

PASTAGENS TEMPORÁRIAS NA ROTAÇÃO COMO FORMA DE PROMOVER A FERTILIDADE DO SOLO*

Margarida Arrobas, Ana Marília Claro, Isabel Q. Ferreira, M. Ângelo Rodrigues
Centro de Investigação de Montanha; ESA - Instituto Politécnico de Bragança
Campus de Sta Apolónia, ap. 1172, 5301-855 Bragança. E-mail: marrobas@ipb.pt

RESUMO

A rotação de culturas e a introdução de pastagens temporárias na rotação são aspetos centrais em agroecologia. Neste trabalho avaliou-se o efeito da inclusão na rotação de uma pastagem temporária na fertilidade do solo e na produção de matéria seca de milho silagem por comparação com o cultivo de milho em monocultura. Após cinco anos de pastagem, os teores de C orgânico e N total no solo foram superiores aos valores registados numa folha cultivada com monocultura de milho em 13 273,6 kg ha⁻¹ e 1261,7 kg ha⁻¹, respetivamente. A matéria seca produzida pelo milho cultivado após a pastagem foi de 15,3 Mg ha⁻¹, enquanto a produção em monocultura se ficou por 8,8 Mg ha⁻¹. Os resultados mostram a importância da pastagem temporária no aumento da fertilidade do solo e no incremento da produtividade da cultura seguinte.

PALAVRAS-CHAVE: Rotação de culturas; *Ley-farming*; Pastagens temporárias; Fertilidade do solo, milho.

* Comunicação apresentada na XXXIII Reunião da SPPF. Elvas, Maio de 2012
Os trabalhos publicados neste volume são da inteira responsabilidade dos autores

LEGUME-BASED LEYS IN A ROTATION AS A MEAN OF IMPROVING SOIL FERTILITY

ABSTRACT

Crop rotation is a central topic in agroecology. In this study the effects of the introduction of a legume-based leys component in a field rotation on soil fertility and on dry matter yield of silage maize grown after the leys component in comparison to maize grown in monoculture were evaluated. After five years of the introduction of the leys component, the organic carbon and total nitrogen in the soil were 13 273,6 kg ha⁻¹ and 1261,7 kg ha⁻¹, respectively, higher than the values recorded in the soil under maize monoculture. The dry matter produced by corn grown after the five-years leys was 15,3 Mg ha⁻¹, while the maize production after five years of monoculture was only 8,8 Mg ha⁻¹. The results show the importance of the leys component in the increment in soil fertility and in the productivity of the following crop.

Keywords: Crop rotation; Ley-farming; Soil fertility; Maize.

1 - INTRODUÇÃO

A rotação de culturas é o aspeto central da agroecologia. Os benefícios da rotação de culturas são conhecidos desde a antiguidade, aparecendo em escritos chineses, gregos, egípcios e romanos (Power, 1990). No século XIX, a agricultura entrou numa nova era com a rotação de Norfolk. Consistia em quatro culturas produtivas, sem pousio, que permitia “manter” a fertilidade do solo (Knox *et al.*, 2011). A rotação de Norfolk original incluía rutabaga (sachada) – cevada de Primavera + sementeira de trevo violeta (cereal) – trevo violeta (leguminosa) – trigo (cereal). Apesar de estarem amplamente reconhecidas as vantagens deste tipo de rotação, em ambiente mediterrânico foi sempre difícil de implementar, pela dificuldade em encontrar culturas que a viabilizassem. Em Portugal, por exemplo, a rotação S-C-L-C foi sempre muito mais um exercício académico do que uma realidade prática.

O desenvolvimento do processo Haber-Bosch, para a fixação industrial de azoto (N), reduziu a importância da rotação, permitindo a intensificação e a especialização da

agricultura (Smil, 2001). Contudo, a vulnerabilidade da monocultura às crises energéticas e a sua ligação às crescentes preocupações ambientais, tem devolvido centralidade à rotação de culturas no contexto da agroecologia.

A rotação de culturas quando bem estabelecida permite reduzir a aplicação de pesticidas e fertilizantes, com vantagens ambientais inequívocas. As leguminosas têm um papel determinante nas rotações, habitualmente classificadas como culturas melhoradoras, porque têm acesso ao N atmosférico através de relações simbióticas que estabelecem com microrganismos da família *Rhizobiaceae*. As leguminosas podem satisfazer as suas necessidades em N e fornecer N à cultura que se segue na rotação (Trabelsi *et al.*, 2012).

A adoção de sistemas de *ley-farming*, com a introdução de culturas perenes na rotação, potencia os benefícios ecológicos das rotações, sobretudo quando estão também envolvidas leguminosas. Desta forma, reduz-se significativamente o uso de energia, consegue-se um controlo eficiente das infestantes e de outros problemas fitossanitários e recupera-se a fertilidade do solo (Liebman e Janke, 1990; Tivy, 1997).

Na Quinta do Poulão da Escola Superior Agrária de Bragança está implementada uma rotação que consiste num afolhamento em duas folhas e que contempla uma pastagem de quatro anos e uma sequência de quatro anos de monocultura de milho silagem. No final dos quatro anos as culturas trocam de folha. A rotação assim constituída é designada de octoanual de regadio, uma vez que o curso da rotação é de oito anos e quer o milho quer a pastagem são regados por aspersão.

Neste trabalho procura avaliar-se o valor ecológico da introdução da pastagem na rotação. No ano da mudança de folha entre a pastagem e o milho constituiu-se um ensaio que incluiu uma parte da folha que vinha sendo cultivada com milho e uma parte da folha da pastagem. O ensaio consistiu em estudar o comportamento de milho cultivado sobre um solo que tinha estado com pastagem e de milho cultivado sobre um solo que tinha estado com monocultura de milho. Apresentam-se como resultados o teor de carbono (C) orgânico e N total no solo no ano de mudança da rotação e o estado nutritivo das plantas de milho e a produção de forragem após o primeiro ano de cultivo nas condições referidas.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi instalado em Bragança na Quinta do Poulão da Escola Superior Agrária. O clima é do tipo mediterrânico com influência atlântica. A temperatura média do ar e a precipitação acumulada da normal climatológica 1970-2000 são, respetivamente, 12,3 °C e 758,3 mm. O solo da folha de ensaio é um fluvissoilo êtrico de aluvião. A caracterização geral das folhas de ensaio feita com base em amostras de solo colhidas antes do estabelecimento da experiência numa profundidade 0-20 cm é apresentada no quadro 1.

Quadro 1. Principais características do solo antes do início do estabelecimento da experiência nas folhas previamente cultivadas com milho e pastagem temporária.

Table 1. Selected properties of the soils from the plots under leys and maize-monoculture, before the establishment of the field trial.

	MO ¹ g kg ⁻¹	pH H ₂ O ²	P ₂ O ₅ ³ mg kg ⁻¹	K ₂ O ³ mg kg ⁻¹	BT ⁴ cmol _c kg ⁻¹
Milho	2,5	6	53	113	20
Pastagem temp.	3	5,9	60	84	24,8

¹Matéria orgânica (Walkley-Black); ²relação solo/água (1/2,5); ³Egner-Rhiem; ⁴Bases de troca (solução de acetato de amónio, pH 7,0)

O ensaio foi instalado sobre uma rotação octoanual de regadio do tipo M₄-Pt₄, em que M e Pt representam, respetivamente, milho silagem e pastagem temporária, ocupando ambas as culturas o terreno durante quatro anos. A rotação está instalada sob pivô central. A pastagem foi originalmente semeada com trevo branco (*Trifolium repens*) cvs. Haifa e Ladino, azevém perene (*Lolium perenne*) cv. Victorian, azevém híbrido (*L. multiflorum* x *L. perenne*) cv. Manawa e festuca alta (*Festuca arundinacea*) cv. Clarine. As leguminosas foram semeadas à razão de 2,5 kg ha⁻¹ e as gramíneas com 4,5 kg ha⁻¹. Ao longo dos anos, a folha da pastagem e a folha de monocultura de milho durante o Inverno, foram pastoreadas com bovinos de leite da raça Frisia e bovinos de carne da raça Mirandesa. Nos anos a que se reporta esta experiência, a Quinta do Poulão tem tido uma média de 24 bovinos numa área de pastoreio de 12 ha, perfazendo 2 cabeças normais por hectare.

Durante o período da rotação a folha de milho foi regularmente fertilizada com estrume de bovino (10 a 15 toneladas por hectare) e com a aplicação de aproximadamente 200 kg de superfosfato 18% (P_2O_5) por hectare e ano. Em cobertura aplicaram-se aproximadamente 250 kg de nitrato de amônio (20,5 % N) por hectare e ano. A pastagem temporária foi apenas fertilizada em fevereiro de 2009 com a aplicação de 250 kg de superfosfato 18% (P_2O_5) e 200 kg de nitrato de amônio (20,5 % N) por hectare.

Apesar da rotação estar definida com octoanual de regadio, em que ambas as culturas devem estar quatro anos no terreno, por falta de oportunidade para alterar a rotação no ano previsto, em outubro de 2011, quando a experiência foi estabelecida, a pastagem e a monocultura estavam já no quinto ano, um a mais do que o previsto na rotação. Assim, em rigor, o ensaio foi estabelecido sobre um prado que já tinha cinco anos e sobre uma sequência de cinco anos de cultivo de milho em monocultura. Na linha divisória das folhas criaram-se duas pequenas parcelas contíguas, uma de cada lado, ocupando terreno previamente ocupado com milho e pastagem. Cada uma destas parcelas tem uma área de 54 m² e foi cultivada com milho na Primavera de 2012.

No início do Outono de 2011, antes do início dos trabalhos de preparação do solo, foram colhidas amostras de terra em ambas as parcelas. Colheram-se amostras na profundidade 0-20 cm, para uma caracterização geral do campo experimental e amostras mais detalhadas, nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, para determinação de C orgânico e N total. As amostras foram secas ao ar e passadas num crivo com malha de 2 mm para separação da terra fina. Determinou-se: pH_(H₂O) (relação massa/volume 1:2,5); C facilmente oxidável pelo método de Walkley-Black; C orgânico total por combustão seca; fósforo e potássio extraíveis pelo método Egner-Riehm; bases de troca (cálcio, magnésio, potássio e sódio) por extração dos catiões com uma solução de acetato de amônio; e N total pelo método de Kjeldahl.

No Outono de 2011, após a colheita das amostras de solo, as folhas foram mobilizadas com charrua de aivecas a uma profundidade próxima de 25 cm. Na Primavera seguinte aplicou-se fósforo e potássio em fertilização de fundo à razão de 100 kg ha⁻¹ de superfosfato 18% (P_2O_5) e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (60% K₂O). O milho foi semeado em 20 de maio de 2012 com semeador monogrão de duas linhas numa densidade equivalente a 100 000 plantas por hectare. Utilizou-se a variedade

híbrida PR35Y65 do grupo FAO 500. Durante a estação de crescimento o ensaio foi regado por aspersão a partir do pivô central, em simultâneo com a rega efetuada nas restantes culturas instaladas sob o pivô.

O estado nutritivo das plantas foi monitorizado com um aparelho portátil (SPAD-502 Chlorophyll meter) que estima o teor de clorofila, medindo a transmitância da luz através das folhas (Blackmer e Schepers, 1994). O teor de clorofila é um bom indicador do estado nutritivo azotado, na medida em que a maior parte do N das células se encontra associado às moléculas de clorofila (Lopez-Cantarero *et al.*, 1994). As leituras foram efetuadas em 31 de julho no início da fase de lançamento da bandeira. As leituras foram tomadas no segundo terço das folhas a contar da base, escolhendo a folha oposta à primeira espiga.

O milho foi colhido em amostras lineares de 1,33 m para perfazer um metro quadrado, tendo em conta uma distância na entrelinha de 0,75 m. As plantas foram cortadas pela base, desfeitas em pequenas pedaços com facas e secas até massa constante em estufa de ventilação forçada regulada a 70 °C para determinação da matéria seca das amostras.

3 – RESULTADOS

O C orgânico no solo no talhão cultivado pelo quinto ano consecutivo com milho manteve-se em valores de 14,5 e 14,1 g kg⁻¹, respetivamente nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade (Figura 1). Após cinco anos sob pastagem, os valores de C orgânico no solo variaram entre 22,2 e 12,3 g kg⁻¹, respetivamente nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm.

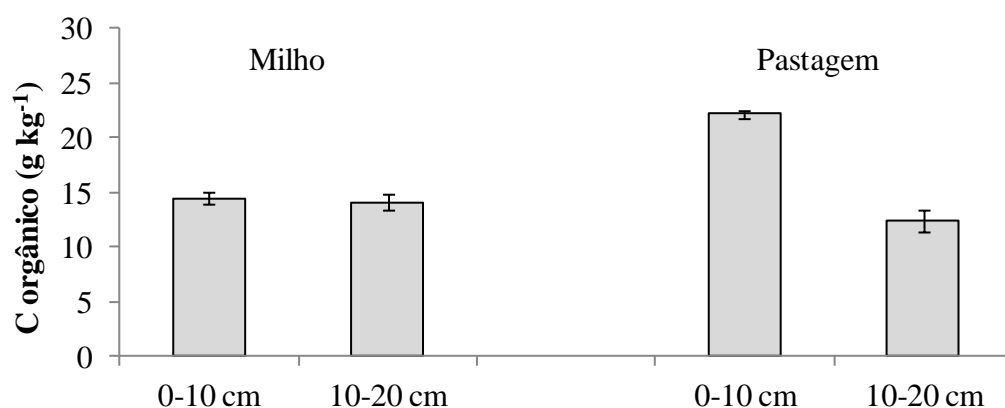


Figura 1. Carbono orgânico nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm nas parcelas cultivadas com milho durante uma sequência de cinco anos e nas parcelas mantidas com pastagem durante igual período. Os segmentos de reta indicam o intervalo de confiança da média ($\alpha < 0,05$).

Figure 1. Organic carbon in the 0-10 cm and 10-20 cm soil layers in the plots under the leys and the maize-monoculture for five years. Straight lines indicate the mean confidence limits ($\alpha < 0.05$).

O N total no solo seguiu uma tendência semelhante ao C orgânico. Os valores de N no talhão com cinco anos de cultivo de milho foram de 0,21 e 0,25 g kg⁻¹ nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, enquanto os valores registados após cinco anos de pastagem foram de 1,25 e 0,34 g kg⁻¹, respetivamente nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm (Figura 2).

A diferença dos valores de N total no solo nas folhas com pastagem e milho foi mais acentuada que a diferença nos valores de C orgânico entre as duas folhas, em particular na camada superficial. Na camada 0-10 cm, o N total na folha da pastagem foi 6,0 vezes maior que na folha de milho, enquanto na mesma camada a diferença do C orgânico entre pastagem e milho foi de apenas 1,5 vezes (Figuras 1 e 2).

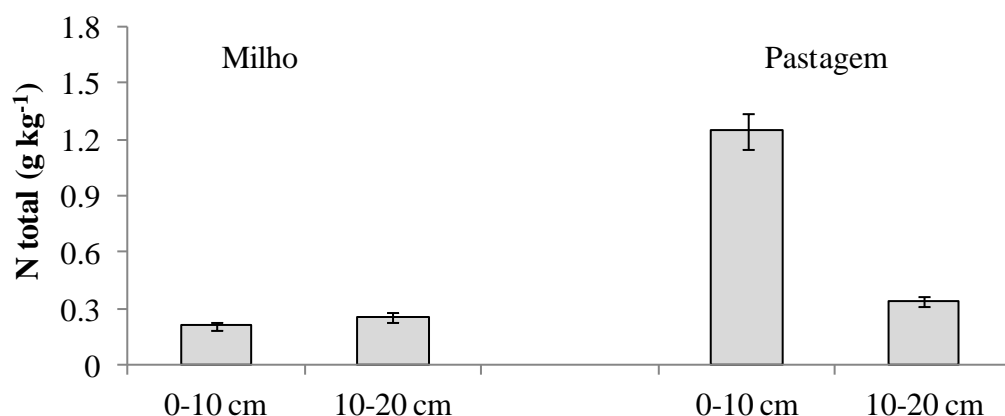


Figura 2. Azoto total nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm em parcelas cultivadas com milho durante uma sequência de cinco anos e em parcelas mantidas com pastagem durante igual período. Os segmentos de reta indicam o intervalo de confiança da média ($\alpha < 0,05$).

Figure 2. Total nitrogen in the 0-10 cm and 10-20 cm soil layers in the plots under the leys and the maize-monoculture for five years. Straight lines indicate the mean confidence limits ($\alpha < 0.05$).

Durante cinco anos, a camada 0-20 cm da folha com pastagem acumulou 13 273,6 kg C ha⁻¹, relativamente aos valores registados após cultivo de cinco anos de milho, o que representa um sequestro anual de C 2 654,7 kg ha⁻¹. No caso do N total, o aumento ao longo de cinco anos foi de 1261,7 kg ha⁻¹, representando um acréscimo anual de 252,3 kg N ha⁻¹ (Figura 3).

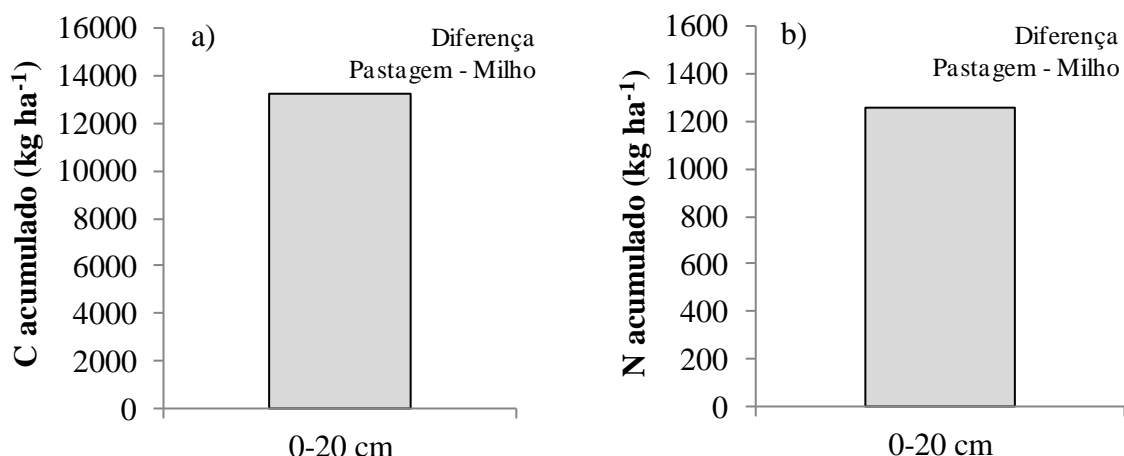


Figura 3. Diferença na quantidade acumulada de a) carbono e b) azoto na camada 0-20 cm entre as folhas mantidas com pastagem e milho durante cinco anos.

Figure 3. Difference in the accumulated amount of a) organic carbon and b) total nitrogen in the 0-20 cm soil layer between the plots under the leys and the maize-monoculture for five years.

A cultura do milho instalada no solo que tinha estado sob prado durante cinco anos revelou um estado nutritivo azotado mais elevado que a cultura do milho a seguir a cinco anos de monocultura. Os valores SPAD, indicadores do teor de clorofila das folhas e, indiretamente, do estado nutritivo azotado, foram de 52,9 e 42,1, respetivamente no talhão em que o milho foi cultivado pela primeira vez sob prado e ao sexto ano de cultivo de milho em monocultura (Figura 4a).

A produção total de biomassa de milho foi significativamente mais elevada nos talhões em que se cultivou milho após cinco anos de pastagem comparativamente com a produção de biomassa ao sexto ano de cultivo de milho. Os valores registados expressos em matéria seca foram de 15,3 e 8,8 Mg ha⁻¹, respetivamente (Figura 4b).

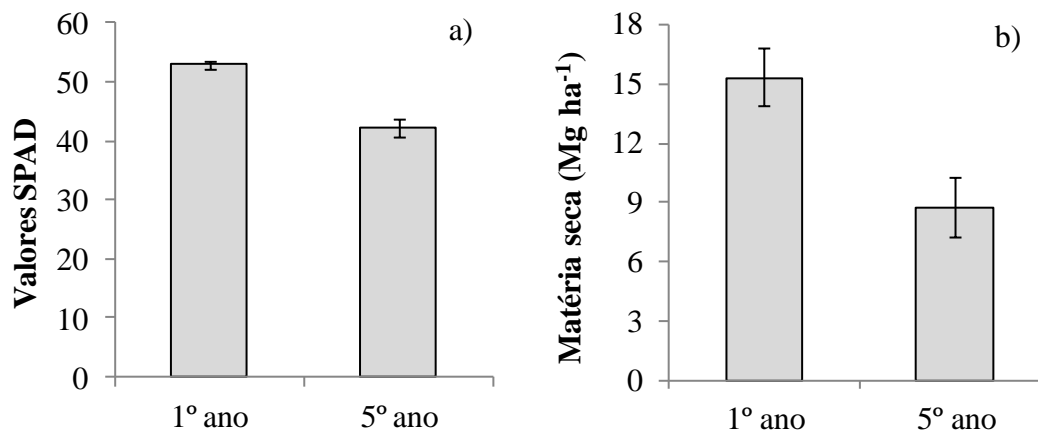


Figura 4. a) Valores de clorofila-SPAD no lançamento da bandeira e b) produção de matéria seca total na colheita na cultura do milho no 1º ano de cultivo após o solo estar sob um prado de cinco anos e ao 6º ano de monocultura de milho. Os segmentos de reta indicam o intervalo de confiança da média ($\alpha < 0,05$).

Figure 4. a) Chlorophyll-SPAD values at flowering stage and b) dry matter yield at harvest of maize grown in the first year in the plots under the leys and the maize-monoculture for five years. Straight lines indicate the mean confidence limits ($\alpha < 0.05$).

4 – DISCUSSÃO

Os cinco anos de pastagem originaram um aumento significativo no C orgânico do solo. Após a introdução da pastagem, o solo deixou de ser mobilizado e aumentou o pisoteio pelos animais, reduzindo-se o arejamento do solo e, conseqüentemente, as condições favoráveis à atividade dos microrganismos aeróbios. Com restrição na difusão de oxigênio os substratos orgânicos ficam mais protegidos da decomposição aeróbia (Jenkinson, 1988). Apesar da cultura do milho gerar maior produção de biomassa e potencialmente mais resíduos orgânicos no solo, as condições conservadoras que persistiram sob a pastagem fizeram com que nesta folha aumentasse o sequestro de C ao longo do tempo. De uma maneira geral, as rotações que incluem culturas perenes, em particular leguminosas, são muito efetivas no incremento do teor de C no solo, quando comparadas com as que contêm apenas culturas anuais (Robles e Burke, 1997; Gentile *et al.*, 2005).

No solo da folha com pastagem gerou-se um gradiente de C orgânico com a profundidade. Enquanto no solo mobilizado e cultivado com milho, o teor de C orgânico foi equivalente nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, devido à mistura das camadas do solo pela mobilização, na pastagem acumulou-se mais C à superfície. Apesar do C também se poder depositar em profundidade devido à atividade dos sistemas radiculares (Bell *et al.*, 2012), na camada superficial deposita-se mais C devido à maior densidade radicular e à incorporação de C a partir da superfície pelas acumulação de biomassa morta e senescente, pela atividade de minhocas e outra macrofauna do solo e pelos dejetos dos animais.

Na pastagem, a quantidade de N total aumentou de forma mais que proporcional ao aumento registado no C orgânico. Isto significa que a razão C/N do substrato orgânico diminuiu com o aumento do teor de matéria orgânica do solo. As leguminosas, por terem resíduos mais ricos em N, têm normalmente este efeito (Power, 1990). Apesar de os substratos orgânicos mais ricos em N estarem vulneráveis à mineralização, as condições de redução de oxigénio terão permitido a sua acumulação no solo da pastagem. Para além da componente leguminosa da pastagem, terá contribuído para a diminuição da razão C/N da matéria orgânica do solo a deposição continuada dos dejetos (fezes e urinas) dos animais ricos em compostos azotados.

Ao fim de cinco anos foram sequestrados 13 273,6 kg C ha⁻¹ e 1261,7 kg N ha⁻¹, originando valores médios anuais de 2 654,7 kg C ha⁻¹ e 252,3 kg N ha⁻¹, respetivamente. A capacidade de fixação de N das leguminosas é muito variável, dependendo da espécie cultivada e das condições de crescimento das plantas. Valores de N fixados superiores a 200 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ são frequentemente observados (Elgersma e Hassink, 1997) se bem que também seja possível encontrar na bibliografia registos inferiores a 18 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (Riffkin *et al.*, 1999). O contributo direto das plantas para o N do solo faz-se sobretudo através dos seus sistemas radiculares. Contudo, os valores observados nesta experiência são muito superiores ao que os sistemas radiculares poderiam só por si adicionar. Tudo indica que, tratando-se de uma pastagem, grande parte do N que se encontra na matéria orgânica do solo tenha sido depositada via dejetos dos animais, num processo de imobilização biológica líquida de N.

As plantas de milho cultivadas a seguir à pastagem revelaram um melhor estado nutritivo azotado que aquelas que foram cultivadas a seguir à monocultura de milho. Os

valores são elevados, mesmo se comparados com resultados obtidos em outros estudos em talhões fertilizados (Blackmer e Schepers, 1994; Rodrigues *et al.*, 2006). Este resultado indica que a *pool* de N orgânico do solo começou a sofrer mineralização líquida logo após o solo começar a ser mobilizado para a preparação do solo para a sementeira do milho. Agora, com boas condições de arejamento, o substrato orgânico de baixa razão C/N pode ser mineralizado e contribuir para a nutrição azotada do milho.

A produção de milho foi substancialmente superior no talhão previamente cultivado com pastagem comparativamente com o talhão que vinha sendo cultivado com milho. Atendendo a que os talhões foram sujeitos a adubação de fundo com fósforo e potássio e ao bom estado nutritivo azotado do milho do talhão anteriormente com pastagem, o principal fator responsável pela diferença na produção de biomassa foi, seguramente, o N disponibilizado pelo processo de mineralização/imobilização. De uma maneira geral, dada a importância do N nos agro-sistemas, os efeitos da rotação são por vezes divididos em efeitos do N e outros efeitos (Power, 1990). Os resultados deste trabalho parecem confirmar a tese referida, sem prejuízo de que outros fatores como, por exemplo, a menor incidência de infestantes tenham tido papel relevante.

5 – CONCLUSÕES

A inclusão de uma pastagem temporária numa rotação incrementa substancialmente a fertilidade do solo, traduzida neste trabalho por dois importantes fatores ecológicos: C orgânico e N total. A *pool* de N total foi particularmente elevada, deixando a evidência de que a redução do arejamento permitiu que o N fixado pela componente leguminosa da pastagem e o N libertado através das fezes e urina fosse imobilizado no solo. Este aspeto é importante pois pode significar a redução do impacte ambiental associado às perdas de N para o meio ambiente a partir dos dejetos dos animais. O milho cultivado a seguir a uma pastagem de longa duração apresentou melhor estado nutritivo azotado e maior produção de biomassa comparativamente com o seu cultivo em monocultura. O fator ecológico mais determinante para o resultado foi a mineralização de N que ocorreu, devido ao arejamento provocado pelos trabalhos de preparação do solo para a sementeira do milho.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se a José Rocha e João Condado Pires pelo apoio nos trabalhos de campo e a Rita Diz e Ana Pinto pelo apoio nos trabalhos laboratoriais. Financiado pelo Centro de Investigação de Montanha do Instituto Politécnico de Bragança.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELL, L.W.; SPARLING, B.; TENUTA, M.; ENTZ, M.H. (2012). Soil profile carbon and nutrient stocks under long-term conventional and organic crop and alfalfa-crop rotations and re-established grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 158: 156-163.
- BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. (1994). Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. *Commun. Soil Science and Plant Analysis*. 25: 1791-1800.
- ELGERSMA, A.; HASSINK, J. 1997. Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant Soil*. 197: 177-186.
- GENTILE, R.; MARTINO, D.; ENTZ, M. (2005). Influence of perennial forages on subsoil organic carbon in a long-term rotation study in Uruguay. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 105: 419-423.
- JENKINSON, D.S. (1988). Soil organic matter and its dynamic. In Wild, A. (ed.). *Russell's soil conditions and plant growth*, 11th ed., Longman Scientific & Technical, NY, USA. p. 564-607.
- KNOX, O.G.G.; LEAKE, A.R.; WALKER, R.L.; EDWARDS, A.C.; WATSON, C.A. (2011). Revisiting the multiple benefits of historical crop rotations within contemporary UK agricultural systems. *Journal of Sustainable Agriculture*. 35: 163-179.
- LIEBMAN, M.; JANKE, R.R. (1990). Sustainable soil fertility practices. In FRANCIS, C.A.; FLORA, C.B.; KING, L.D. (Eds.). *Sustainable agriculture in temperate zones*. John Wiley & Sons, Inc., NY, USA. p. 144-177.

- LOPEZ-CANTARERO, I.; LORENTE, F.A.; ROMERO, L. (1994). Are chlorophylls good indicators of nitrogen and phosphorus levels. *Journal of Plant Nutrition*. 17: 979-990.
- POWER, J.F. (1990). Legumes and crop rotations. In FRANCIS, C.A.; FLORA, C.B.; KING, L.D. (Eds.). *Sustainable agriculture in temperate zones*. John Wiley & Sons, Inc., NY, USA. p. 178-204.
- RIFFKIN, P.A.; QUIGLEY, P.E.; CAMERON, F.J.; PEOPLES, M.B.; THIES, J.E. (1999). Annual nitrogen fixation in grazed dairy pastures in South-western Victoria. *Australian Journal of Agricultural Research*. 50: 273-282.
- ROBLES, M.D.; BURKE, I.C. (1997). Legume, grass, and conservation reserve program effects on soil organic matter recovery. *Ecological Applications*. 7: 345-357.
- RODRIGUES, M.A.; PEREIRA, A.; CABANAS, J.E.; DIAS, L.; PIRES, J.; ARROBAS, M. (2006). Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. *European Journal of Agronomy*. 25: 328-335.
- SMIL, V. (2001). *Enriching the earth. Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformations of world food production*. The MIT Press, USA. 338 p.
- TIVY, J. (1997). *Agricultural ecology*. Addison Wesley Longman Limited, U.K. 280 p.
- TRABELSI, D.; HAMMAR, H.B.; MENGONI, A.; MHAMDI, R. (2012). Appraisal of the crop-rotation effect of rhizobial inoculation on potato cropping systems in relation to soil communities. *Soil Biology & Biochemistry*. 54: 1-6.