

UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DO FÓSFORO NO SOLO: O CASO DE PORTUGAL

SUSTAINABLE USE OF PHOSPHORUS: THE STUDY CASE OF PORTUGUESE SOILS

Carmo Horta^{1*} e José Torrent²

¹Escola Superior Agrária, Quinta da Sra de Mércules, 6000-909 Castelo Branco, Portugal. carmoh@ipcb.pt

²Departamento de Ciencias y Recursos Agrícola y Forestales, Universidade de Córdoba, Edificio C4, Campus Rabanales, E-14071 Córdoba, Espanha

Resumo

O fósforo é um nutriente essencial a todas as formas de vida. O fósforo entra na cadeia alimentar após absorção pelas plantas a partir do P disponível na solução do solo ou dissolvido nas águas superficiais. Actualmente, a transferência de P para os oceanos ou cursos de água tem sofrido um incremento significativo e é o resultado de processos naturais que são acelerados pela actividade agrícola, pecuária ou descarga de efluentes. Um melhor conhecimento do ciclo do P, e uma melhor gestão da fertilidade do solo é crucial na prevenção das perdas de P para as águas superficiais, de forma a evitar não só a eutrofização destas águas como também evitar a depleção das reservas naturais de rochas fosfatas com uma utilização excessiva de fertilizantes fosfatados.

O objectivo deste trabalho é apresentar os resultados obtidos sobre a dinâmica do P nos solos Portugueses e as principais estratégias a considerar com vista a um uso sustentável deste nutriente.

Palavras chave: Ciclo do Fósforo; Eutrofização; Fertilizantes Fosfatados; Sorção

Abstract

Phosphorus is an essential nutrient for living organisms. Phosphorus enters in the food chain by plant absorption from the available P fraction present in the soil solution or dissolved in water bodies. Nowadays, the transfer of P to oceans or surface and underground water is the result of natural processes, which are accelerated by agriculture, concentrated animal husbandry and direct anthropic discharges. So, understanding P cycle and provide better soil management practices to reduce soil P losses to water bodies are crucial in order to prevent negative environmental impacts as eutrophication or exhausting phosphate ore reserves with excessive fertilizer use in agriculture. The aim of this work is to share results of Portuguese P soil dynamics and address for better management practices under agronomic and environmental point of view.

Key words: Eutrophication; Phosphorus cycle; Phosphate fertilizers; Sorption

Introdução

O fósforo (P) é um elemento essencial a todas as formas de vida. Nos seres vivos o P tem uma função estrutural fazendo parte da molécula de DNA, RNA e de fosfolípidos, uma função energética na adenosina trifosfato (ATP) molécula que é essencial na regulação energética das células, e uma função de reserva principalmente na forma de fitina que se acumula nas sementes (Marschner, 1995). Nos animais, o P é ainda essencial para a formação do esqueleto e dos dentes, e na transmissão dos impulsos nervosos. O P entra na cadeia alimentar, quase exclusivamente, através da absorção pelas raízes das plantas, a partir das formas de P mineral (H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-}) presentes na solução do solo. Acontece no entanto, que os solos são de uma forma geral pobres em P biodisponível. Por este motivo, a aplicação de P ao solo tem sido uma necessidade, sempre que se pretende um aumento da produtividade agrícola. Esta aplicação de P ao solo, efectuada fundamentalmente através de fertilizantes fosfatados tem sido excessiva, relativamente a capacidade de sorção em fosfato do solo e as necessidades em P das plantas (neste trabalho o termo sorção refere-se à retenção do anião fosfato na superfície da fase sólida do solo, independentemente do processo ser de adsorção ou de precipitação). A sobre-utilização do P em agricultura, tem conduzido a fortes impactos ambientais, nomeadamente a eutrofização acelerada dos cursos de água. A sobre-fertilização conduz à saturação da capacidade de sorção do P do solo o que facilita o transporte do P do solo para as águas de drenagem interna, de escoamento superficial ou o transporte através das partículas do solo por erosão, enriquecendo as águas superficiais em P (Sharpley et al., 1994). Por outro lado, tem ocorrido a depleção de um recurso finito constituído pelas rochas fosfatadas que têm sido intensivamente explorado para a produção de fertilizantes fosfatados. Estima-se que as reservas fosfatadas mundiais possam ser exploradas por mais 100 anos (Runge-Metzger, 1995).). Deste modo, a importância de uma adequada gestão do P nos agro-ecossistemas é neste momento económica, agronómica e ambiental, pois o P é um elemento essencial na produtividade e na qualidade dos alimentos e quando mal gerido origina fortes impactos ambientais.

Com este trabalho pretende-se mostrar um conjunto de informação e de resultados que possibilitem um melhor entendimento do ciclo do P a nível dos ecossistemas de forma a uma mais correcta gestão do P no solo.

Resultados

A concentração em P na litosfera é variável e pode atingir valores até 0,1 %. No material originário do solo a concentração em P é mais

elevada, em rochas alcalinas que apresentem minerais do tipo da apatite como por exemplo dioritos (0,15%), anfibolitos (0,13%) ou basalto alcalino (0,17%). No entanto o P total do solo está distribuído por diversos compartimentos (Figura 1) nos quais apresenta distinta biodisponibilidade.

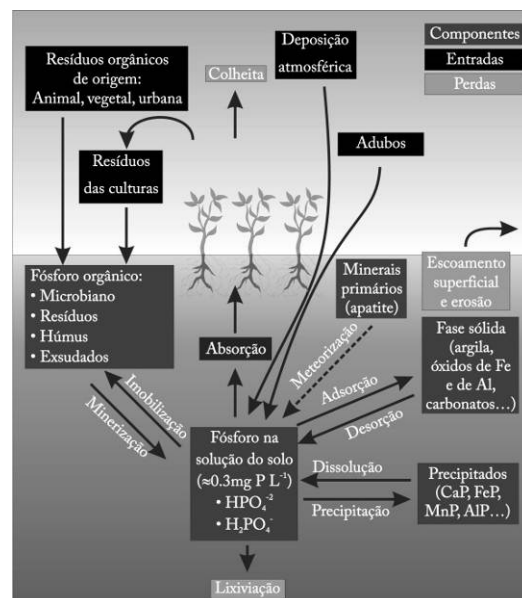


Figura 1- Ciclo do P no sistema solo-planta com os seus diversos compartimentos (Adaptado de <http://msucares.com/crops/soils/images/phosphorus.gif25-01-2010>)

Sob o ponto de vista da nutrição das plantas o P biodisponível ou P lábil é a fracção de P do solo que está em equilíbrio com o P da solução do solo e pode ser desorvido da fase sólida num intervalo de tempo de cerca de 24 h. Resultados experimentais demonstraram que para os solos ácidos de Portugal as principais superfícies da fase sólida do solo que adsorvem o anião fosfato são as superfícies de carga variável, como os óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio e os seus complexos com a matéria orgânica (Fe_{ox} e Al_{ox}) podendo também sofrer precipitação com formação de fosfatos de Fe, Al e Ca (Horta e Torrent, 2007a). Em solos calcários a adsorção na superfície de partículas de carbonato de cálcio também ocorre. A Eq. [1] evidencia a contribuição dos principais componentes da fase sólida do solo na sorção de fosfato:

$$Q_{\text{max}} (\text{mmol kg}^{-1}) = 2.40 + 0.085\text{Al}_{\text{ox}} + 0.080\text{Fe}_{\text{ox}} \quad [1]$$

$R^2_{\text{aj}} = 0.922$

(Horta e Torrent, 2007a)

Na qual Q_{max} é a capacidade máxima de sorção de fosfato do solo e Al_{ox} e Fe_{ox} (expressos em mmol kg^{-1}) são as formas de Al e Fe extraídas com uma solução de oxalato ácido de amónio (Schwertmann, 1964).

Em termos médios a manutenção de uma concentração de P na solução do solo de $0,3 \text{ mg P L}^{-1}$ será suficiente para as necessidades nutritivas da maioria das culturas. A variabilidade que os solos apresentam nos seus constituintes relativamente à capacidade de sorção de fosfato leva a que a concentração de P em solução seja também variável para um mesmo nível de aplicação de P ao solo. Portugal utilizou por ano 69 Gg de P_2O_5 (FAO, 2005) sob a forma de fertilizantes, apresentando um balanço global praticamente nulo entre a taxa média de aplicação ao solo ($7,6 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e de remoção de P pelas culturas ($7,8 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, Torrent et al., 2007).

No entanto, de uma forma geral em solos com um uso agrícola mais intensivo observam-se valores elevados de P biodisponível, enquanto em solos com um uso mais extensivo os valores são baixos. A Figura 2 ilustra essa situação para duas regiões de Portugal com sistemas agrícolas maioritariamente distintos, a região da Beira Litoral com maior intensidade de uso do solo com 53 % de solos nas classes de fertilidade alta e muito alta e a região do Alentejo com maior proporção de sistemas extensivos e com 60% dos solos nas classes de fertilidade baixa e muito baixa...

Também a nível da exploração agrícola a variabilidade espacial de P biodisponível no solo é elevada (Figura 3) observando-se os valores

mais elevados nas áreas de maior uso pecuário e agrícola.

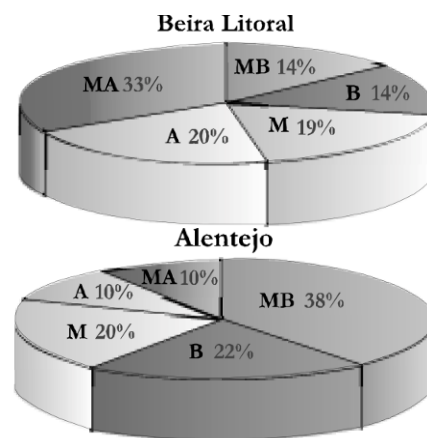


Figura 2- Repartição da fracção de P biodisponível do solo por classes de fertilidade na região da Beira Litoral e do Alentejo.

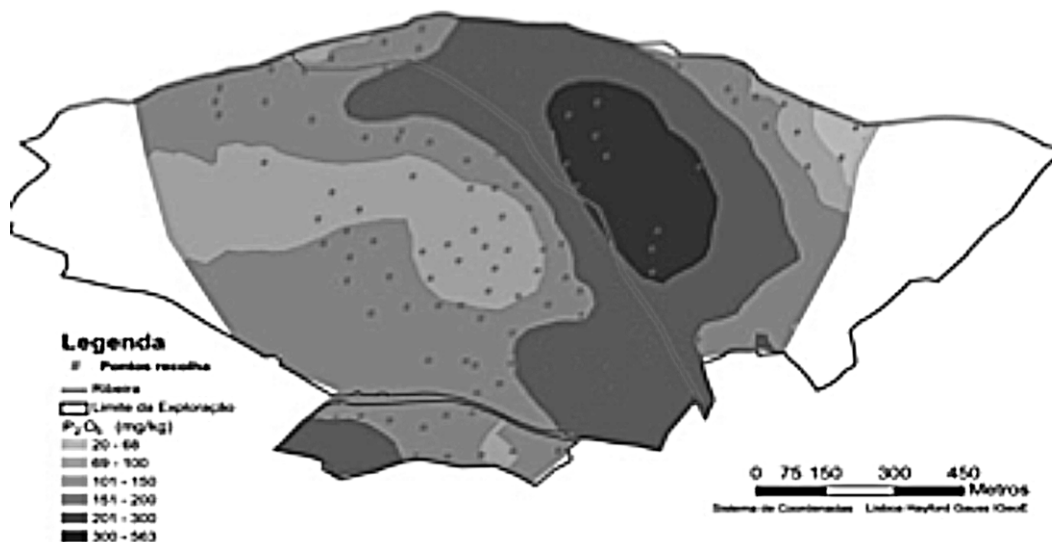


Figura 3 – Distribuição espacial do P numa exploração agro-pecuária (Batista, 2009)

Como se referiu é frequente a sobre-fertilização com P do solo, o que tem conduzido a perdas de P para as águas de drenagem interna, de escoamento superficial e superficiais. A Tabela 1 ilustra o movimento descendente de P num Regossolo ocupado por um pomar de macieiras.

Observa-se um teor Muito Alto e Alto de P biodisponível no solo não só no horizonte A devido à fertilização como também no horizonte C devido ao transporte de P pelas águas de drenagem interna do solo.

Tabela 1 - Caracterização analítica de um perfil de um Regossolo com uso frutícola intensivo

Parâmetro/camada ou horizonte	Ap 0.0 - 0.40m Franco-Arenoso	C 0.40 - 0.75m Franco	C 0.75 - 1.0m Franco-Arenoso
Classe Textural			
Argila (%)	19,4	17,3	19,2
Limo (%)	14,0	18,6	18,0
Areia (%)	66,7	70,2	62,7
pH (H ₂ O)	5,8 (Pouco Ácido)	4,8 (Ácido)	5,0 (Ácido)
P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	347 (Muito Alto)	140 (Alto)	166 (Alto)

Resultados experimentais indicam os seguintes níveis críticos de P no solo quantificado pelo método de Olsen (Olsen et al., 1954): 1- perdas para águas de drenagem: 21 mg P kg⁻¹ (Horta e Torrent, 2007b; Zhang et al., 2005), 60mg P kg⁻¹ (Heckrath et al., 1995); 2-perdas para águas de escoamento superficial: 57 mg P kg⁻¹ (Horta e Torrent, 2007b), 33 mg kg⁻¹; (McDowell e Sharpley, 2001) 3- para águas superficiais: 56 mg P kg⁻¹ (Horta e Torrent, 2007b). Estes valores de P no solo não deverão ser excedidos de forma a minimizar o transporte de P para a água e portanto minimizar o efeito sobre a eutrofização dos cursos de água. Em princípio não conduzem a teores de P em solução

aquosa superiores a 0,1 mg P L⁻¹ em águas de drenagem, superiores a 0,05 mg P L⁻¹ em águas de escoamento superficial ou superiores a 0,035 mg P L⁻¹ em águas superficiais, considerados como valores críticos para a eutrofização. A questão que se coloca é se permitem efectuar uma actividade agrícola com níveis de produção e rendibilidade adequados. A Tabela 2 mostra que é possível manter um nível de fertilidade do solo adequado à nutrição das culturas (classe de fertilidade média) e ao mesmo tempo minimizar o transporte de P para as águas de drenagem interna do solo e de escoamento superficial.

Tabela 2- Classes de fertilidade do solo

P O mg kg ⁻¹ (Egnér et al., 1960) < = 25	P mg kg ⁻¹ (Egnér et al., 1960) 11	Classe de Fertilidade Muito Baixa	P mg kg ⁻¹ (Olsen et al., 1954) ≤ 8
26-50	11-22	Baixa	9-13
51-100	22-44	Média	14-23
101-200	44-87	Alta	24-41
> 200	> 87	Muito Alta	> 41

A classe de fertilidade média permite a obtenção de uma produção relativa das culturas sem recurso à utilização de fertilizantes fosfatados entre 75-95%.

Conclusões

Só com uma rigorosa gestão da fertilidade do solo em P será possível minimizar os efeitos ambientais que a actual sobre-utilização e sobre-exploração deste elemento tem conduzido.

Deste modo será muito importante o desenvolvimento de novos produtos fertilizantes de forma a minimizar o recurso a fertilizantes fosfatados, nomeadamente produtos que contenham P a partir de outras origens como por exemplo produtos compostados a partir de resíduos orgânicos com P ou fertilizantes com enzimas ou misturas de microrganismos que estimulem a mineralização do P orgânico do solo aumentando o teor em P biodisponível. A utilização de boas práticas agrícolas

contemplando as medidas de conservação do solo e da água, o planeamento racional da fertilização e a monitorização da fertilidade do solo são aspectos imprescindíveis.

Referências bibliográficas

- Batista M. 2009. *Gestão do solo na Quinta da Sra. de Mércules*. Tese e Mestrado em Gestão Agro-Ambiental de Solos e Resíduos. Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Heckrath, G. Brooks P. C., Poultron P. R. e Goulding K.W.T. 1995. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentration in the Broadbalk experiment. *Journal of Environmental Quality* 24:904-910.
- Egnér H., Riehm H., Domingo W.R. 1960. Untersuchungen über die chemische bodenanalyse als grundlag für die beurteilung des nährstoffzustandes der boden. II *Chemische extraktionsmethoden*

zur phosphor, und kalium-bestimmung,
Kunglia Lantbrukshogskolans Annaler
26:199-215.

FAO 2005. *Agricultural data FAOSTAT*.
Disponível em: <http://faostat.fao.org>; 3-10-
2005.

Horta M.C., Torrent J. 2007a. Phosphorus
desorption kinetics in relation to
phosphorus forms and sorption properties
of Portuguese acid soils. *Soil Science*
172:631-638.

Horta M.C., Torrent J. 2007b. The Olsen P
method as an agronomic and
environmental test for predicting phosphate
release from acid soils. *Nutrient Cycling in
Agroecosystems* 77:283-292.

Marschner H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher
Plants*. 2ª ed., Academic Press.

McDowell R., Sharpley A., Brookes P. , Poulton
P. 2001. Relationship between soil test
phosphorus and phosphorus release to
solution. *Soil Science* 166:137 149.

Olsen S., Cole C., Watanabe F., Dean L. 1954.
Estimation of available phosphorus in soils
by extraction with sodium bicarbonate.
USA. United States Department of
Agriculture. *Circular Nº 939*, Washington
D.C. 19 pp.

Runge-Metzger A. 1995. Closing the cycle:
Obstacles to efficient P management for
improved global food security. Ch 3:27 42,
In: *Phosphorus in the Global Environment,
Transfers, Cycles and Management*. Scope
54. Ed. Holm Tiessen, John Wiley and
Sons, New York.

Phosphorus cycle -
<http://msucares.com/crops/soils/images/phosphorus.gif> (25-01-2010).

Scharpley A.N., Chapra S.C., Wedepohl R.,
Sims J.T., Daniel T.C., Reddy K.R. 1994.
Managing agricultural phosphorus for
protection of surface waters: Issues and
options. *Journal of Environmental Quality*,
23:437 451.

Schwertmann U. 1964. Differenzierung der
Eisenoxide des Bodens durch Extraktion
mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschrift für
Pflanzenernährung Düngung und
Bodenkunde* 105: 194–202.

Torrent J, Barberis E., Gil-Sotres F. 2007.
Agriculture as a source of phosphorus for
eutrophication in southern Europe. *Soil Use
and Management*, **29** (Suppl. 1):25-35.

Zhang G. L., Burghardt W., Yang J. L. 2005.
Chemical criteria to assess risk of
phosphorus leaching from urban soils.
Pedosphere 15: 72 77.