

INFLUÊNCIA DOS RESÍDUOS DA MINERAÇÃO DO XISTO NO CRESCIMENTO E NO TEOR FOLIAR DE Cd, Co E Cr EM PLANTAS DE AVEIA PRETA¹

INFLUENCE OF RESIDUES FROM OIL SHALE MINING ON GROWTH AND CONCENTRATION OF Cd, Co AND Cr IN *Avena strigosa* Schreber PLANTS

Ana Rosa Martins dos Anjos² Carlos Bruno Reissmann³

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência dos resíduos oriundos da mineração do folhelho pirobetuminoso (xisto) da formação Irati em São Mateus do Sul, PR, no crescimento e na composição química da aveia preta (*Avena strigosa* Schreber), bem como a influência de se irrigar as plantas com água deionizada ou com solução nutritiva. O experimento foi instalado em casa de vegetação, sendo montado em delineamento de blocos ao acaso, com tratamento fatorial 4x2, ou seja, quatro substratos distintos e duas soluções de rega (água deionizada e solução nutritiva) em quatro repetições. Os materiais utilizados para a constituição dos substratos foram horizontes A e B do Latossolo Vermelho Escuro Álico, finos de xisto no estado natural e macerado e xisto retornado, sendo obtidos os seguintes substratos: S₁) 100% solo, controle; S₂) 50% solo + 50% finos de xisto macerado; S₃) 50% solo + finos de xisto natural e S₄) 50% solo + 50% xisto retornado. O experimento foi conduzido durante 47 dias com irrigações diárias de água deionizada e de solução nutritiva. Após este período determinou-se a altura média das plantas, a massa seca foliar e também determinou-se quantitativamente o Cd, Co e Cr. Os resultados obtidos permitem concluir que, em todos os tratamentos, os teores foliares de Cd e Co excederam aos teores observados em gramíneas oriundas de regiões não contaminadas. De todos os tratamentos estudados somente os teores foliares de Cr atingiram níveis capazes de causar toxidez às plantas. As plantas irrigadas com solução nutritiva apresentaram maior desenvolvimento e produção de massa seca foliar. Os finos de xisto macerado contribuíram para que as plantas apresentassem maior desenvolvimento e produção de massa seca foliar.

Palavras-chave: áreas degradadas, metais pesados, xisto, *Avena strigosa*.

SUMMARY

The present work had the aim to evaluate the influence of the residuum originated from mining of the piro-betuminous shales (oil shale) in the Irati formation in São Mateus do Sul, PR, in the growth and chemical composition of black oats (*Avena strigosa* Schreber), as well as the influence of irrigation with deionized water or nutritive solution. The experiment was installed in a greenhouse, with a completely randomized blocks design in factorial combination 4x2, i. e., four different substrates and two water solutions (deionized water and nutritive solution), with four replications. The substrate used were A and B horizon from an Oxisol (Alic Dark Red Latossolo) with different mixture proportions of oil shale: S₁) 100% soil, control; S₂) 50% soil + 50% smashed oil shale; S₃) 50% soil + 50% natural oil shale; S₄) 50% soil + 50% retorted oil shale. The experiment was undertaken during 47 days. After this period average plant height, weight plant drymatter from the leaves and the chemical composition of the leaves for Cd, Co and Cr were determined. The results obtained indicate that in all the treatments, the concentration Cd and Co were higher than the ones observed in gramineae originated from regions without contamination. The concentration of Cr observed in the leaves may cause toxicity to plants. Plants irrigated with nutritive solution produced higher plant drymatter. The smashed oil shale contributed to increase plant growth and plant drymatter production.

¹ Parte do trabalho realizado junto ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR) para elaboração da dissertação de mestrado. Também apresentado no I Simpósio Sul-Americano e II Simpósio Nacional - Recuperação de Áreas Degradadas, 06 a 09.11.94, Foz do Iguaçu, PR.

² Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, atualmente bolsista do CNPq/RHAE na EMBRAPA/CNPFLorestas.

³ Engenheiro Florestal, Doutor, Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFPR, Rua dos Funcionários 1540, Caixa Postal 2959, 80001-970, Curitiba, PR. Autor para correspondência.

Key words: damaged areas, heavy metals, oil shale, *Avena strigosa*.

INTRODUÇÃO

A retirada da vegetação existente em áreas a serem mineradas, bem como o solo orgânico e o completo revolvimento do subsolo ensejam, após a extração do xisto, a sua recuperação (SKALSKI JÚNIOR & GROSSL, 1992). Na mineração a céu aberto, para predizer e gerenciar a recuperação após uma perturbação, deve-se conhecer com detalhes o padrão de sucessão e o potencial de recuperação do ecossistema em questão, a fim de que os esforços feitos no sentido de se regenerar o sistema viabilizem os processos naturais de recuperação (ODUM, 1986).

Num programa de recolonização de ambientes degradados as gramíneas são sempre citadas por se estabelecerem com relativa facilidade e promoverem uma rápida e densa cobertura do solo. Além disso, melhoram a sua estrutura física, atenuam fenômenos erosivos e adicionam matéria orgânica, bem como realizam a ciclagem de nutrientes, representando também um grande potencial na produção econômica de alimentos para bovinos. A reconstituição da cobertura vegetal para fins agrosilvipastoris em áreas mineradas de xisto foram pesquisadas através da sucessão de culturas e forrageiras, demonstrando a viabilidade de recuperação de solos e a possibilidade de reutilização dos terrenos reabilitados para desenvolvimento de lavouras e áreas de pastagens (ALEGRE, 1992). Uma das preocupações na reconstituição da cobertura vegetal para fins agrosilvipastoris é o conteúdo de metais pesados nas plantas que povoarão as áreas reabilitadas, pois alguns trabalhos já constataram a ocorrência de metais pesados na vegetação que se desenvolve em áreas reabilitadas contendo xisto retornado (KILKELLY & LINDSAY, 1982; SCHWAB et al., 1983; PREVEDELLO, 1989; STARK & REDENTE, 1990).

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento e a produção de massa seca foliar, bem como analisar e quantificar os teores de Cd, Co e Cr nos tecidos foliares das plantas de aveia preta cultivadas em vaso contendo substratos elaborados com os resíduos da mineração do xisto de São Mateus do Sul, PR.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um experimento fatorial (4x2), 4 substratos e 2 soluções, distribuído em blocos ao acaso com

quatro repetições foi instalado em 12 de setembro de 1990, em casa de vegetação do Institut für Pflanzenbau da Universität für Bodenkultur, em Viena, Áustria. As parcelas, perfazendo um total de 32, foram constituídas por vasos de polietileno. Em cada vaso foi adicionado 800g de substrato, constituído pelos horizontes A e B do solo Latossolo Vermelho escuro Álico, finos de xisto em estado natural e macerado e xisto retornado. Os quatro substratos consistiram de diferentes proporções de peso na mistura assim distribuídos: S₁ - 100% Solo (50% Hor. A + 50% Hor. B), controle; S₂ - 50% Solo (25% de Hor. A e de B) + 50% de finos de xisto macerado; S₃ - 50% Solo (25% de Hor. A e de B) + 50% de finos de xisto natural e; S₄ - 50% Solo (25% de Hor. A e de B) + 50% de xisto retornado. As duas soluções de irrigação consistiram de aplicação de água deionizada e solução nutritiva. Cada litro de solução nutritiva continha 10 ml de KNO₃ 0,1 N, 1 ml de Ca(NO₃)₂ 0,1 N, 20 ml de Ca(H₂PO₄)₂ 0,2 N e 1 ml de MgSO₄ 0,1 N com pH igual 4,0.

Os substratos foram corrigidos, empregando CaCO₃ (p.a.), segundo a metodologia de GOY & ROOS (1937), para atingir pH 7. Após a incubação do substrato, cada vaso recebeu 15 sementes de aveia preta. O solo foi umedecido até 50% do valor da capacidade de campo. Sete dias após a germinação, realizou-se o raleio das plantas, deixando 10 plantas por vaso. Após a semeadura, irrigações foram aplicadas diariamente com água deionizada e solução nutritiva observando o limite de 80% da capacidade de campo.

Decorridos 47 dias da época de semeadura determinou-se a altura das plantas e a massa seca foliar. Do material foliar finamente triturado retirou-se amostras de 0,5g que foram submetidas a digestão total (EDELBAUER, 1978). Realizada a extração, o Cd, Co e Cr foram determinados por espectrometria de emissão de plasma, utilizando o aparelho DCP SPEKTRASPAN 3. Os resultados foram analisados estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tanto a altura das plantas como a massa seca foliar das plantas de aveia preta foram influenciadas pelos diversos substratos, no qual se desenvolveram, e pelas soluções de rega a que foram submetidas, sendo comprovado estatisticamente pela significância do teste F ao nível de 5%. As interações entre os fatores substrato e solução de rega no entanto não foram significativas.

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 1), o substrato S₂ proporcionou o maior desenvolvimento em altura e massa seca foliar. Os substratos S₁ e S₄ proporcionaram menores produções de massa seca, porém as menores alturas só foram constatadas no S₁. Deste modo, conduzindo-se o experimento até o quadragésimo sétimo dia, após a semeadura, não se pôde observar a constatação de PREVEDELLO (1989) de que as plantas de aveia cultivadas sobre o xisto retornado apresentassem menor crescimento.

Analisando o efeito das soluções de rega na altura e na produção de massa seca (Tabela 2) pode-se afirmar que as plantas irrigadas com solução nutritiva apresentaram maiores altura e produção de massa seca, do que as plantas irrigadas com água deionizada. O fornecimento de macronutrientes, via solução nutritiva, foi responsável pelo maior desenvolvimento das plantas, bem como pelo maior rendimento de massa seca. Segundo MALAVOLTA et al. (1989), RAIJ (1991) e DERPSCH & CALEGARI (1985) os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre favorecem o crescimento vegetativo das plantas, sendo que a aveia preta responde bem à fertilização.

As variáveis Cd, Co e Cr não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos para os fatores substrato, solução e substrato x solução. Os teores médios de Cd e Co encontrados na massa seca foliar da aveia preta (Tabelas 1 e 2) encontram-se muito acima do intervalo médio observado em gramíneas com estágio de crescimento imaturo, desenvolvidas em regiões não contaminadas de diversos países,

segundo a compilação de KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1985). No entanto, tais teores médios não ultrapassam o intervalo de toxidez, de 5 a 30ppm para o Cd e de 15 a 50ppm para o Co, também citado por KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1985) em diversas espécies de plantas.

Especificamente para a aveia, e de acordo com VERGANO & HUNTER (1952) e HUNTER & VERGANO (1953), pode-se assegurar que os teores foliares de Co (Tabelas 1 e 2) não atingiram níveis que pudessem ser tóxicos às plantas. Estes autores constataram sintomas de toxidez na aveia quando esta apresentou um teor foliar de Co de 116 ppm, caracterizado por uma clorose de baixa intensidade, deprendendo-se que se encontrava numa fase inicial do processo de toxidez. Estes teores também estão abaixo do nível máximo permitido estabelecido pelo NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1980) para a dieta dos animais. Assim, os teores foliares de Co não se constituem num fator de preocupação à alimentação dos animais.

HUNTER & VERGANO (1953), trabalhando com aveia, verificaram que plantas contendo 3,9ppm de Cr na massa seca foliar eram pouco desenvolvidas e com a maioria das folhas ligeiramente cloróticas. Enquanto que, concentração de 252ppm de Cr, na massa seca das plantas, ocasionava o aparecimento de plantas atrofiadas com folhas estreitas vermelho-acastanhadas e com pequenas áreas necróticas. No entanto observou-se neste experimento que, em todos os tratamentos, as plantas de aveia preta apresentaram uma clorose, com início na extremidade

Tabela 1. Efeito dos substratos no crescimento, na produção de massa e nos teores foliares de cádmio (Cd), cobalto (Co) e cromo (Cr) das plantas de aveia preta.

Substrato	Altura (cm)	Massa Seca (g)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)
S ₁	20,16 b*	0,90 b	2,36a	2,96a	3,93a
S ₂	24,30a	1,06a	2,15a	3,24a	2,81a
S ₃	22,23ab	1,02a	2,33a	3,84a	4,09 b
S ₄	22,58ab	0,88 b	2,14a	3,46a	3,36a
CV	9,12%	11,46%	34,18%	26,48%	26,88%

CV = Coeficiente de variação

* Médias seguidas por letras distintas diferenciam-se estatisticamente, pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2. Efeito das soluções nutritivas no crescimento, na produção de massa e nos teores foliares de cádmio (Cd), cobalto (Co) e cromo (Cr) das plantas de aveia preta.

Solução de rega	Altura (cm)	Massa Seca (g)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)
Água deionizada	17,54 B*	0,57 B	2,28A	3,18A	3,25A
Solução nutritiva	27,09A	1,36A	2,21A	3,57A	3,85A

* Médias seguidas por letras distintas diferenciam-se estatisticamente, pelo Teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

das folhas mais velhas e progredindo ao longo das mesmas, evoluindo para necrose. Apesar de haver sido constatado alguns teores foliares de Cr acima de 3,9ppm, torna-se difícil associar os sintomas visuais observados à toxidez deste elemento, visto que os sintomas ocorreram em todos os tratamentos e também não correspondem integralmente aos descritos por HUNTER & VERGANO (1953). Assim, certifica-se apenas que os teores de Cr encontrados na parte foliar das plantas de aveia preta podem ocasionar sintomas de toxidez às plantas, porém a toxidez de Cr nas folhas de aveia preta não pôde ser confirmada através de sintomas visuais foliares. Esta dificuldade de se diagnosticar a toxidez do Cr pela consideração dos sintomas visuais e da composição do tecido foliar também é comentada por estes pesquisadores.

Segundo o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1980), concentrações de Cd de 1ppm na dieta produzem efeitos prejudiciais nos animais monogástricos, sendo o nível máximo tolerável de 0,5 ppm. Os dados demonstram que os teores de Cd encontrados na massa seca da aveia preta (Tabelas 1 e 2) excedem o nível máximo tolerável.

Estudos realizados por PREVEDELLO (1989) e SCHWAB et al. (1983), constataram que as plantas desenvolvidas no substrato contendo xisto retornado não apresentavam teores de Cd possíveis de impedir a revegetalização destas áreas. No entanto, tem-se que levar em consideração que, apesar de ter constatado a ocorrência de 1,85ppm de Cd nas plantas de aveia preta desenvolvidas no substrato mistura (solo misturado com xisto retornado), PREVEDELLO (1989) baseou-se em outros níveis máximos de tolerância, estabelecidos de maneira genérica para os alimentos e não para a dieta de animais. SCHWAB et al. (1983) estudaram a absorção dos metais pesados em plantas desenvolvidas em tratamentos com 30 e 60cm de solo sobre o xisto retornado e também em tratamentos que apresentavam entre o solo e o xisto retornado uma camada de cascalho de 30cm. Este procedimento, juntamente com o baixo teor total (1,3 ppm) e extraível (0,08ppm) de Cd encontrado no xisto retornado, por eles utilizados, talvez tenha contribuído para que o nível de Cd nas plantas se encontrasse abaixo dos limites de detecção analítica.

CONCLUSÕES

a) Plantas de aveia preta irrigadas com solução nutritiva apresentam maior crescimento e produção de massa seca, do que as plantas irrigadas com água deionizada;

b) O substrato com finos de xisto macerado contribuiu para o maior crescimento e produção de massa seca das plantas;

c) Os teores de Cd e Co encontrados na massa seca foliar da aveia preta, de todos os tratamentos, excedem aos teores observados em gramíneas oriundas de regiões não contaminadas, entretanto tais teores não atingem níveis possíveis de causar sintomas de toxidez às plantas de aveia preta;

d) Os teores foliares de Cr atingiram níveis considerados tóxicos às plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRE, H.K.P. Programa de reabilitação de áreas degradadas pela mineração do xisto - SMS - PR. São Mateus do Sul: PETROBRÁS - Superintendência da Industrialização do Xisto, 1992. 9 p.
- DERPSCH, R., CALEGARI, A. Guia de plantas para adubação verde de inverno. Documentos. IAPAR, Londrina, n. 9, p. 1-96, 1985.
- EDELBAUER, A. Traubenertrag und Mineralstoffgehalt von Blättern einjähriger Triebe, sowie der Frostanfälligkeit der Knospen von *Vitis vinifera*, L. bei verschiedenen Cl⁻ und SO₄²⁻ Relation. *Z Pflanzenernaehr. Bodenkd*, Weinheim, v. 141, p. 83-94, 1978.
- GOY, S., ROOS, O. Über den Ausbau der elektrometrischen Bodentitration zu einer Methode für die genaue Bestimmung des Kalkbedarfs unter Berücksichtigung des physikalischen Bodenzustandes. *Bodenkunde und Pflanzenernaehrung*, Berlin, v. 2, p. 166-178, 1937.
- HUNTER, J.G., VERGANO, O. Trace element toxicities in oats. *Ann Appl Biol*, Wellesbourne, v.40, p. 761-777, 1953.
- KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3 ed. Boca Raton: CRC, 1985. 315 p.
- KILKELLY, M.L., LINDSAY, W.L. Selected trace elements in plants grown on retorted oil shale. *J Environ Qual*, Madison, v. 11, n. 3, p. 422-427, 1982.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S. A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Subcommittee on mineral toxicity in animals. *Mineral tolerance of domestic animals*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1980. 534 p.
- ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986. 434 p.
- PREVEDELLO, B.M.S. (Coord.) *Quantificação de metais pesados em solos e plantas: relatório final*. Curitiba: FUPEF/PETROBRÁS, 1989. 40 p.
- RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

SCHWAB, A.P., LINDSAY, W.L., SMITH, P.J. Elemental contents of plants growing on soil-covered retorted shale. *J Environ Qual*, Madison, v. 12, n. 3, p. 301-304, 1983.

SKALSKI JÚNIOR, J., GROSSL, J.L. Estudo de manejo com introdução de espécies florestais nativas em povoamentos de bracatinga e acácia negra, em área minerada pela PETROBRÁS-SIX para extração do xisto, São Mateus do Sul, PR, 1992. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS

DEGRADADAS, 1992. Curitiba, PR, *Anais...* Curitiba, UFPR, FUPEF, 1992. p. 248-263.

STARK, J.M., REDENTE, E.F. Plant uptake and cycling of trace elements on retorted oil shale disposal piles. *J Environ Qual*, Madison, v. 19, p. 495-501, 1990.

VERGANO, O., HUNTER, J. G. Nickel and cobalt toxicities in oat plants. *Ann Bot*, London, v. 17, n. 66, p. 317-328, 1952.

Ciência Rural, v. 26, n. 1, 1996