século XIX, Justus Von Liebig e Vasili Dokuchaev. O primeiro, de origem alemã, trouxe enormes contribuições às Químicas Geral e Orgânica, reunindo em uma tese apresentada na Inglaterra em 1840 as novas descobertas no campo da agronomia, especialmente na química agrícola e na fisiologia vegetal, identificando a presença e funções dos elementos químicos na composição do solo e na nutrição das plantas. Demonstrou que os efeitos das substâncias orgânicas utilizadas como insumos ao crescimento das plantas era devido aos elementos inorgânicos nelas contidos, absorvidos após a mineralização no solo. Deu outras contribuições importantes, inclusive nos processos para fabricação de fertilizantes. Sua reputação atual se deveu, além das descobertas e inovações, na sua enorme versatilidade, estimulando e conduzindo a pesquisa fundamental nas áreas de química orgânica e inorgânica, química agrícola, fisiologia e bioquímica vegetal. O segundo personagem é russo, creditado por estabelecer as bases da Pedologia e da Ciência da Paisagem, postulando que o solo não era um simples amontoado de materiais, mas resultado de uma complexa interação de inúmeros fatores, como o clima, organismos e topografia que agem por períodos geológicos de tempo sobre as rochas ou material

de origem. Afirmava que o solo era de origem biogeológica e não da transformação físico-química das rochas. Ele foi o introdutor da ideia de o solo se apresentar compondo um perfil na forma de camadas e nomeando-as como horizontes A, B, C. Os seus estudos foram publicados em 1883 em nove volumes e muito de sua terminologia é até hoje aplicada nos estudos de gênese, morfologia e classificação de solos. No Brasil essas notações foram adotadas a partir de 1936.

Essas informações chegaram ao conhecimento da emergente comunidade científica brasileira no século XIX, quer por professores e técnicos europeus que se estabeleciam no Brasil ou de brasileiros que buscavam a sua formação na Europa e, no final do século XIX, também na América do Norte. Porém, antes disso, em 1808, foi criado o Real Horto no Rio de Janeiro que, com a Independência em 1822, passou a se denominar Jardim Botânico. Houve, então, a necessidade de se estudar a adaptação dos solos para o cultivo das espécies exóticas ali implantadas. Em 1859 começam a ser estruturados os estudos sobre solos brasileiros com a criação dos Imperiais Institutos de Agricultura, um espaço em que produtores rurais, governo e homens das ciências se dedicaram a implantar projetos ‘modernizadores’ para a agricultura no Brasil, cujo modelo era agroexportador. Nesse contexto, em 1861 foi criado o Instituto Rio-Grandense de Agricultura. Em 1887, o Imperador D. Pedro II funda a Estação Agronômica de Campinas que, posteriormente, seria denominado Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

No Rio Grande do Sul (RS), a agricultura avançou a partir da chegada dos imigrantes alemães (1824), italianos (1875) entre outras etnias, com a criação das colônias nas quais os agricultores aplicavam os conhecimentos trazidos dos países de origem. Outro elemento marcante nesse sistema agrário foi o surgimento do cultivo de arroz irrigado, em grandes lavouras em algumas regiões com planícies baixas e grandes várzeas do RS (Camaquã, Guaíba, Cachoeira do Sul, entre outras) no final do século XIX (Miguel, 2013). Mas, foi com a criação de instituições voltadas ao ensino agrícola que alavancou o crescimento da agricultura no Estado. Em 1883 foi fundada em Pelotas a Imperial Escola de Medicina Veterinária e Agricultura Prática, com a finalidade de desenvolver vacinas no RS. Após várias denominações, em 1889 passa a chamar-se Lyceu Rio-Grandense de Agronomia e Veterinária, assumindo status de curso superior. Ainda em 1887 passa a publicar a *Revista Agrícola do Rio Grande do Sul*, que em 1888 anunciava, no seu número 9 do ano 1, que dispunha pessoal capacitado para a realização de análises de solos. Em 1918 recebe o registro do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio da União, passando a conferir o título de Engenheiro Agrônomo aos seus formados. Em 1926 passa a se denominar Escola de Agronomia e Veterinária Eliseu Maciel e

hoje vincula-se à UFPeI.

Como não havia a formalização da carreira de professor universitário, alcançada apenas em 1970, muitos profissionais de nível superior e pesquisadores dessas instituições também davam aulas nas Faculdades então existentes. Assim, com a criação da Estação Experimental de Arroz, que em 1941 deu origem ao Centro Nacional de Pesquisa em Terras Baixas (CNPTB/EMBRAPA), e do Instituto de Pesquisas Agronômicas do Sul (IPEAS) criado em 1943, ambos federais e que hoje fazem parte da EMBRAPA/Clima Temperado, emprestavam profissionais para essas finalidades, mas os alunos pouco se envolviam nas atividades profissionais de seus professores, como de resto ocorria nas demais instituições até os anos 70.

Em 1892 foi criado um curso de Agronomia em Porto Alegre vinculado a Escola de Engenharia, que formou apenas uma turma em 1902. Em 1910 criou-se o Instituto da Agronomia e Veterinária (IAV), voltado para o ensino agrícola, ainda vinculado a Escola de Engenharia, que objetivava a formação de capatazes rurais, técnicos agrícolas, engenheiros agrônomos e médicos veterinários. Esses cursos se inspiraram no modelo norte-americano que privilegiava o ensino teórico-prático, a pesquisa e a extensão rural, a tal ponto que entre 1921 e 1928 foi implantado o Ensino Ambulante de Agricultura. Utilizando um trem da Viação Férrea, técnicos do Instituto percorriam o interior do Estado difundindo novas práticas de agricultura e de prevenção e tratamento de doenças de animais. Carregavam mostruário de máquinas e implementos, sementes, adubos, reprodutores de várias espécies e cadastravam agricultores incentivando a criação de cooperativas. Em 1934, quando foi fundada a Universidade de Porto Alegre, embrião da atual UFRGS, desvincula-se da Escola de Engenharia e torna-se a Escola de Agronomia e Veterinária. Seus profissionais também tinham outras atividades além do magistério naquela época.

Em 1921 iniciava uma nova era na pesquisa no RS com a criação da Estação Experimental de Alfredo Chaves, hoje Veranópolis, com a finalidade de trabalhar com a triticultura, principal atividade agrícola de então. Também nesse ano são publicados os primeiros textos sobre *Agrologia* (conhecimento sobre terras cultiváveis) no RS, entre os quais o do Prof. Gaspar Delermendo Uchoa do IAV, destacando o problema da acidez do solo e uso de cal para sua correção. Desde então e até 1928, são criadas as Estações Experimentais vinculadas a Secretaria da Agricultura Indústria e Comércio, todas temáticas, como a de silvicultura em Santa Maria, ovinocultura em Ulha Negra, Bagé etc, que deram origem a FEPAGRO (RS), hoje extinta, cuja estrutura permanece vinculada à Secretaria da Agricultura do RS.

Para a Estação de Alfredo Chaves foi convidado o sueco Ivar Beckmann

que, praticamente, estabeleceu as bases da pesquisa com melhoramento de trigo e, inclusive, em fertilidade. Esse pesquisador e sua equipe, junto com o pesquisador Wilhem Mohr, ajudaram a desvendar a “doença fisiológica” do trigo, denominada crestamento, como resultado da toxidez por alumínio. Essas unidades estaduais eram responsáveis pela pesquisa agrícola no RS, aliando-se a instituições estaduais ou federais na condução de experimentos e discussão dos seus resultados. Nos anos 30, a Secretaria de Agricultura do RS mantinha um laboratório de Química Agrícola, onde eram realizadas várias análises, inclusive de solos. Nessa unidade se destacava o químico austríaco Wilhem Mohr, pela sua contribuição nos procedimentos analíticos e o seu entendimento sobre os problemas na fertilidade dos solos do Rio Grande do Sul.

Mohr, em 1947, publicou um boletim com os métodos de análise de terras, para fins de assistência aos agricultores. Em 1949 destacava a importância do cálcio na compreensão da acidez dos solos do Rio Grande do Sul, introduzindo o conceito da saturação da CTC por cálcio e sua importância na produtividade das culturas. Nesse estudo dividiu o Estado em quatro regiões fisiográficas, em que levava em consideração o material de origem dos solos, I - Litorânea, II - Escudo (Sul Riograndense), III - Sedimentos Gondwânicos (Depressão Central) e IV - Planalto. A Região Litorânea subdividiu em áreas de Sedimentos Graníticos, IA, e Sedimentos Marinhos, IB. O Planalto foi subdividido em 3 regiões, IVA – Planalto Campanha, IVB – Planalto Divisa da Águas (Noroeste Gaúcho) e IVC – Planalto Zona do Mato (Serra Gaúcha). Classificando apenas a região IVA com teor adequado de cálcio, as demais com necessidade de suplementação; 80% dos solos foram considerados ácidos e 40% com teor elevado de alumínio; indicava pH 5,5 para as culturas e chamava a atenção para cuidados com a conservação dos solos. Também recomendava usar calcário em função do teor de alumínio usando 1,5 como fator de estimativa para o cálculo da dose. Em 1960 Mohr apresentou um trabalho sobre a importância da acidez na fertilidade dos solos no 1º. Congresso Brasileiro de Conservação do Solo em Campinas. Nesse texto introduz a forma de predição da necessidade de calcário de solos baseada no teor de alumínio (Al) trocável extraído com KCl 1 M, usando o fator 1,5, critério esse que passou a ser utilizado por, praticamente, todas instituições brasileiras que mantinham laboratórios de análise de solos para atendimento de agricultores.

Em 1938 é oficialmente criado o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), tornado entidade pública em 1940 e institucionalizado em 1948 para o desenvolvimento de pesquisas e prestação de serviços à orizicultura. Também mantinha um laboratório de análises de solos para atendimento do segmento. Outra

importante contribuição foi a do Prof. João Rui Jardim Freire com a criação do Laboratório de Microbiologia na FEPAGRO em 1951 para estudos de rizobiologia e fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Dentre os laboratórios que prestavam serviços com análises de solos, os métodos químicos (extratores e procedimentos analíticos) não eram iguais e o sistema de interpretação e recomendação de insumos, calcário e fertilizantes também era diferente. Visava apenas a elevação do teor no solo dos nutrientes, recomendando fórmulas de fertilizantes de acordo com a cultura e a região onde era implantada. Os trabalhos experimentais de calibração praticamente inexistiam. Cabe salientar que os métodos químicos visam estimar uma condição do solo que representa a disponibilidade dos nutrientes e dos elementos tóxicos às plantas. Os conceitos e fenômenos que regem a disponibilidade de nutrientes na relação solo:planta são complexos e dinâmicos, mas uma análise química podem servir de referência para uma tomada de decisão, por parte do técnico, quanto à necessidade e intensidade da intervenção por meio da calagem e da adubação em uma determinada área a ser ou já cultivada. Isto é possível quando os valores obtidos no laudo de análise do solo são enquadrados em valores de referência previamente estabelecidos nos sistemas de recomendação. Esses valores de referência são estabelecidos pela pesquisa experimental e normalmente constituídos de tabelas ou figuras e difundidos aos técnicos e agricultores na forma de boletins ou manuais impressos e/ou softwares/aplicativos digitais. Caso a interpretação seja de que os teores de nutrientes no solo estão em teores adequados, os insumos podem não ser aplicados ou ainda adicionados apenas para manter esta condição; enquanto que, quando estão em níveis inadequados, investimentos maiores podem ser feitos para melhorar a condição do solo até um nível que possa ser considerado adequado.

2.1. Análise de solos e sistemas de recomendação de adubação no Rio Grande do Sul

Com o recrudescimento da “Guerra Fria” e o alinhamento de Cuba com a União Soviética, os Estados Unidos criaram um programa de ajuda às Américas, denominado “Aliança para o Progresso”, permitindo acordos de cooperação econômica, técnica e de doações. Neste contexto, em 1961 foi criada a USAID (United States Agency for International Development) para incentivar o ensino e a pesquisa, estimulando o intercâmbio de conhecimento técnico-científico, bem como o financiamento de bens de capital entre os países. No final dessa década, o Brasil promoveu a Reforma Universitária, consolidando a federalização de Cursos, Faculdades e Universidades do Brasil, profissionalizando o ensino superior e

atribuindo às universidades a função de ensino, pesquisa e extensão. Com isso, várias IFES brasileiras firmaram acordos com a USAID (Acordo MEC/USAID), permitindo aumentar o número de Cursos de Pós-Graduação no Brasil, especialmente nas ciências agrárias, o que alavancou consideravelmente a pesquisa agrícola no Brasil.

A Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS firmou um convênio com a Universidade de Wiscosin em 1963, o que possibilitou a criação do Curso de Pós-Graduação (CPG) em Agronomia, com Área de Concentração em Solos em 1965. Esse CPG foi o maior centro de formação de pesquisadores e profissionais de ensino agrícola no Sul do Brasil e o responsável pela institucionalização da *pesquisa em solos no RS. Na mesma época, o ano de 1961 marca o início do Levantamento de Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Sul*, liderado pelo Eng. Agrônomo carioca Raimundo da Costa Lemos, que mais tarde se vinculou a Universidade Federal de Santa Maria, criada em 1960.

Para dar sustentação didática e técnica ao recém-criado CPG da UFRGS, aportaram logo no início os Profs. Wayne Kussow (Química) e John Murdock (Fertilidade), mais tarde Marvin Beatty (Pedologia) e Albert Ludwik (Fertilidade e Nutrição de Plantas). Kussow orientou a montagem do Laboratório de Análise de Solos, mecanizando e automatizando-o pela implantação da pipetagem automática com baterias de 10 unidades, permitindo um rendimento diário de centenas de amostras analisadas. Introduziu os métodos SMP e Bray I. John Murdock liderou o Programa de Melhoramento da Fertilidade dos Solos do RS (Operação Tatu), em uma parceria com instituições de pesquisa e extensão de todo Estado e empresas produtoras de insumos. Esse Programa iniciou em Ibirubá, mas se consolidou na região de Santa Rosa, e visava a integração de prática com técnicos de todas as áreas envolvidas no crescimento das plantas. Foi o responsável pelos primeiros estudos de calibração dos resultados das análises de solos com a produtividade dos cultivos, dados usados para confecção dos primeiros boletins de recomendação de calagem e adubação.

Em 1967 iniciou o movimento pela uniformização dos métodos e procedimentos dos LAS do RS, o que foi consumado em 1968 com a realização da Reunião dos Laboratórios de Análises de Solos do Rio Grande do Sul no CPG em Agronomia da UFRGS. Assim, o Bray I foi substituído pelo Mehlich 1 (Carolina do Norte) que permitia analisar fósforo (P) e potássio (K) no mesmo extrato. A titulação do Al foi substituída pelo SMP para indicação da calagem, pois era prático e rápido. Wackley-Black foi escolhido para matéria orgânica (MO) usada para estimar a adubação nitrogenada. Paralelamente ao processo de uniformização das

análises de solo, os laboratórios prestadores de serviço de análise precisam estar em sintonia com o que é necessário para adotar o sistema de recomendação. Isto dá origem em 1968 a uma associação de laboratórios, denominada posteriormente de Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo (ROLAS) estimulada pelos próprios pesquisadores desenvolvedores do sistema, até porque nos anos 1960 no RS os laboratórios eram, em sua maioria, entes públicos que estavam vinculados às instituições que desenvolviam o sistema de recomendação, como o IPEAS, o IRGA e a Secretaria da Agricultura do RS.

A partir de então, essas reuniões passaram a ser anuais e itinerantes e delas participaram não só os laboratórios, mas todas as instituições públicas ou privadas de pesquisa e extensão onde eram planejados os experimentos para calibração das análises de solos que seriam implantados pelas instituições participantes e, por isso, cobriam a maioria dos solos ocorrentes no Rio Grande do Sul utilizados em atividade agrícola. Os resultados desses experimentos eram apresentados e discutidos nas reuniões anuais e utilizados para atualização de boletins de recomendação de calagem e adubação. Com isto foi possível a padronização e atualização dos métodos e o desenvolvimento de um sistema para o controle de qualidade das análises prestadas pela ROLAS, bem como a geração do sistema de recomendação da calagem e adubação das principais culturas do RS e, posteriormente, SC.

2.2. Criação dos boletins de recomendação de calagem e adubação

Para o Sul do Brasil, pode se dizer que o desenvolvimento de um sistema para recomendação de insumos com o uso da análise química do solo para o manejo dos cultivos agrícolas iniciou de forma sistemática e intensa com a criação do CPG em Agronomia na UFRGS em 1965, embora outros laboratórios de solos já atuassem no segmento, conforme abordado anteriormente. Associando a resposta em termos de rendimento relativo das culturas com os teores de um determinado nutriente extraído do solo por um método químico que se correlaciona com a absorção do nutriente pelas plantas (calibração) temos as informações básicas para o desenvolvimento de um sistema de recomendação de adubação (Figura 1).

Assim, os métodos de análise selecionados passaram a ser calibrados, buscando associar os resultados dos elementos no solo com o desempenho das culturas de interesse comercial. Os experimentos de campo com aplicação de doses de nutrientes são clássicos para o desenvolvimento deste tipo de estudo. No RS não foi diferente, com os primeiros trabalhos de calibração desenvolvidos por alunos do CPG em Agronomia da UFRGS a partir de 1965. Os resultados iniciais

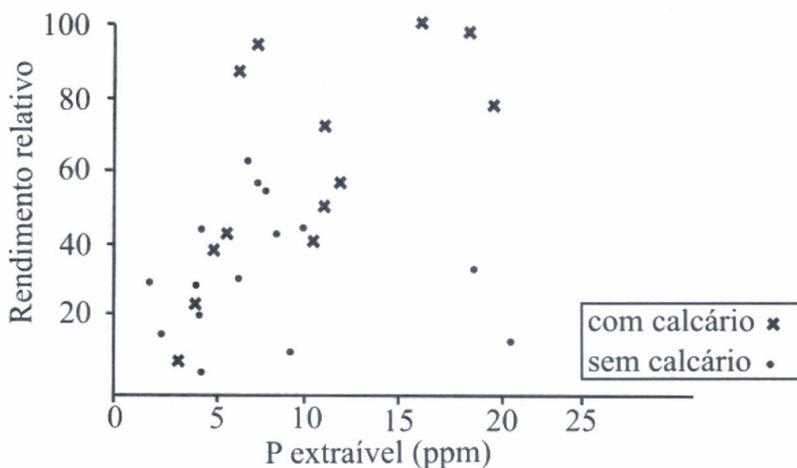


Figura 1. Relação entre os teores de P no solo extraídos por uma solução ácida e o rendimento relativo das culturas. Fonte: adaptado de Mielniczuk et al. (1969).

geraram uma versão das tabelas de recomendação em 1967, incluindo a adubação corretiva com P e K (UFRGS, 1967). Tinha apenas quatro páginas e pode ser considerado a 1ª versão do sistema. Como os solos do RS apresentavam como principal limitação o P (junto com a acidez) e em alguns solos também o K, o sistema de recomendação de adubação surge com as primeiras tabelas de interpretação da análise de solo para a correção dos solos com estes nutrientes. Outras versões, incluindo a adubação de manutenção e a calagem, inicialmente para manter o pH em 6,5, foram lançadas em 1969, 1971 e 1973 pelo Departamento de Solos da UFRGS (UFRGS, 1968; UFRGS, 1973; UFRGS, 1976). A partir das Tabelas de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes de 1973 foi incluída a decisão de recomendar calcário para elevação do pH até 6, ao invés de 6,5 como era usado até então, como resultado das conclusões do grupo que compunha a ROLAS. Os dados foram apresentados na reunião de 1973, que já contava com a adesão do LAS da EPAGRI de Santa Catarina que ocorreu em 1972, pois o Estado criou o Programa de Melhoramento da Fertilidade do Solo (Operação Fertilidade) liderado pelo Eng. Agrôn. Murilo Pundek, também egresso do CPG/Agronomia/UFRGS. Então, por proximidade e afinidade entre as pessoas, o ano de 1972 marca a união do LAS da Secretaria da Agricultura de Santa Catarina ao grupo de laboratórios e, com isso, os experimentos se ampliaram trazendo mais segurança nas recomendações e vinculando também o uso do sistema de recomendação para os dois Estados. Ainda em 1973 foi implantado o controle de qualidade dos laboratórios pela análise de amostras compartilhadas com todos os LAS para se avaliar a uniformidade dos resultados. A partir de 1973 esses laboratórios se auto

denominaram oficialmente como Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ROLAS), que passou a ser a sigla usada na sua identificação. A então ROLAS foi o embrião para criação do Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NRS/SBCS) em 1989. Em 1994 se iniciou o uso do “selo de qualidade” pelos LAS conferidos pela ROLAS.

Os resultados de pesquisa dos anos 1960/70 permitiram a obtenção de parâmetros para o manejo da acidez e de dois importantes nutrientes às plantas, o P e o K. Por serem absorvidos e relativamente exportados em grande quantidade em relação aos outros nutrientes essenciais extraídos do solo, frequentemente exercem limitações à produtividade das culturas ou são rapidamente exauridos do solo se não houver uma reposição adequada. Esse sistema previa a correção do solo e adubação de manutenção em função da cultura e uma nova avaliação por análise de solos após cinco anos. Essa prática foi largamente adotada porque o Sistema Financeiro (Banco do Brasil) de então que liberava créditos com dois anos de carência e três parcelas para pagamento com juros subsidiados.

Cabe destacar que o sistema de recomendação desenvolvido, embora conectado aos programas de conservação de solos à época, foi montado com uma visão produtivista, sem uma preocupação ambiental relacionada com os níveis dos elementos no solo. O cenário sempre foi de avaliar o potencial produtivo dos solos e obter índices que pudessem orientar tomadas de decisão quanto a aplicação de insumos para o aumento da produtividade das culturas e, conseqüentemente, aumentar a rentabilidade da produção. Neste caso, a análise de solo permite ao usuário do sistema enquadrar a disponibilidade dos nutrientes P e K em classes de fertilidade (ex. muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) em que cada classe corresponde a uma faixa de expectativa de produtividade (Figura 2). Ao mesmo tempo, são definidas doses do nutriente a serem aplicadas que, em um contexto de solos com restrições nestes elementos, visavam inicialmente apenas a correção desta disponibilidade, elevando os teores dos elementos no solo até valores que pudessem ser considerados adequados às culturas (no caso “alto”). Essa é a razão para que as primeiras tabelas e os princípios do sistema de adubação visassem apenas a correção do solo na produção de trigo, soja e milho por serem estas, basicamente, as principais culturas de interesse econômico à época. Cabe destacar que, desde 1972 até 1980, constavam nos boletins e nos laudos com resultados das análises de solo, além das quantidades de nutrientes a serem utilizados, também as fórmulas e suas quantidades para suprir as necessidades, como consta na Tabela 1.

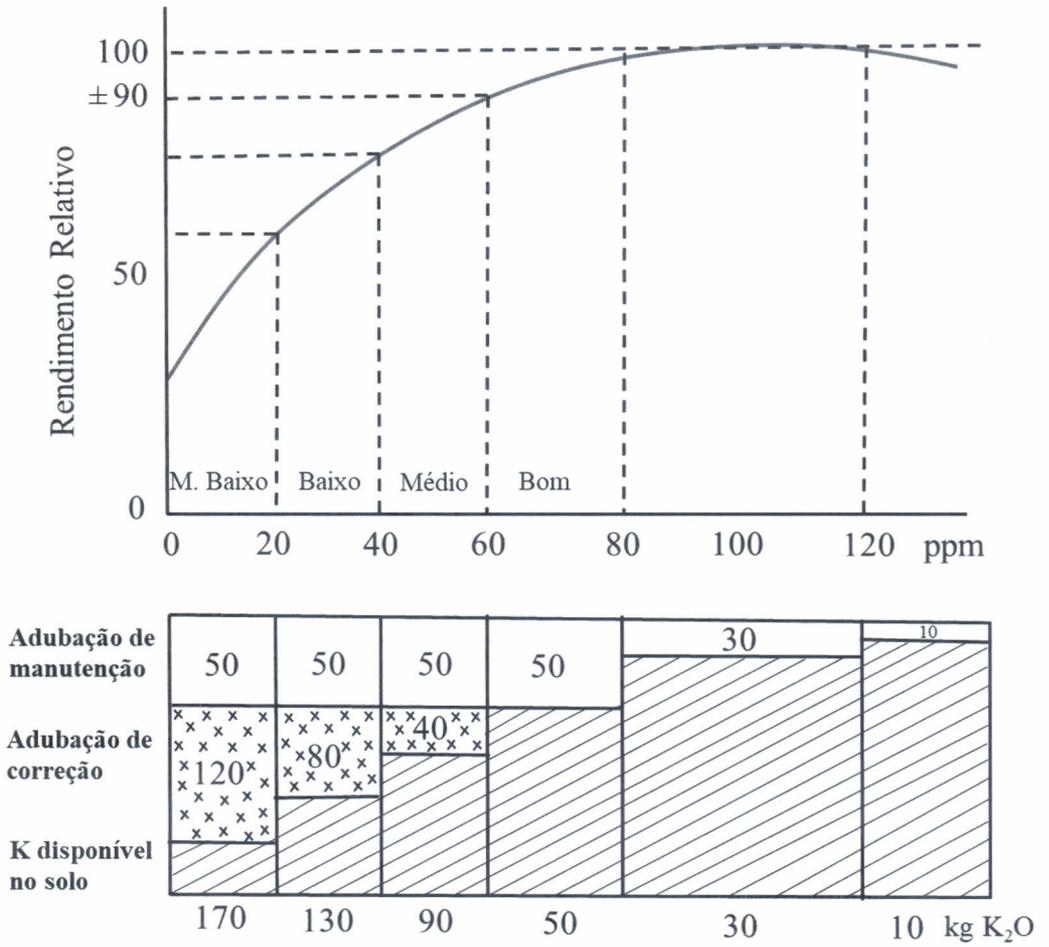


Figura 2. Curva de calibração para potássio com as recomendações de adubação corretiva e manutenção correspondente.

Tabela 1. Tabela das recomendações de correção de P e K adotadas entre 1968 e 1981.

Tabela de recomendações corretivas para fósforo e potássio - 1972

Análise de fósforo (P) - ppm		Análise de Potássio (K) - ppm																			
		Divisão segundo a textura ¹⁾			Muito baixo				Baixo				Médio				Bom				
					0 - 20		21 - 40		41 - 60		+ 60										
		1	2	3	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	Adubo sugerido Fórmula	kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	Adubo sugerido Fórmula	kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	Adubo sugerido Fórmula	kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O kg ha ⁻¹	Adubo sugerido Fórmula	kg ha ⁻¹	
M. Baixo	0 - 3	0 - 6	0 - 10	120	120	0 - 20 - 20	600	120	80	0 - 30 - 20	400	120	40	0 - 30 - 10	400	120	0	0 - 45 - 0	270		
Baixo	3,1 - 6	6,1 - 12	10,1 - 20	80	120	0 - 20 - 30	400	80	80	0 - 20 - 20	400	80	40	0 - 20 - 10	400	80	0	0 - 45 - 0	180		
Médio	6,1 - 9	12,1 - 18	20,1 - 30	40	120	0 - 10 - 30	400	40	80	0 - 10 - 20	400	40	40	0 - 20 - 20	200	40	0	0 - 20 - 0	200		
Boa	+9	+10	+30	0	120	0 - 0 - 60	200	0	80	0 - 0 - 60	130	0	40	0 - 0 - 60	65	0	0	0	0		

¹⁾ a) Usar a coluna 1 quando a análise refere-se a solos argilosos, como por exemplo: Erechim, Vacaria, Bom Jesus, Ciriaco, Charrua e Santo Angêlo.

b) Usar a coluna 2 quando a análise refere-se a solos francos, como por exemplo: Solos de Uruguaiana, Bela Vista, Alto das Canas, São Jerônimo, Santa Maria e pedregal.

c) Usar a coluna 3 quando a análise refere-se a solos arenosos, como por exemplo: Bom Retiro, Cruz Alta, São Pedro, Osório, Itapoã e Tupanciretã.

Com a introdução de outras culturas e novas informações, bem como o envolvimento de várias instituições, acabou sendo natural que a responsabilidade pelo desenvolvimento do sistema passasse então para a ROLAS, que englobava, como representantes das instituições, vários dos mesmos pesquisadores envolvidos com a pesquisa tanto da análise de solo como em resposta a fertilidade para diferentes culturas. Assim, em 1976 foi publicada o que seria uma 5ª versão do Boletim com a inclusão de novas culturas, especialmente hortaliças e frutas, numa edição da Revista Trigo e Soja da Federação das Cooperativas do Rio Grande do Sul, hoje extintas. Posteriormente, um novo cenário econômico nos anos 1980, com o recrudescimento da crise do petróleo e com menor disponibilidade de recursos para investimentos na agricultura, também desestimulava a sistemática de correção total do solo originalmente empregada na criação do sistema. Por isso foram retiradas as fórmulas dos laudos das análises a serem utilizadas, creditando a responsabilidade ao profissional de assistência técnica. Foi publicada nesta época uma 6ª versão, ainda na Revista Trigo e Soja em 1981 (ROLAS-RS/SC, 1981).

Neste novo cenário em que o “Milagre Econômico” brasileiro fazia água, o modelo com adubação corretiva não mais se sustentava pela falta de recursos para o financiamento das operações. Aproveitando esta situação e outros aspectos da época, foi criada uma comissão específica para tratar das mudanças e atualizações das recomendações, inclusive a própria filosofia da recomendação. Essa comissão foi montada em 1983, com membros do CNPT/EMPRAPA, UFPEL, UFRGS e EPAGRI, que deveriam reunir as informações para revisar as recomendações de adubação e calagem. Foram realizadas duas reuniões com o grupo de pesquisadores e técnicos da extensão rural em 1985 e 1986 (I e II Encontro Técnico sobre Adubação e Calagem), o que resultou numa nova proposta de filosofia da adubação, abandonando-se a adubação corretiva total para otimizar o retorno econômico. Nasceu em 1987, então, uma 7ª edição do Manual com muitas mudanças: revisaram-se os níveis críticos de P e K; introduziram-se mais faixas de textura para a interpretação dos resultados; a correção do solo se incorporaria na adubação anual; e a análise deveria ser repetida a cada três anos ao invés dos cinco anteriores (Siqueira et al., 1987). Sob encargo dessa comissão foi publicada em 1989 a 8ª versão das recomendações, em uma reimpressão com poucas modificações (CFS-RS/SC, 1989).

Nessa oportunidade de discussão das recomendações foi gestada a criação em 1989 de um Núcleo Regional Sul da SBCS, reunindo os pesquisadores de Ciência do Solo que atuam no RS e SC, reforçando a ideia de que as recomendações de calagem e adubação estariam vinculadas a uma Comissão de Química e Fertilidade do Solo, braço técnico do NRS, tratando das atualizações e modificações nas

recomendações de adubação nas versões posteriores até a de 2016.

Mesmo com atualizações recentes, o final dos anos 1980 e, principalmente, o início dos anos 1990 marcam uma grande expansão do sistema plantio direto no Sul do Brasil. Este novo sistema, calcado na não mobilização do solo, produz efeitos diretos sobre o sistema de recomendação, que foi totalmente estabelecido no sistema convencional; portanto, com operações de preparo do solo para cada cultivo. A calagem, que prevê a incorporação do calcário na camada arável, gerava dúvidas para quem adotou o sistema plantio direto. Deixar de aplicar calcário, aplicar tudo na superfície sem incorporação ou usar doses fracionadas foram opções dos agricultores. A criação de um gradiente de fertilidade com maiores teores de MOS e nutrientes na superfície também instigaram dúvidas quando a amostragem do solo, que era estabelecida na camada de 0-20 cm por ser esta a camada mobilizada com as operações de preparo do solo no sistema convencional. Surgem então a versão de 1994 (CFS-RS/SC, 1994) que cita o gradiente vertical, mas praticamente não interfere nas recomendações. Entretanto, os anos 1990 foram de muitos experimentos e estudos para adequar o sistema de recomendações ao SPD, com destaque para a versão de 2004, na forma de um Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e de SC (CQFS-RS/SC, 2004), que introduz sistemáticas diferentes para a calagem em função dos sistemas de cultivo e amostragem em camadas diagnósticas específicas diferentes entre os sistemas de recomendação.

Passados os primeiros 40 anos desde a oferta do sistema de recomendação (meados dos anos 1960 até meados dos anos 2010), a agricultura nos Estados do Sul e no Brasil como um todo e, conseqüentemente, a produção de alimentos evoluiu muito, especialmente pela expansão das áreas cultivadas no Cerrado Brasileiro. A intensificação da produção, com uso de novas variedades, máquinas mais potentes e sofisticadas, outras práticas culturais, aliado com o aumento na oferta de insumos (de novas opções de fertilizantes a agrotóxicos), ao mesmo tempo que permitiu aumento da produtividade de forma substancial para a maioria das culturas, também aumentou a pressão sobre o ambiente. Aplicações sucessivas ou desmedidas de insumos, sem atendimento às recomendações técnicas, são exemplos de situações onde o solo poderá ser afetado sob o ponto de vista negativo.

Essa problemática relativamente recente passa a ser incorporada pelas pesquisas com fertilidade do solo e nutrição de plantas no final do século XX, mas mais intensamente a partir dos anos 2000, pois ao mesmo tempo que é necessário superar as limitações dos solos que apresentam deficiência em nutrientes, pode ser necessário manejar adequadamente solos que podem apresentar níveis de nutrientes capazes de causar toxidez ou mesmo que favorecer sua transferência para os recursos

hídricos, ampliando os riscos de contaminação do ambiente. Definir métodos que possam identificar estas situações e também estabelecer níveis que possam ser interpretados sob a ótica ambiental passa a ser um novo desafio da pesquisa em fertilidade do solo. Um exemplo é o estabelecimento do nível crítico ambiental para P desenvolvido para o Estado de SC (Gatiboni et al., 2015). Esta nova concepção foi empregada pela última versão do sistema de recomendação de calagem e adubação para os Estados do RS e de SC apresentada em 2016, com a introdução, pela primeira vez, de um capítulo relacionando a calagem e a adubação com a qualidade ambiental (CQFS-RS/SC, 2016). Mesmo que ainda incipiente sob o ponto de vista das recomendações em si, a discussão sobre a contaminação ambiental é um marco temporal que evidencia a necessidade de desenvolvimento de informações sobre esse tema.

3. Contaminação de solos em áreas cultivadas com frutíferas no Sul do Brasil e potencial de toxidez de metais pesados em plantas

3.1. Relatos da contaminação de solos em vinhedos e frutíferas no Sul do Brasil

O uso contínuo e desregrado da calda bordalesa e de outros fungicidas que possuem Cu na composição em videiras causou o aumento dos teores do metal pesado em vinhedos ao longo dos anos, como aqueles localizados na região Sul do Brasil. Isso começou a ser observado em análises de solo que inicialmente possuíam a finalidade de monitorar a disponibilidade de nutrientes, especialmente P e K em vinhedos. O incremento dos teores de Cu disponível extraídos por Mehlich-1 e HCl 1 mol L⁻¹, por exemplo, começou a ser associado, de forma empírica, ao aparecimento de sintomatologias de excesso ou deficiências de nutrientes em espécies de plantas de cobertura do solo, como a aveia preta, inicialmente em vinhedos na Serra Gaúcha (RS) e até mais recentemente verificados em regiões vitícolas de outros estados, como de SC (Figura 3 a, b).

Normalmente, as espécies de plantas de cobertura, como a aveia preta, apresentam folhas com coloração mais amarelada, o que inicialmente se associou a toxidez de Cu. Entretanto, mais recentemente, isso foi associado também a deficiência de ferro (Fe), o que será discutido mais detalhadamente no capítulo 5. Além disso, a aveia preta apresentava lento crescimento e baixa produtividade de matéria seca, reduzindo a proteção dos solos dos vinhedos e ciclagem de nutrientes, o que é indesejado, especialmente, em solos com relevo acidentado, como aqueles da Serra Gaúcha. Porém, alguns técnicos e viticultores também associavam as sintomatologias e a baixa produção de matéria seca de espécies de plantas de cobertura em vinhedos

com as condições climáticas desfavoráveis. Ao passar dos anos, vinhedos antigos começaram a ser erradicados por causa da diminuição da produção de uvas. Os solos eram revolvidos para a incorporação do corretivo da acidez e de fertilizantes.



Figura 3. Sintomatologia de toxidez de Cu e deficiência de Fe (a) em aveia preta cultivadas no interior de vinhedo na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul e (b) em vinhedo em Caçador (SC). Fonte: Melo, G.W. (Foto a); Hanh, L. (Foto b).

Porém, em vinhedos que possuíam altos teores de Cu disponível, as videiras transplantadas apresentavam lento crescimento e até sintomatologias de deficiência ou excesso de nutrientes. Posteriormente, isso também começou a ser observado em solos arenosos cultivados com vinhedos da região da Campanha Gaúcha (RS), onde os vinhedos eram mais jovens, mas também possuíam elevados teores de Cu, embora os valores eram menores que aqueles observados nos solos de vinhedos da região da Serra Gaúcha.

A partir destas observações, pesquisadores e professores vinculados a centros de pesquisa e Universidades do RS, começaram a verificar se esses mesmos problemas já tinham sido reportados com intensidade em outros tradicionais países produtores de uva no Mundo. Estudos realizados na França, Itália e outros países, reportaram aumento dos teores de Cu em solos de vinhedos e, em alguns poucos casos, sintomatologia de excesso/deficiência de nutrientes em espécies de plantas de cobertura ou mesmo em videiras jovens. Porém, em muitos destes estudos, os solos possuíam elevados valores de pH, o que diminui a biodisponibilidade de Cu, seja por causa do aumento da adsorção do íon ou mesmo pela formação de espécies químicas que complexam parte do Cu na solução, diminuindo a percentagem de Cu^{+2} que normalmente está associada a toxidez em plantas, tema que será abordado no capítulo 3. Como os solos de vinhedos da região Sul possuem valores de pH ácidos, o que favorece a biodisponibilidade de Cu e o seu potencial de toxidez em

plantas, explica, em parte, o que estava sendo observado à campo no Brasil.

Aliado ao aumento da disponibilidade de Cu, surgiram outras preocupações, tais como saber se parte do Cu presente em solos poderia ser acumulado nas bagas, incrementando os teores no mosto, por consequência, no suco e até no vinho. Caso isso acontecesse, o Cu poderia ingressar na cadeia alimentar, causando danos à saúde humana. Também surgiram preocupações com os relatos de viticultores de que as ovelhas que pastejavam no interior dos vinhedos também apresentavam sintomas de toxidez, o que era associado ao excesso de Cu no solo, nas plantas e, por consequência, no organismo dos animais. Mais recentemente, foi documentado no Sul do Brasil que ovelhas que ingeriram silagem produzida a partir de plantas de milho e mosto de uva apresentavam sintomas de toxidez de Cu em órgãos e muitas morreram (Flores et al., 2020). Assim, vários estudos foram iniciados na região Sul do Brasil neste século para, inicialmente, diagnosticar os teores de Cu em vinhedos, verificar a susceptibilidade das plantas ao excesso do metal pesado, mas também, estratégias para diminuir a disponibilidade de Cu e o seu potencial de toxidez em plantas e contaminação no ambiente.

3.2. Evolução de estudos para diagnosticar a contaminação em solos e toxidez em plantas

Em torno de 2000 amostras de solos foram coletadas em inúmeros vinhedos na região da Serra Gaúcha do RS para se estabelecer um diagnóstico robusto dos reais teores de Cu no solo. Resultados publicados evidenciaram que os teores de Cu em vinhedos eram muito superiores aos teores naturais observados em solos de florestas. Alguns estudos mostraram que 37% das amostras de solos coletadas em vinhedos na Serra Gaúcha apresentavam teores de Cu maiores que 50 mg Cu kg^{-1} , que em alguns solos já causavam toxidez em videiras jovens quando cultivadas em condições controladas em casa de vegetação (Melo et al., 2013; Melo & Zalameña, 2016).

Amostras de solos em vinhedos com diferentes idades e, por consequência, com distinto número e quantidades de Cu aplicadas, foram submetidas ao fracionamento químico de Cu para verificar a distribuição das suas formas químicas. As diferentes formas podem explicar melhor o comportamento do elemento associado à toxicidade às plantas, mas também o potencial de transferência do elemento às águas, especialmente, aquelas adjacentes aos vinhedos. Assim, um dos primeiros estudos publicados com o tema no Brasil foi de Casali et al. (2008). O referido estudo foi realizado no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da UFSM, com a colaboração de pesquisadores da Embrapa Uva e Vinho de Bento Gonçalves (RS). Seus resultados indicam que a maior parte do Cu presente nos

solos de vinhedos estava complexado na matéria orgânica do solo, entretanto, uma porção considerável estava adsorvida na fração argila ou permanência na fração residual não extraída pelo método de fracionamento.

Estes resultados permitiram inferir que, em solos com maiores teores de argila e matéria orgânica, o potencial de toxidez de Cu às plantas seria menor, bem como o potencial de transferência aos recursos hídricos. Porém, práticas de manejo de solo, como o revolvimento, poderia potencializar a mineralização da matéria orgânica, aumentando a disponibilidade de Cu às plantas, o que já poderia ser uma das explicações, mesmo que muito preliminar, da baixa taxa de crescimento de videiras jovens implantadas em solos de vinhedos erradicados. Paralelamente, outros estudantes e professores vinculados ao PPGCS da UFSM se dedicaram, com maior atenção, ao aumento dos teores de Cu e Zn em solos com longo histórico de aplicação de dejetos de suínos na região Sul do Brasil, uma vez que a literatura apontava que os dejetos poderiam possuir também metais pesados derivados, especialmente, da ração (Mattias et al., 2010; Giroto et al., 2010; Basso et al., 2012).

Alguns anos depois, grupos de pesquisas vinculados ao PPGCS da UFSM, ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas (PGA) da UFSC, da Embrapa Uva e Vinho, com ativo envolvimento de pesquisadores de outras Instituições do Brasil e do Exterior, e com o apoio de vinícolas e agências de fomento estadual e nacional, coordenaram uma série de projetos sobre o diagnóstico de Cu em solos de vinhedos nos estados do RS e SC. Convém destacar que, ao longo dos anos, também se observou aumento da frequência de aplicações de fungicidas que possuíam Zn na composição e, por isso, este também passou a ser um metal pesado monitorado nos diagnósticos. Assim, amostras de solos de vinhedos da Serra Gaúcha, Campanha Gaúcha, Planalto Serrano de SC e região Sul de SC foram coletadas e submetidas a extração de Cu e Zn, por métodos de análises e métodos de fracionamento químico (Giroto, 2010; Miotto, 2012; Miotto et al., 2013; Giroto et al., 2014; Brunetto et al., 2014a; 2014b; Couto et al., 2014; Miotto et al., 2017; Brunetto et al., 2017; Morais, 2020).

Os estudos, de maneira geral, reforçaram os dados inicialmente obtidos por Casali et al. (2008), mas com maior grau de detalhamento. Ao contrário do Cu, o Zn estava mais presente na fração mineral e menos na fração orgânica. Essa diferença será discutida de forma detalhada no capítulo 3. Convém destacar que, ao longo do tempo, o monitoramento dos teores de Cu e Zn também passaram a ser realizados em pomares de macieira (Brunetto et al., 2018), onde também, como os vinhedos, os teores dos dois elementos eram maiores que as áreas não cultivadas (floresta e campo natural), sendo a proporção da distribuição das frações de Cu e Zn similares aos vinhedos embora os teores eram dependentes da idade do pomar. Assim, pomares

e vinhedos mais antigos, apresentavam maiores teores de Cu e Zn em todas as frações.

Em muitos estudos sobre as formas de Cu e Zn também foram apresentados resultados sobre a capacidade de adsorção de Cu e Zn em solos. As capacidades de adsorção de Cu e Zn era menores nas camadas superficiais dos solos de vinhedos, especialmente, naqueles com maior idade, o que potencializa a transferência dos elementos adicionados (Morais, 2020). Paralelo aos estudos de diagnóstico, estudos em condições controladas, como em casa de vegetação, foram realizados para avaliar quais sintomas e mecanismos de tolerância/resistência as espécies de plantas de cobertura e videiras apresentavam quando cultivadas em amostras de solo deformadas e indeformadas (Miotto et al., 2013; Giroto et al., 2014, 2016; Brunetto et al., 2016; Tiecher et al., 2016a, 2016b, 2017, 2018; De Conti et al., 2018a, 2018b, 2019, 2020; Ambrosini et al., 2015, 2016, 2018; Trentin et al., 2019).

Os primeiros estudos foram realizados especialmente com a aveia preta, pois era uma das plantas de cobertura normalmente usada em vinhedos na região Sul do Brasil. Resultados preliminares obtidos por Santos et al. (2004) mostraram drástica diminuição no crescimento e desenvolvimento de aveia preta cultivadas em solos com aumento dos teores de Cu. Em seguida, uma sequência de estudos foram realizados com aveia preta, videiras jovens e até milho, entre outras espécies, em diferentes tipos de solo (exemplo, com diferentes teores de matéria orgânica, argila, pH, etc.) e teores de Cu e de Zn. Em estudo com plantas de aveia preta cultivadas em solos com crescentes concentrações de Cu coletados nas regiões da Campanha e Serra Gaúcha, Giroto (2010) demonstrou o efeito prejudicial do excesso de Cu sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (Figura 4). Em algumas situações, os solos possuíam os teores dos dois metais pesados verificados em vinhedos e, em alguns casos, os teores eram construídos através de incubação em condições controladas. Em geral, os estudos mostraram diminuição da produção de raízes e parte aérea de espécies como aveia preta, videira e milho, com o aumento das doses dos dois metais e, por consequência, dos seus teores disponíveis (Melo et al., 2008; Andreatza et al., 2013; Oliveira et al., 2013; Guimarães et al., 2016; Ambrosini et al., 2018; Comin et al., 2018; Tiecher et al., 2018).

Ao longo dos anos, com a interação maior de pesquisadores com diferentes expertises como a química e fertilidade do solo, a fisiologia vegetal, a bioquímica, a anatomia vegetal, entre outros, outros efeitos negativos nas plantas que o excesso de Cu poderia causar passaram a ser estudados mais detalhadamente nas plantas. Estudos mostraram que o excesso de Cu no solo causava a diminuição de variáveis

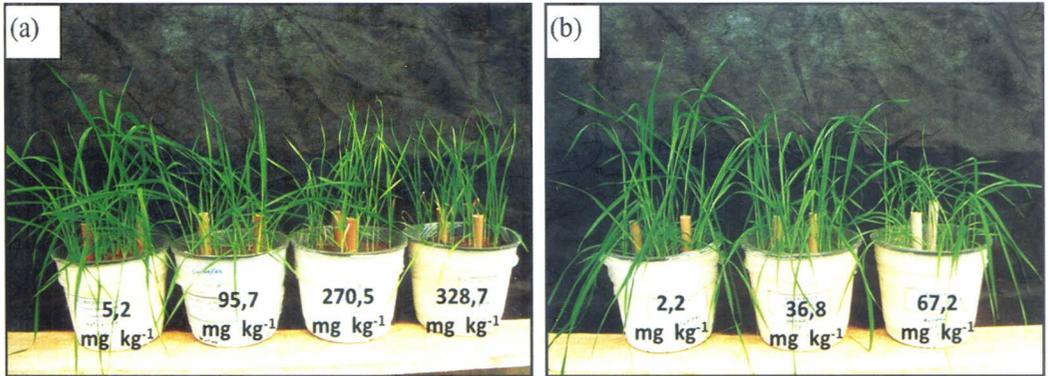


Figura 4. Plantas de aveia preta cultivadas em amostras de solos coletadas em vinhedos da região da Serra Gaúcha com teores crescentes de Cu-EDTA (5,2; 95,7; 270,5 e 328,7 mg kg^{-1} de Cu) (a) e em solos da Campanha Gaúcha (2,2; 36,8 e 67,2 mg kg^{-1} de Cu) (b). Fonte: Giroto E. (2010).

morfológicas do sistema radicular, como comprimento de raízes, volume e áreas superficial, mas com aumento do diâmetro de raízes (Guimarães et al., 2016; Ambrosini et al., 2015; Tiecher et al., 2018), incluindo modificações anatômicas indesejáveis nas raízes. Com isso, menor volume de solo poderia ser explorado pelas raízes das plantas, reduzindo a probabilidade de absorção de água e nutrientes, o que não é o desejado. Mais detalhes destes efeitos nas plantas poderão ser obtidos no capítulo 8.

O excesso de Cu causa alteração de variáveis fisiológicas na parte aérea de várias espécies de plantas de cobertura e videiras, com destaque para diminuição dos teores de clorofila em folhas, bem como alteração de variáveis relacionadas a taxa fotossintética (Giroto et al.; 2016; Tiecher et al., 2016b, 2017, 2018; De Conti et al., 2018a; Trentin et al., 2019). Os estudos passaram a mostrar modificação nas atividades de enzimas em órgãos de espécies de plantas, como aquelas relacionadas ao estresse oxidativo (exemplo, superóxido desmutases, catalases, peroxidases) (Tiecher et al., 2016a, 2016b, 2017, 2018). Estes tópicos serão discutidos nos capítulos 9 e 10.

Convém destacar que, ao longo dos anos, os estudos começaram a verificar o impacto do excesso de Cu e Zn em espécies nativas do Bioma Pampa, especialmente, em gramíneas. Isso porque, os pesquisadores-professores, em visitas à vinhedos na região da Campanha Gaúcha do RS, observaram que várias das espécies nativas cresciam satisfatoriamente nos solos com altos teores de Cu. Assim, diagnósticos da composição botânica passaram a ser realizados em vinhedos da Serra Gaúcha e na Campanha Gaúcha e os estudos mostraram que o aumento dos teores de Cu em solos estimulava o predomínio de algumas espécies, em detrimento

de outras (Silva et al., 2020). Esses resultados estimularam o início de estudos sobre os mecanismos de tolerância/resistência que estas espécies do Bioma Pampa poderiam possuir para se adaptar aos solos com elevados teores de Cu e Zn e, também, diminuir a disponibilidade dos dois metais pesados às videiras.

Após os estudos em casa de vegetação, videiras a campo passaram a ser monitoradas para verificar o real impacto do excesso de Cu em videiras adultas (Miotto et al., 2013; Miotto et al., 2017). Resultados mostraram que videiras em produção, em algumas situações, apresentaram estresse oxidativo quando cultivadas em solo com altos teores de Cu. Porém, continuavam a produzir uvas, com qualidade adequada. Esses resultados estimularam outros estudos que passaram a observar quais os mecanismos que as videiras adultas possuíam para diminuir o potencial de toxidez do Cu e mesmo do Zn. Ao longo do presente livro, vários capítulos detalham estas informações, mostrando que plantas, sejam as videiras em produção, porque possuem maior volume de raízes, mas também as videiras jovens e as espécies de plantas de cobertura, podem exsudar ácidos orgânicos, incrementando o carbono orgânico solúvel (De Conti et al., 2018b; 2019; 2020) e os valores de pH na solução do solo. Estes fenômenos podem ajudar na complexação de Cu e Zn, potencializando a precipitação, o que diminui o potencial de toxidez às plantas das suas formas livres na solução (Trentin et al., 2019; De Conti et al., 2018b; 2019; 2020).

Adicionalmente, as plantas podem compartimentalizar o Cu e o Zn no sistema radicular, que tem sido o órgão que retém as maiores quantidades de Cu nas mais diferentes espécies. Isso é desejado porque diminui o transporte para a parte aérea. Entretanto, convém destacar que as estratégias de modificações no solo rizosférico pelas plantas para diminuir a disponibilidade de Cu e Zn podem solubilizar compostos insolúveis de Mn, que quando na solução pode ser absorvido pelas plantas, potencializando a sintomatologia de toxidez de Cu e Zn. Isso foi recentemente relatado por Trentin et al. (2019). Todos esses tópicos serão mais bem detalhados capítulos 5 e 7.

A partir da obtenção dos resultados sobre diagnóstico de Cu e Zn no solo e de toxidez em espécies vegetais, surgiu a necessidade da realização de estudos sobre possíveis práticas/estratégias para reduzir a disponibilidade de Cu e Zn em solos, por consequência, o potencial de toxidez e de contaminação.

3.3. Evolução de estudos para diminuir a disponibilidade e toxidez de metais pesados em videiras e plantas de cobertura

Com o intuito de diminuir a disponibilidade de Cu e Zn em solos e amenizar

a sua toxidez às plantas, foram avaliados potenciais amenizantes como o calcário, resíduos orgânicos e a adição de outros nutrientes. Resultados mostraram que aplicações de calcário no solo aumentavam os valores de pH no solo e na solução, aumentando a capacidade de troca de cátions (CTC), o que potencializa a adsorção de Cu e Zn; mas também, aumentavam a complexação e, por consequência, precipitação de Cu e Zn, diminuindo a toxidez (Melo et al., 2013; Ambrosini et al., 2017; Trentin et al., 2019). Entretanto, esta prática é limitada a solos que precisam de correção, tendo em vista os valores de pH recomendados para a cultura.

Outra prática que também passou a ser avaliada em estudos para mitigar a toxidez de Cu às plantas de cobertura e mesmo videiras foi o uso de resíduos orgânicos, como composto orgânico, vermicomposto, etc. (Melo et al., 2015; Krug et al. 2017; Trentin et al., 2019) (Figura 5). Os resultados foram animadores porque foi observado incremento dos teores de carbono orgânico total em solos, aliado a complexação de Cu pela fase sólida, bem como sua complexação na solução do solo por ácidos orgânicos derivadas da sua mineralização (Trentin et al., 2019). Adicionalmente, os resíduos orgânicos são fonte de nutrientes como N, P, K, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e podem minimizar os efeitos deletérios da toxidez pelo metal. Porém, alguns estudos mostraram que o efeito positivo da adição do composto

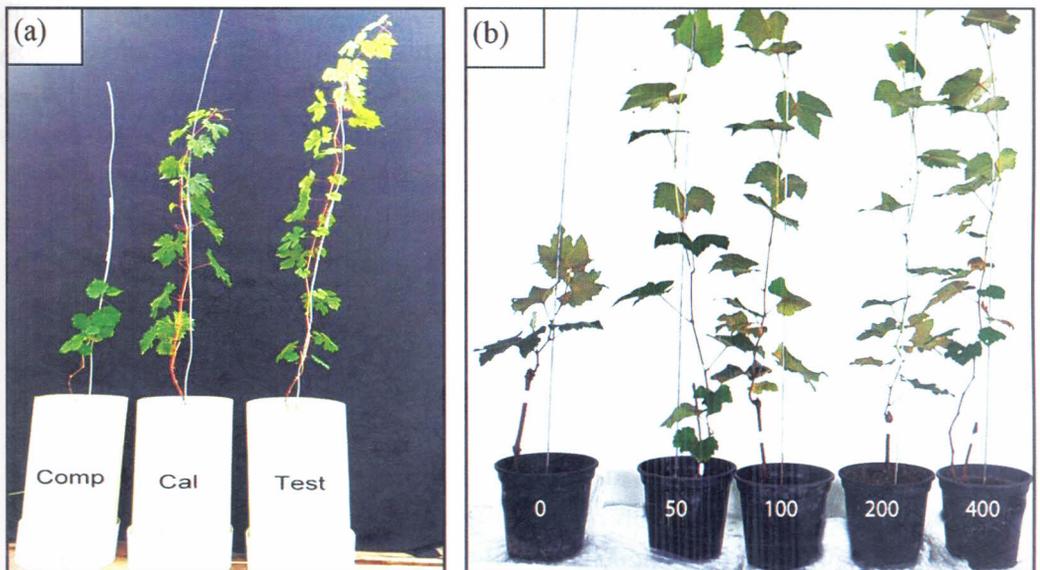


Figura 5. Imagem de plantas de videira Paulsen 1103, cultivadas em solo com alta concentração de Cu ($122,39 \text{ mg kg}^{-1}$, extraído por Mehlich-1) e adição de composto orgânico (comp) e calcário (cal) como amenizantes, e um tratamento testemunha (test) sem adição de amenizantes (a). Fonte: Trentin et al. (2019). Videira jovens crescidas em solo Argissolo com 100 mg kg^{-1} de Cu e doses crescentes de composto orgânico (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha^{-1}) (b). Fonte: Melo, G.W.

orgânico na redução da disponibilidade de Cu pode não ser duradouro, dependendo da sua caracterização química e do tempo em que contribui para a geração e permanência de compostos orgânicos no solo (Trentin et al., 2019). Quando os compostos orgânicos são mineralizados, o Cu novamente passa a ser disponível e pode causar toxidez às plantas.

A adubação fosfatada também passou a ser estudada como estratégia para diminuir a toxidez de Cu às plantas. Alguns estudos mostraram incremento do sistema radicular de plantas submetidas a adubação fosfatada, o que aumentou a retenção de Cu nas raízes, diminuindo o seu transporte até a parte aérea, o que pode ser desejado. Posteriormente, estudos ainda não totalmente finalizados, considerando as espécies cultivadas na região Sul do Brasil, estão mostrando a possibilidade da complexação de P e Cu no sistema radicular. Isso é interessante, pois o P já é um nutriente adicionado nas adubações de plantio e produção. Porém, a demanda será definir quais os teores podem suprir a demanda, por exemplo, da videira, mas também que poderá diminuir o potencial de toxidez de Cu, já que o excesso de P no solo também pode trazer consequências indesejáveis (Gatiboni et al., 2015). O uso de amenizantes será discutido mais detalhadamente no capítulo 12.

Por fim, os grupos de pesquisa passaram a avaliar a capacidade de espécies de plantas de cobertura, cultivadas e nativas, como aquelas do Bioma Pampa, em absorver, acumular e transportar Cu e Zn. Estudos estão sendo desenvolvidos utilizando plantas de cobertura cultivadas, como a aveia-preta (Figura 6 d) e plantas nativas do Bioma Pampa (Figura 6 a, b, c) no intuito de verificar as respostas destas plantas ao excesso de Cu disponível no solo para posteriormente serem utilizadas em cultivos consorciados com plantas de interesse comercial, como as videiras (Figura 7), onde é possível observar grande potencial de fitorremediação. Maiores informações sobre estudos desenvolvidos com fitorremediação de metais pesados podem ser encontrados no capítulo 11 deste livro. Incluíram-se estudos avaliando a capacidade de fitoproteção de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em videiras jovens, inicialmente, em casa de vegetação e, posteriormente, à campo. Resultados mostraram que em videiras jovens inoculadas com FMA, boa parte do Cu permanece nas raízes. Porém, à campo, isso nem sempre é observado, especialmente, porque a eficiência de inoculação é muito baixa. Estes tópicos serão discutidos detalhadamente no capítulo 13.

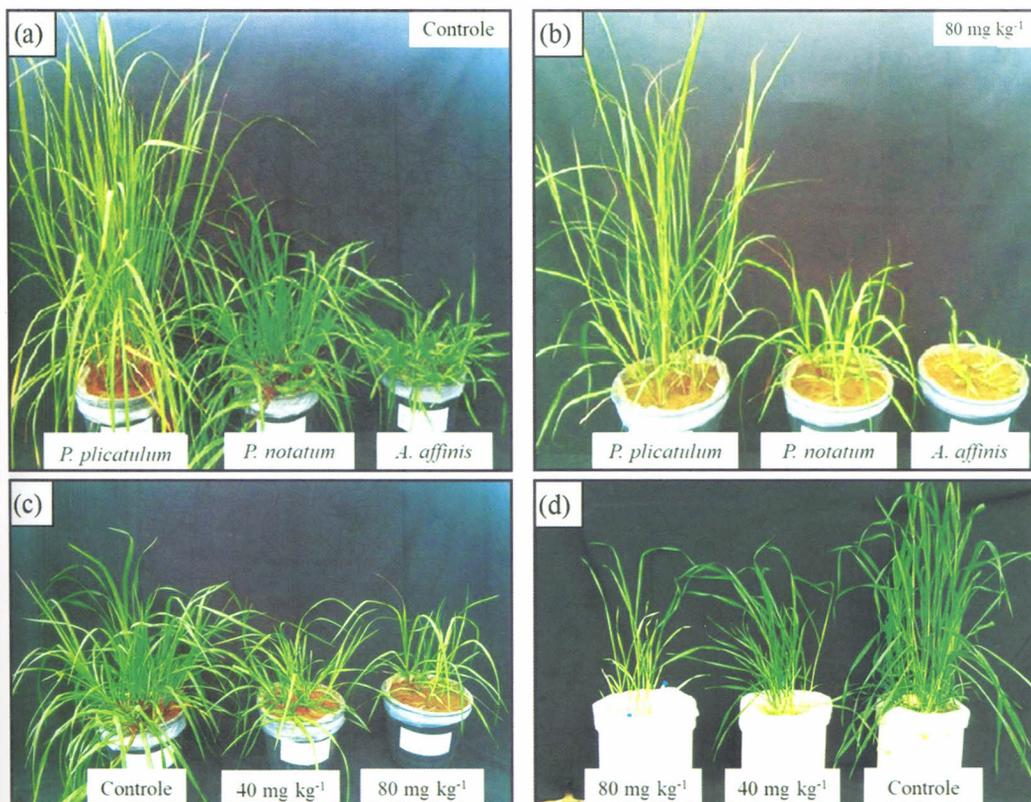


Figura 6. *Paspalum plicatulum*, *Paspalum notatum* e *Axonopus affinis* cultivadas em solo teor natural de Cu (a) e no solo com adição de 80 mg Cu kg⁻¹(b). Fonte: De Conti (2018). Plantas de *Paspalum plicatulum* (c) e aveia preta (d) cultivadas em solo com diferentes concentrações de Cu (0; 40 e 80 mg kg⁻¹). Fonte: De Conti, L. (2018).

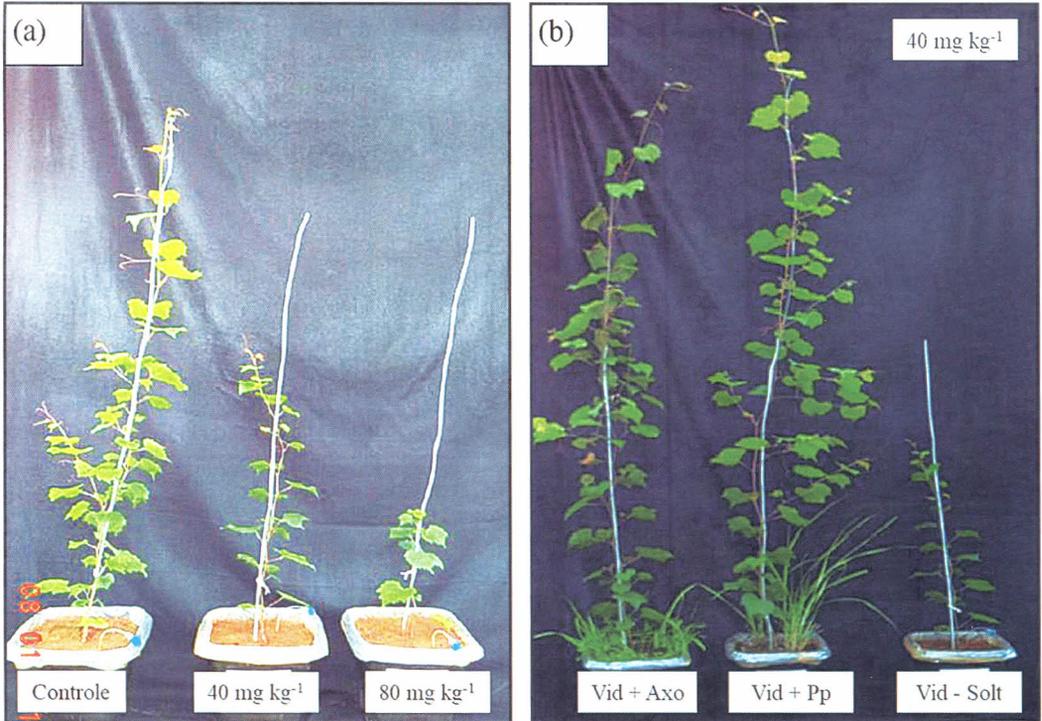


Figura 7. Imagem de plantas de videira Paulsen 1103, cultivadas em solo diferentes concentrações de Cu (0; 40 e 80 mg kg⁻¹) (a). Fonte: De Conti (2018). Plantas de videiras cultivadas em solo com 40 mg kg⁻¹ e a presença de plantas de cobertura nativas do Bioma Pampa (Vid+Axo = Videira + *Axonopus affinis*; Vid+Pp = Videira + *Paspalum plicatulum*; Vid-solt = Videira + solteira) (b). Fonte: De Conti, L. (2018).

4. Considerações finais

Os sistemas de recomendação de calagem e adubação evoluíram ao longo dos anos e passaram a estabelecer a necessidade e doses de nutrientes de forma mais adequada às plantas, mas na maioria dos casos, visando aumento de produtividade das culturas. Porém, ainda são carentes as informações sobre as relações entre teores de nutrientes em solos e a qualidade ambiental ou mesmo composição adequada de partes das plantas que podem ser inseridas na cadeia alimentar humana ou animal.

Muitas vezes, as informações contidas em sistemas de recomendação não são usadas adequadamente e, incluindo o uso inadequado dos insumos agrícolas, aumenta o potencial de contaminação de solos, águas e toxidez em espécies vegetais, como aquelas presentes em pomares e vinhedos. Isto frequentemente acontece quando são usadas doses excessivas de fertilizantes, como resíduos orgânicos ou mesmo frequentes aplicações de fungicidas foliares, que acarretam em aumentos dos teores

de alguns elementos em solos de pomares e vinhedos. Isso, ao longo das últimas décadas, potencializou a toxidez em plantas, como aquelas provocadas por Cu e Zn em excesso no solo. Sintomas, mecanismos ou estratégias de defesa em plantas já foram estudados e melhor compreendidos, mas outros estudos ainda precisam ser realizados para a definição e o estabelecimento das estratégias mais eficientes para o correto diagnóstico e a diminuição da disponibilidade e toxidez em plantas.

5. Referências bibliográficas

- Ambrosini, V.G.; Rosa, D.J.; Prado, J.P.C.; Borghezán, M.; Melo, G.W.B.; Soares, C.R.F.S.; Comin, J.J.; Simão, D.G.; Brunetto, G., 2015. Reduction of copper phytotoxicity by liming: a study of the root anatomy of young vines (*Vitis labrusca* L.). **Plant Physiology and Biochemistry** (Paris), v. 96, p. 270-280.
- Ambrosini, V.G.; Rosa, D.D.J.; Basso, A.; Borghezán, M.; Pescador, R.; Miotto, A.; Melo, G.W.B.; Soares, C.R.F.S.; Comin, J.J.; Brunetto, G., 2016. Liming as an ameliorator of copper toxicity in Black Oat (*Avena strigosa*). **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 404-416.
- Ambrosini, V.G.; Rosa, D.D.J.; Zalameña, J.; Melo, G.W.B.; Cella, C.; Simão, D.G.; Silva, L.S.; Santos, H.P.; Tiecher, T.L.; Toselli, M.; Brunetto, G., 2018. High copper content in vineyard soils promotes modifications in photosynthetic parameters and morphological changes in the root system of 'Red Niagara' plantlets. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 128, p. 89-98.
- Andreazza, R.; Camargo, F.A.O.; Antonioli, Z.I.; Quadro, M.S.; Barcelos, A.A., 2013. Biorremediação de áreas contaminadas com cobre. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, Portugal, v. 36, n. 2, p. 127-136.
- Basso, C.J.; Ceretta, C.A.; Flores, E.M.M.; Giroto, E., 2012. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, p.653-659.
- Brunetto, G.; Miotto, A.; Ceretta, C.A.; Schmitt, D.E.; Heinzen, J.; De Moraes, M.P.; Canton, L.; Tiecher, T.L.; Comin, J.J.; Giroto, E., 2014a. Mobility of copper and zinc fractions in fungicide-amended vineyard sandy soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, p. 609-624.
- Brunetto, G.; Schmitt, D.E.; Comin, J.J.; Miotto, A.; Moraes, M.P.; Heinzen, J., 2014b. Frações de cobre e zinco em solos de vinhedos no Meio Oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Impresso), v. 18, p. 805-810.
- Brunetto, G.; Melo, G.W.B.; Terzano, R.; Buono, D.; Astolfi, S.; Tomasi, N.; Pii, Y.; Mimmo, T.; Cesco, S., 2016. Copper accumulation in vineyard soils: Rhizosphere processes and agronomic practices to limit its toxicity. **Chemosphere** (Oxford), v. 162, p. 293-307.
- Brunetto, G.; Comin, J.J.; Miotto, A.; Schmitt, D.E.; Moraes, M.P.; Sete, P.B.; Gatiboni, L.C.; Melo, G.W.B.; Moraes, G.P., 2017. Copper and zinc accumulation, fractionation, and migration in vineyard soils from Santa Catarina State, Brazil. **Bragantia** (São Paulo), v. 1, p. 1-11.
- Brunetto, G.; Benedett, L.; Ambrosini, V.G.; Comin, J.J.; Melo, G.W.B.; Santos, M. A.; Lourenzi, C.R.; Loss, A.; Belli Filho, P.; Schmitt, D.E.; Couto, R.R., 2018. Copper and zinc fractions in the

profile of an Inceptisol cultivated with apple in southern Brazil. **Bragantia**, v. 1, p. 1-15.

Casali, C.A.; Moterle, D.F.; Rheinheimer, D.S.; Brunetto, G.; Corcini, A.L.M.; Kaminski, J.; Melo, G.W.B., 2008. Copper forms and desorption in soils under grapevine in the Serra Gaúcha of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, Brasil, v. 32, n. 4.

CFS-RS/SC (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC), 1989. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2 ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul/EMBRAPA-CNPT, 128p.

CFS-RS/SC (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC), 1994. **Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3 ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul/EMBRAPA-CNPT, 224p.

CQFS-RS/SC (Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC), 2004. **Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS-Núcleo Regional Sul, 400p.

CQFS-RS/SC, 2016. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 376 p.

Comin, J.J.; Basso, A.; Ambrosini, V.G.; Rosa, D.J.; Loss, A.; Melo, G.W.B.; Lovato, P.E.; Lourenzi, C.R.; Brunetto, G., 2018. Liming as a means of reducing copper toxicity in black oats. **Ciência Rural**, v. 48, p. 1-8.

Couto, R.R.; Benedet, L.; Comin, J.J.; Belli Filho, P.; Martins, S.R.; Gatiboni, L.C.; Radetski, M., 2014. Accumulation of copper and zinc fractions in vineyard soil in the mid-western region of Santa Catarina, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 10, p. 6379–6386.

De Conti, L., 2018. Plantas de cobertura do solo e videiras: toxidez, fitorremediação e mecanismos de tolerância ao excesso de cobre. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

De Conti, L.; Melo, G.W.B.; Tarouco, C.P.; Marques, A.C.R.; Nicoloso, F.T.; Tassinari, A.; Tiecher, T.L.; Cesco, S.; Mimmo, T.; Brunetto, G., 2018a. Photosynthesis and growth of young grapevines intercropped with native grasses in soils contaminated with copper. **Acta Horticulturae**, v. 1217, p. 179-184.

De Conti, L.; Ceretta, C.A.; Tiecher, T.L.; Silva, L.O.S.; Tassinari, A.; Somavilla, L.M.; Mimmo, T.; Cesco, S.; Brunetto, G., 2018b. Growth and chemical changes in the rhizosphere of black oat (*Avena strigosa*) grown in soils contaminated with copper. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 163, p. 19-27.

De Conti, L.; Ceretta, C.A.; Melo, G.W.B.; Tiecher, T.L.; Silva, L.O.S.; Garlet, L.P.; Mimmo, T.; Cesco, S.; Brunetto, G., 2019. Intercropping of young grapevines with native grasses for phytoremediation of Cu-contaminated soils. **Chemosphere**, v. 216, p. 147-156.

De Conti, L.; Marques, A.C.R.; Ceretta, C.A.; Tarouco, C.P.; Nicoloso, F.T.; Ferreira, P.A.A.; Tiecher, T.L.; Tassinari, A.; Silva, I.C.B.; Brunetto, G., 2020. Tolerance and phytoremediation potential of grass species native to South American grasslands to copper-contaminated soils. **International Journal of Phytoremediation**, v. 10, p. 1-10.

Flores, D.R.M.; Fonseca, P.A.F.; Schmitt, J.; Tonetto, C.J.; Rosado Junior, A.G.; Hammerschmitt, R.K.; Facco, D.B.; Brunetto, G.; Nörnberg, J.L., 2020. Lambs fed with increasing levels of grape pomace silage: Effects on productive performance, carcass characteristics, and blood parameters, **Livestock Science**, v. 240, 104169.

Gatiboni, L.C.; Smyth, T.J.; Schmitt, D.E.; Cassol, P.C.; Oliveira, C.M.B., 2015. Soil phosphorus thresholds in evaluating risk of environmental transfer to surface waters in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39: 1225-1234.

Giroto, E. Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas cultivadas em solos com acúmulo de cobre e zinco. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

Giroto, E.; Ceretta, C.A.; Brunetto, G.; Miotto, A.; Tiecher, T.; De Conti, L.; Lourenzi, C.R.; Lorensini, F.; Gubiani, P.I.; Silva, L.S.; Nicoloso, F.T., 2014. Copper availability assessment of Cu-contaminated vineyard soils using black oat cultivation and chemical extractants. **Environmental Monitoring and Assessment** (Print), v. 1, p. 1-2.

Giroto, E.; Ceretta, C.A.; Rossato, L.V.; Faria, J.G.; Brunetto, G.; Miotto, A.; Tiecher, T.L.; De Conti, L.; Lourenzi, C. R.; Schmatz, R.; Giachini, A.; Nicoloso, F.T., 2016. Biochemical changes in black oat (*Avena strigosa* Schreb) cultivated in vineyard soils contaminated with copper. **Plant Physiology and Biochemistry** (Paris), v. 103, p. 199-207.

Guimarães, P.R.; Ambrosini, V.G.; Miotto, A.; Ceretta, C.A.; Simão, D.G.; Brunetto, G., 2016. Black oat (*Avena strigosa* Schreb) growth and root anatomical changes in sandy soil with different copper and phosphorus concentrations. **Water, Air and Soil Pollution** (Dordrecht. Online), v. 227, p. 192-227.

Krug, A. V.; Marchezan, C.; Ferreira, P. A. A.; Garlet, L.P.; Ceretta, C. A., 2017. Morfologia do sistema radicular em videiras jovens cultivadas em solo com alto teor de cobre e amenizantes. **XXV Congresso Brasileiro de Fruticultura**. Porto Seguro, BA.

Mattias, J.L.; Ceretta, C.A.; Nesi, C.N.; Giroto, E.; Trentin, E.E.; Lourenzi, C.R.; Vieira, R.C.B., 2010. Copper, zinc, and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(4), 1445-1454.

Melo, G.W.B.; Brunetto, G.; Schafer Junior, A.; Kaminski, J.; Furlanetto, V., 2008. Matéria seca e acumulação de nutrientes em videiras jovens cultivadas em solos com diferentes níveis de cobre. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, RS, Brasil, v. 14, n. 4, p. 72-76.

Melo, G.W.B.; Mezacasa, J.; Rodighero, K.; Oliveira, P.D.; Albarello, J. B. Dal Magro, R. A., 2013. Calagem pode mitigar os efeitos da fitotoxicidade do cobre em aveia branca (*Avena sativa* L.)? **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Florianópolis, p. 1-4.

Melo, G.W.B.; Zalamena, J.; Albarello, J.B.; Rodighero, K.; Ceretta, C.A.; Silva, L.S.; Soares, C.R.F.S.; Ambrosini, V.G.; Brunetto, G., 2015. **Alternativa de práticas para o cultivo de videiras em solos com alto teor de cobre**. Comunicado Técnico - Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS, Brasil, v. 171, p. 6.

Melo, G. W.; Zalamena, J., 2016. **Retrato da fertilidade de solos cultivados com videira nas regiões da Serra e Campanha Gaúcha**. Comunicado Técnico 181 - Embrapa Uva e Vinho,

Bento Gonçalves-RS, Brasil, v. 181, p. 1–9.

Mielniczuk, J.; Ludwick, A. E.; Volkweiss, S.J.; Patella, J.F.; Machado, M.O., 1969. **Estudos iniciais de calibração de análises para fósforo e potássio do solo com a cultura do trigo**. Porto Alegre: UFRGS/IPEAS, 10p.

Miguel, Lovois de Andrade. Entre os campos e as florestas: origem e evolução da agricultura no Rio Grande do Sul/ Brasil. Artigo apresentado no «Séminaire franco-brésilien «Dialogues contemporains sur la question agraire et l’agriculture familiale au Brésil et en France». Paris, 24 et 25 avril 2013. <http://www.ufrgs.br/pgdr/publicacoes/producao textual/lovois-de-andrade-miguel-1/miguel-1-a-entre-campos-e-florestas-origem-e-evolucao-da-agricultura-no-rio-grande-do-sul-brasil-seminaire-franco-bresilien-dialogues-contemporains-sur-la-question-agraire-et-l2019agriculture-familiale-au-bresil-et-en-france-ladysse-et-agroparistech-paris>

Miotto, A. Cobre em solos arenosos sob vinhedos e resposta bioquímica-fisiológica de videiras em produção (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

Miotto, A.; Ceretta, C.A.; Brunetto, G.; Nicoloso, F.T.; Giroto, E.; Farias, J.G.; Tiecher, T.L.; Conti, L.; Trentin, G., 2013. Copper uptake, accumulation, and physiological changes in adult grapevines in response to excess copper in soil. **Plant and Soil** (Print), v. 374, p. 593-610.

Miotto, A.; Ceretta, C.A.; Giroto, E.; Trentin, G.; Kaminski, J.; De Conti, L.; Toselli, M.; Baldi, E.; Brunetto, G., 2017. Copper accumulation and availability in sandy, acid, vineyard soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, p. 1-7.

Morais, G.P. Fracionamento e quantificação de limites críticos de transferência de cobre e zinco para a solução de solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica (Tese de doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2020.

Oliveira, P.D.; Freitas, R.F.; Dal Magro, R.; Albarello, J.B.; Rodighero, K.; Melo, G.W.B., 2013. Mitigação do efeito fitotóxico do cobre em videiras jovens pela calagem. 11º Encontro de Iniciação Científica e 7º Encontro de pós-graduandos da Embrapa Uva e Vinho. Bento Gonçalves-RS, p. 26.

ROLAS-RS/SC, 1981. **Manual de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Trigo e Soja, 56:5-34.

Santos, H. P.; Melo, G.W.B.; Luz, N.B.; Tomasi, R.J., 2004. **Fisiológico de plantas de aveia (*Avena strigosa*) em solos com excesso de cobre**. Comunicado Técnico, Bento Gonçalves-RS, Brasil, v. 49, p. 4.

Silva, I.C.B.; Marques, A.C.R.; Marques, V.; Ferreira, P.A.A.; Ceretta, C.A.; Quadros, F.; Sans, G.; Brunetto, G., 2020. Spatial variation of herbaceous cover species community in Cu-contaminated vineyards in Pampa Biome. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 1, p. 1-10.

Siqueira, O.J.F.; Scherer, E.E.; Tassinari, G.; Anghinoni, I.; Patella, J.F.; Tedesco, M.J.; Milan, P.A.; Ernani, P.R., 1987. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 100p.

Tiecher, T.L.; Ceretta, C.A.; Tiecher, T.; Ferreira, P.A.A.; Nicoloso, F.T.; Soriani, H.H.; Rossato, L.V.; Mimmo, T.; Cesco, S.; Lourenzi, C.R.; Giachini, A.; Brunetto, G., 2016a. Effects of zinc addition to a copper-contaminated vineyard soil on sorption of Zn by soil and plant physiological responses. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 129, p. 109-119.

Tiecher, T.L.; Soriani, H.H.; De Conti, L.; Ferreira, P.A.A.; Nicoloso, F.T.; Paranhos, J.T.; Tassinari, A.; Brunetto, G., 2016b. Physiological and nutritional status of black oat (*Avena strigosa* Schreb) grown in soil with interaction of high doses of copper and zinc. **Plant Physiology and Biochemistry** (Paris), v. 106, p. 253-263.

Tiecher, T.L.; Tiecher, T.; De Conti, L.; Soriani, H.H.; Ceretta, C.A.; Nicoloso, F.T.; Ferreira, P.A.A.; Scheneider, R.; Kulmann, M.; Brunetto, G., 2017. Tolerance and translocation of heavy metals in young grapevine (*Vitis vinifera*) grown in sandy acidic soil with interaction of high doses of copper and zinc. **Scientia Horticulturae**, v. 222, p. 203-212.

Tiecher, T.L.; Soriani, H.H.; Tiecher, T.; Ceretta, C.A.; Nicoloso, F.T.; Tarouco, C.P.; Clasen, B.E.; De Conti, L.; Tassinari, A.; Melo, G.W.B.; Brunetto, G., 2018. The interaction of high copper and zinc doses in acid soil changes the physiological state and development of the root system in young grapevines (*Vitis vinifera*). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, p. 985-994.

Trentin, E.; Facco, D.B.; Hammerschmitt, R.K.; Ferreira, P.A.A.; Morsch, L.; Belles, S.W.; Ricachenevsky, F.K.; Nicoloso, F.T.; Ceretta, C.A.; Tiecher, T.L.; Tarouco, C.P.; Berghetti, Á.L.P.; Toselli, M.; Brunetto, G., 2019. Potential of vermicompost and limestone in reducing copper toxicity in young grapevines grown in Cu-contaminated vineyard soil. **Chemosphere**, v. 216, p. 1-10.

UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), 1967. **Recomendações de adubação: adubos corretivos para fósforo e potássio**. Porto Alegre: UFRGS-Faculdade de Agronomia e Veterinária, 4 f.

UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), 1968. **Recomendações de adubação**. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 3p.

UFRGS/Departamento de Solos, 1973. **Tabelas de adubação corretiva e adubação de manutenção para os solos e culturas dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: 11p.

UFRGS/Departamento de Solos, 1976. **Tabelas de adubação corretiva e adubação de manutenção para solos e culturas dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: 15p.