

ANÁLISE DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM UM ESTUDO COMPARATIVO DE SOLO HUMÍFERO PARA PROCESSOS DE BIORREMEDIAÇÃO

Daiani Canabarro Leite¹
Ana Cristina Borba da Cunha²
Delmar Bizani²

RESUMO

O presente trabalho apresenta análises de macro e micronutrientes do solo, além de pH, índice SMP (acidez ativa no solo), teor de argila, matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC), de 14 municípios de diversas regiões do Estado do Rio Grande do Sul, e um estudo comparativo desses solos com um solo humífero para processos de biorremediação. Visto que o solo humífero é um solo sintético, há um custo envolvido em seu uso para projetos de pesquisa e, portanto, este trabalho busca uma alternativa para a redução dos custos em projetos nessa área. As análises foram realizadas no Laboratório de Química Agrícola da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária localizada em Porto Alegre (FEPAGRO). De acordo com os resultados, o solo do município de Charqueadas apresentou alta correlação com o solo humífero e, portanto, torna-se viável o uso desse solo em processos de biorremediação. Além da análise química, esta pesquisa envolve conceitos sobre agronomia, microbiologia e meio ambiente.

Palavras-chave: análise de solos, macro e micronutrients, biorremediação

ABSTRACT

Analysis of macro and micronutrients in a comparative study of inert soil to bioremediation processes. This paper presents analysis of macro and micronutrients of the soil, and pH, SMP, clay, organic matter and cation exchange capacity (CEC) of 14 cities from different regions of Rio Grande do Sul, Brazil and a comparative study of these soils with a humified soil standard for bioremediation processes. Since the humified soil is a synthetic soil, there is cost to use it for research projects and, therefore, this paper seeks an alternative to cost reduction for projects in this

¹ Curso de Química, Centro Universitário La Salle – UNILASALLE. E-mail para correspondência: daiani.leite@uol.com.br.

² Pós-Graduação e Pesquisa, Centro Universitário La Salle – UNILASALLE. E-mails: aanacunha@hotmail.com, delmar@unilasalle.edu.br.

area. The analyses were performed at the Laboratory of Agricultural Chemistry of the Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). According to the results, the soil of the city of Charqueadas showed high correlation with the standard humified soil and therefore becomes feasible to use this soil bioremediation processes. Finally, in addition to chemical analysis, this research involves concepts of agronomy, microbiology and environment.

Key words: soil analysis, macro and micronutrients, bioremediation

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural que deve ser utilizado como patrimônio da coletividade, independente do seu uso ou posse. É um espaço com intensa atividade microbiológica, meio para a decomposição, o equilíbrio e a renovação química, fruto de suas propriedades filtrantes, de tamponamento e de conversão de substratos (Seabra, 2005). O Rio Grande do Sul caracteriza-se por uma heterogeneidade muito grande de tipos de solos, tendo em vista a grande diversidade dos fatores responsáveis pela formação desses solos (UFMS, 2010).

A contaminação de solos iniciou-se com o surgimento das primeiras sociedades humanas. Existem registros sobre solos poluídos por rejeitos de mineração e de fundição de metais já no século I a.C (Seabra, 2005). Solos contaminados podem ser tratados por diversos processos biológicos, físicos, químicos, físico-químicos ou térmicos (Silva, 2009).

Entre as técnicas biológicas de tratamento de solos contaminados, encontra-se o processo de biorremediação, que consiste em utilizar microrganismos e seus subprodutos para remediar ambientes poluídos (UFRB, 2010).

Com a crescente preocupação da sociedade na preservação dos recursos naturais, este trabalho teve como objetivo principal a análise de macro e micronutrientes do solo de algumas cidades do Estado do Rio Grande do Sul, visando a uma posterior utilização dos resultados em processos de biorremediação.

Para pesquisas em processos de biorremediação, é utilizado um solo húmífero, onde não há interferentes e, portanto, é considerado ideal para este tipo de pesquisa. Quando o experimento é levado a campo, o uso desse solo torna-se inviável pelo fato de gerar um custo muito grande, devido ao solo ser sintetizado. Diante desse problema econômico, foi feito um estudo comparativo das características químicas desse húmífero com diversos solos, tendo como objetivo encontrar um solo no Estado do Rio Grande do Sul mais compatível para processos de biorremediação, visando, assim, a diminuição dos custos de projetos de pesquisa e outros trabalhos na área.

MATERIAL E MÉTODOS

Os solos avaliados no presente trabalho foram provenientes de diversas cidades do estado do RS. A tabela 1 relaciona os municípios de origem dos solos estudados com as regiões correspondentes.

O solo húmífero foi proveniente da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Esse solo apresenta uma quantidade maior de húmus em relação aos outros. É um solo geralmente fértil, ou seja, um solo onde os vegetais encontram melhores condições para se desenvolverem. Possui cerca de 10% de húmus em relação ao total de partículas sólidas. A presença de húmus dá uma coloração, em geral, escura, contribui para sua capacidade de reter água e sais minerais e aumenta sua porosidade e aeração.

As análises (fósforo, potássio, argila, matéria orgânica, pH, SMP, Capacidade de troca de cátions (CTC), alumínio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, zinco, cobre, manganês, sódio e ferro) foram realizadas no Laboratório de Química Agrícola da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), que possui certificação da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ROLAS). As análises seguiram os procedimentos de Tedesco (1995).

Tabela 1. Cidades de origem dos solos estudados.

Cidade	Mesorregião	Microrregião
Arambaré	Metropolitana	Camaquã
Bento Gonçalves	Nordeste	Caxias do Sul
Santa Rosa	Noroeste	Santa Rosa
São Borja	Sudoeste	Campanha Ocidental
Alegrete	Sudoeste	Campanha Ocidental
Rio Grande	Sudeste	Litoral Lagunar
Porto Alegre	Metropolitana	Porto Alegre
Vacaria	Nordeste	Vacaria
Venâncio Aires	Centro Oriental	Santa Cruz do Sul
Terra de Areia	Metropolitana	Osório
Júlio de Castilhos	Centro Ocidental	Santiago
Charqueadas	Metropolitana	São Jerônimo
Rosário do Sul	Sudoeste	Campanha Central
Santana do Livramento	Sudoeste	Campanha Central

Fonte: autoria própria, 2010.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises referentes ao húmifero e aos solos dos municípios de Arambaré, Bento Gonçalves, Santa Rosa, São Borja, Alegrete, Rio Grande, Porto Alegre, Vacaria, Venâncio Aires, Terra de Areia, Júlio de Castilhos, Charqueadas, Rosário do Sul e Santana do Livramento estão reunidos na tabela 2.

Tabela 2. Resultados das análises de pH, SMP, CTC, P, K, argila, MO, Al, Ca e Mg nos solos estudados.

Amostras	Análises									
	pH	SMP	CTC	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Argila (%)	MO (%)	Al (cmol/dm ³)	Ca (mg/dm ³)	Mg (mg/dm ³)
Solo Humífero	7,4	7,2	19,2	456,7	435	9	8,8	0,0	14,8	1,3
Arambaré	5,1	6,7	3,6	6,5	32	9	2,3	0,2	2,1	0,9
Bento Gonçalves	5,0	5,5	8,5	11,7	263	34	3,4	0,6	5,6	1,2
Santa Rosa	6,2	6,6	15	121,7	244	46	3,2	0,0	10,1	4,3
São Borja	5,3	5,7	7,8	1,6	68	51	3,9	0,4	5,3	1,8
Alegrete	5,2	5,9	3,5	0,9	48	28	1,8	1,1	1,4	0,9
Rio Grande	5,0	6,4	2,0	121,7	123	8	1,9	0,4	0,6	0,5
POA	6,5	6,7	9,1	52	123	18	3,2	0,0	7,1	1,4
Vacaria	6,5	6,6	18,3	6,5	156	48	5,1	0,0	9,2	8,4
Venâncio Aires	6,2	6,5	4,3	21,2	160	32	1,5	0,0	3,2	0,6
Terra de Areia	4,3	5,4	2,8	30,9	104	13	3,2	1,9	0,5	0,1
Júlio de Castilhos	6,4	6,6	8,5	14,4	122	24	3,5	0,0	5,2	2,8
Charqueadas	6,2	6,1	19,3	567,2	1302	13	7,8	0,0	10,4	4,9
Rosário do Sul	5,1	5,5	11,7	12,6	76	25	3,4	0,3	8,7	2,3
Santana do Livramento	5,2	6,7	2,0	6,5	5	7	1,0	0,2	1,1	0,6

O pH no solo pode variar com o teor de sais na solução do solo, sendo, portanto, influenciado por fatores climáticos (precipitação), adição de fertilizantes, etc. O pH também fornece indicações sobre a presença de Al³⁺, o grau de mineralização da matéria orgânica e a disponibilidade de micronutrientes.

Sabendo que grande parte dos nutrientes do solo são cátions, o pH exerce grande influência na absorção dos mesmos no solo. Solos ácidos inibem a absorção dos nutrientes devido às cargas de mesmo sinal se repelirem. Com o aumento do pH (aumento de íons OH⁻), a absorção dos nutrientes é facilitada, devido à atração dos íons. O índice SMP é utilizado para o cálculo de calcário a ser utilizado em calagens.

A capacidade de troca de cátions (CTC) é influenciada pelo pH, teor de argila e matéria orgânica. Quanto maior o pH, o teor de argila e o teor de matéria orgânica, maior é a CTC e maior é a fertilidade do solo.

Comparando os resultados, pode ser observado que o solo humífero e o solo do município de Charqueadas apresentaram os maiores resultados de CTC (19,2 e 19,3), e os solos de Rio Grande e Santana do Livramento os menores (2,0). Como mencionado anteriormente, o pH influencia na CTC, e essa influência é vista claramente nessa comparação. O solo humífero e o solo do município de Charqueadas apresentaram pH próximos da neutralidade ou levemente ácidos (7,4 e 6,2 respectivamente), e os solos dos municípios de Rio Grande e Santana do Livramento apresentaram pH ácidos (5,0 e 5,2 respectivamente).

De acordo com as análises, veremos mais adiante que os maiores valores de CTC também estão ligados aos maiores valores de nutrientes (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ entre outros) e matéria orgânica.

Os solos com pH próximo a 6,0 deslocam o fósforo adsorvido na superfície dos minerais para a solução do solo. Como exemplo, temos os solos dos municípios de Santa Rosa e Charqueadas, que possuem pH próximo de 6,0 e um valor elevado de fósforo disponível. Os solos dos municípios de Júlio de Castilhos e Venâncio Aires também apresentam pH próximo de 6,0, porém não apresentam teores elevados de fósforo. Essas diferenças podem estar relacionadas à baixa CTC de tais solos (Júlio de Castilhos= 8,5 e Venâncio Aires= 4,3). Se a CTC é baixa, a reação de troca de íons no solo não é satisfatória porque não há cargas negativas suficientes para reter os cátions disponíveis.

Assim como o fósforo, o potássio também é dependente da CTC. Solos com altos valores de CTC retêm mais potássio na fase sólida, diminuindo as perdas por lixiviação. Apresentam, também, maior capacidade de manter alto o K⁺ da solução e, conseqüentemente, o gradiente de concentração.

A elevação do pH aumenta a quantidade de cargas negativas do solo e assim há maior retenção de potássio e de outros cátions.

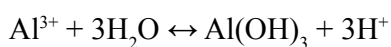
De acordo com as análises, pode ser observado que os solos com maior CTC e, conseqüentemente, os solos com o pH próximo da neutralidade são aqueles que apresentam maiores teores de potássio: solo inerte padrão (CTC= 19,2; pH= 7,4; K= 435) e Charqueadas (CTC= 19,3; pH= 6,2; K= 1302).

A argila no solo é avaliada principalmente pela origem dele. Pode-se dizer que os solos mais arenosos apresentam baixos teores de argila, como, por exemplo, solos litorâneos e costeiros. As análises apresentam teores de argila baixos exatamente nesses tipos de solo, como de Rio Grande, Arambaré e Terra de Areia.

A matéria orgânica (MO) no solo é muito variável. Ela é independente de qualquer macro ou micronutriente no solo, inclusive independe do pH. Sua variação se dá pela ação de microrganismos que biodegradam o material das plantas (húmus) e/ou por adubações orgânicas. A fase inicial da biodegradação microbiana é caracterizada pela perda rápida dos compostos orgânicos prontamente decomponíveis (açúcares, proteínas, amido, celulose, etc), sendo as bactérias especialmente ativas nessa fase de decomposição. Na fase seguinte, produtos orgânicos intermediários são biodegradados por uma grande variedade de microrganismos, com a produção de nova biomassa e liberação de CO₂ (Silva Filho e Silva, 2010).

No entanto, sabe-se que solos que apresentam altos teores de matéria orgânica aumentam as cargas negativas do solo (aumento da CTC automaticamente), e aumenta a fertilidade devido ao favorecimento da entrada de ar e da drenagem da água. De acordo com as análises, vemos que os solos que apresentam maiores teores de MO são aqueles de pH próximo da neutralidade, que possuem alta CTC e grande concentração de nutrientes. Os solos com baixo teor de MO são aqueles de pH ácido, baixa CTC e, portanto, baixas concentrações de nutrientes.

O alumínio está intimamente ligado ao pH. Em solos ácidos, ele é retido nas poucas cargas negativas do solo, passando para a solução do mesmo. A ação do Al³⁺ é dada pela equação:



Logo, com o aumento da concentração do alumínio ocorre uma diminuição da acidez do solo.

A toxicidade do alumínio é observada até pH 5,5; em solos com pH maior que 5,5, o alumínio encontra-se em formas precipitadas (insolúveis) (Bissani, 2004). As análises mostram que em pH ácido o alumínio está altamente disponível (solos de Bento Gonçalves e Terra de Areia apresentaram pH 5,0 e 4,3 respectivamente), e em pH maiores que 5,5, o alumínio não foi detectado ou está em baixas concentrações (solo húmico e solos dos municípios de Santa Rosa, Porto Alegre, Vacaria, Venâncio Aires, Júlio de Castilhos e Charqueadas apresentaram pH 7,4; 6,2; 6,5; 6,5; 6,2; 6,4 e 6,2 respectivamente).

Da mesma forma que o K⁺, o cálcio e o magnésio são fortemente absorvidos devido às cargas negativas do solo. Segundo a análise, os solos que apresentam maiores

teores de cálcio e magnésio são aqueles que possuem alta CTC (como exemplo, os municípios de Santa Rosa, Vacaria e Charqueadas).

O enxofre variou significativamente nos solos com pH levemente ácidos a neutros. Esse valor elevado de S está relacionado ao acúmulo de sulfatos no solo devido ao aumento da alcalinidade.

Em geral, as quantidades totais de micronutrientes nos solos são variáveis e dependem dos teores presentes nos materiais de origem e da ação dos fatores de formação dos solos.

O aumento do pH aumenta a adsorção do boro. Analisando o solo húmifero e o do município de Charqueadas, pode ser observado os maiores valores de boro em solos com pH próximos à neutralidade.

Os micronutrientes Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} , segundo pesquisas, ocorrem na forma de complexos orgânicos, logo, a atividade microbiana no solo favorece a solubilidade dos mesmos pela produção de grande quantidade de compostos orgânicos solúveis.

As concentrações de ferro na solução são muito baixas, devido à baixa solubilidade de Fe_2O_3 ; assim como nos outros micronutrientes, a atividade microbiana pode aumentar a concentração de ferro na solução do solo. A atividade microbiana reduz o Fe^{+3} a Fe^{+2} , e como os compostos de Fe^{+2} são mais solúveis que os de Fe^{+3} , há um aumento considerável de ferro na solução do solo.

O sódio constitui, juntamente com o magnésio, o cálcio e o potássio, os cátions trocáveis do solo e, portanto, também é disponibilizado na solução do solo da mesma forma. O sódio também pode estar disponível em grandes quantidades em solos litorâneos, devido à salinidade do solo causada pelo mar.

De um modo geral, pode-se dizer que a disponibilidade de nutrientes no solo está ligada à quantidade de matéria orgânica, ao teor de argila e ao pH. Esses parâmetros constituem as cargas negativas no solo, e, portanto, a avaliação é feita de acordo com a CTC.

De posse dos resultados e considerando todas as situações anteriores, pode-se concluir que, de acordo com as análises realizadas, a amostra de solo do município de Charqueadas apresentou o melhor resultado comparado ao solo inerte padrão.

Para fins de biorremediação, os parâmetros principais para o estudo comparativo foram o pH, a matéria orgânica e a CTC, assim como alguns macronutrientes (fósforo e enxofre), e em baixos níveis os micronutrientes.

O pH ideal para a maioria das culturas é próximo da neutralidade, como mostrou a análise do solo inerte padrão (pH 7,4). A matéria orgânica desse solo padrão apresentou um valor alto, provavelmente devido à alta concentração de húmus, o principal componente da matéria orgânica e mais resistente à degradação.

O solo do município de Charqueadas não é idêntico ao solo húmífero, mas sim semelhante. Esse solo apresentou excelentes valores de pH, fósforo, matéria orgânica e enxofre. Caso necessário, a correção de pH e de matéria orgânica é fácil de ser atingida, sendo a primeira, no caso de aumento de pH, conquistada através da calagem com calcário, e a segunda através da aplicação de húmus ou qualquer outro resíduo orgânico. Os teores de macronutrientes são um pouco mais complicados, mas não impossíveis, sendo a correção feita através de adubos apropriados, porém cabe o bom senso do ponto de vista econômico.

Considerando um projeto de pesquisa de biorremediação levado a campo, supondo o uso de caixas de 1m³ para a realização do experimento, em um fatorial de 2³ e em quadruplicata (totalizando 32 vias), seriam usados cerca de 32m³ de solo. Sabendo que o valor desse solo húmífero é elevado, o custo total de um experimento como esse seria inviável. Utilizando um solo não sintetizado, obtido na natureza sem custos adicionais, o valor economizado pode ser utilizado para outros fins no projeto.

CONCLUSÕES

A análise química de solo, além de quantificar os nutrientes que o ele poderá fornecer às plantas, proporciona cálculos de quantidade de adubo que deverá ser aplicado para se ter um bom rendimento da cultura e avaliar o solo quanto a contaminações existentes, gerando resultados confiáveis.

Neste trabalho, foram feitas análises de macro e micronutrientes do solo de determinados municípios do estado do Rio Grande do Sul. Segundo a interpretação dos resultados, conclui-se que não se pode analisar cada resultado individualmente, visto que há uma relação direta dos nutrientes com o pH, a matéria orgânica, o teor de argila, a origem do solo, entre outros.

Considerando-se um estudo comparativo de solo húmífero para processos de biorremediação, pode-se afirmar que o solo do município de Charqueadas apresentou resultados promissores na comparação com o solo húmífero, considerado ideal para processos de biorremediação.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. V. H. *et al.* 2000. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 27-33.
- ANDRADE, E. *et al.* 2005. Re-evaluation of manganese solubility as affected by soil sample preparation in the laboratory. ***Brazilian Archives of Biology and Technology***, v. 48, n. 4, p. 643-646.
- ATKINS, P. W.; JONES, L. 2006. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 965 p.
- BISSANI, Carlos Alberto *et al.* 2004. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: UFRGS, 344 p.
- CHAVES, M. L. Acidez dos solos. Disponível em: <<http://www.rehagro.com.br/siterehagro/publicacao.do?cdnoticia=61>>. Acesso em: 27 mar. 2010.
- FEPAGRO, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<http://www.fepagro.rs.gov.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2010.
- FERNANDES, F. M.; ALCÂNTARA, G. Z. de. Biorremediação de solos. Disponível em: <<http://www.ecobionatureza.com.br/prog/Biorremedia%C3%A7%C3%A3o%20de%20Solo.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2010.
- JACQUES, R. J. S. *et al.* 2007. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. *Ciência Rural*, v. 37, n. 4, p. 1192-1201.
- MALAVOLTA, E. 1981. *Manual de química agrícola: adubos e adubação*. 3. ed. São Paulo: Ceres, 606 p.
- MARIANO, A. P. 2006. Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, 162p.
- SEABRA, P. N. C. 2005. Aplicação de biopilha na biorremediação de solos argilosos contaminados com petróleo. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 183p.
- SILVA, F. C. da *et al.* 2009. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p.
- SILVA, L. J. da. 2009. **Processo de landfarming para tratamento de resíduos oleosos**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 108p.
- SILVA FILHO, A. V. da; SILVA, M. I. V. da. Importância das substâncias húmicas para a agricultura. Disponível em: <<http://www.emepa.org.br/anais/volume2/av209.pdf>>. Acesso em: 27 jun. 2010.

TEDESCO, M. J. *et al.* 1995. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 180 p.

UFSM, Universidade Federal de Santa Maria. Solos. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifers/solos.htm>>. Acesso em: 05 maio 2010.

UFRB, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Biorremediação microbiana. Disponível em: <http://www.ufrb.edu.br/mapeneo/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=52&Itemid=31>. Acesso em: 05 maio de 2010.