

Efeito do tipo de solo na imobilização do azoto por palha em decomposição no Sul de Portugal

Effect of soil type on the N immobilization by decomposing straw at the South of Portugal

P. Alpendre^{1,2}, M. Carvalho^{1,2}, M. Figo^{1,2} & H. Carolino^{1,2}

RESUMO

É frequente em muitos sistemas agrícolas do Sul de Portugal deixarem-se os resíduos das culturas sobre o solo após a colheita, sendo posteriormente queimados ou incorporados no solo durante o Outono. Não sendo correcta a queima destes resíduos ricos em C, é preferível incorporá-los no solo, promovendo-se a imobilização do azoto (N) mineral, derivado da mineralização da Matéria Orgânica do Solo (MOS) e dos resíduos. Reduz-se deste modo a elevada perda potencial de nitrato (NO_3^-) por lixiviação, devido aos elevados montantes de precipitação que podem ocorrer no período de Outono/Inverno do clima do Sul de Portugal.

É necessário encontrarem-se meios para diminuir a perda de N por lixiviação, nos diferentes sistemas agrícolas e identificar as medidas correctas para reter o N durante mais tempo no sistema solo-planta. Uma das possibilidades é sincronizar, a mineralização do N dos resíduos, com o respectivo consumo pelas plantas, ou através da imobilização do N pelos microorganismos nos resíduos ricos em C.

O objectivo deste trabalho foi estudar o efeito de dois solos contrastantes na sua fertilidade, na imobilização e posterior remineralização do N, respectivamente num solo franco-arenoso (Pmg) de Évora e num argiloso (Bvc) de Beja.

Incubou-se palha de trigo dentro de sacos de rede de nylon, com períodos de 1, 4, 8 e 12 meses de amostragem. O ensaio consistiu em três tratamentos: sem N, com adição de $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ e adição de $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$. Determinou-se a concentração total em N e em C na palha e nos solos e mediu-se a abundância em ^{15}N . Comparou-se a proporção remanescente do montante inicial de palha incubada, a concentração em N-total nos resíduos e a imobilização em ^{15}N no resíduo da palha.

Durante o primeiro mês o ^{15}N foi sendo incorporado à medida que a massa do resíduo e o teor de N-total decresceram. Subsequentemente ocorreu imobilização líquida e o teor de N-total aumentou, apesar de com taxas diferentes consoante o solo. A incorporação de $^{15}\text{NO}_3$ foi maior no solo Bvc, ocorrendo o oposto com $^{15}\text{NH}_4$ no solo Pmg.

¹Departamento de Fitotecnia, Universidade de Évora, 7002-554 Évora e-mail: pfa@uevora.pt

²Instituto das Ciências Agrárias Mediterrânicas (ICAM)

ABSTRACT

In many agricultural systems in the south of Portugal leaving crop residues on the soil surface after cropping is a common practice. During autumn these residues are either burned or incorporated in the soil. The latter is preferable as the residues are rich in C and consequently promoting mineral nitrogen immobilization both from the soil organic matter and residues mineralization. This reducing nitrate potential high loss by leaching caused by the high rainfall, which usually, occurs in autumn and winter in southern Portugal.

It is necessary to find ways to reduce N loss by leaching, understand how different agricultural systems influence this process and identify ways to retain N for a longer period in the system soil-plant. One possibility is the synchronization of the N mineralization with either their consumption by the plants, through N immobilization in the residues rich in C.

The goal of this work was to study the effect of two soils of contrasting fertility in N immobilization and subsequent mineralization, namely a sandy-loam soil (Pmg) in Évora and a clay soil (Bvc) in Beja.

Wheat straw was incubated in nylon net bags for one year, with sampling periods of 1, 4, 8 and 12 months. The trial was composed of 3 treatments: without N, with addition of $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ and with addition of $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$. N and C total concentration in the straw and soil was determined and ^{15}N abundance was measured. The remaining proportion of the initial quantity of straw was incubated and the residuals total N concentration and ^{15}N immobilization was compared.

During the first month as ^{15}N was being incorporated in the soil the residual mass and total N content decreased. Subsequently net immobilization started to occur and total N content increased, though with different

rates according to the soil type. In Bvc soil $^{15}\text{NO}_3$ highest incorporation was observed while in Pmg soil the same was observed with $^{15}\text{NH}_4$.

INTRODUÇÃO

Em muitos sistemas agrícolas do Sul de Portugal é frequente deixarem-se os resíduos das culturas sobre o solo à colheita, sendo posteriormente queimados ou incorporados no solo durante o Outono. Com temperaturas do solo relativamente elevadas no Inverno, é previsível que a mineralização do N orgânico se mantenha activa, tendo como resultado que elevados montantes de precipitação arrastem o azoto (N) mineral do solo. Não sendo correcta a queima dos resíduos ricos em carbono (C) (especialmente quando com muita palha), é preferível incorporá-los no solo ou mantê-los à superfície, de modo a aumentar-se a imobilização do N mineral existente no solo no Outono. Permite-se deste modo reduzir as elevadas as perdas de nitrato (NO_3^-) por lixiviação que podem ocorrer no período de Outono/Inverno.

É necessário, encontrarem-se meios para diminuir a elevada perda de N por lixiviação, e compreender-se como os diferentes sistemas agrícolas influenciam a perda do NO_3^- durante o Outono e Inverno, porque o NO_3^- derivado dos solos agrícolas é o grande responsável pelo aumento da poluição dos lençóis aquáticos.

Uma das possibilidades de diminuir a perda de N por lixiviação é sincronizar e sinocar a mineralização do N derivado da Matéria Orgânica do Solo (MOS) e dos resíduos, com o consumo em N das plantas em crescimento, através da imobilização do N nos resíduos ricos em C pelos microorganismos do solo, retendo o N mais tempo no sistema solo/planta.

A imobilização do N nos resíduos ou no solo, ocorre tanto por processos bióticos envolvendo a massa microbiana do solo (Fog, 1988) como por reacções abióticas (Bosata & Agren, 1995). As informações sobre a influência das variáveis ambientais tais como o clima e os solos sobre a imobilização do N no solo, são muito limitadas na bibliografia internacional (Fog, 1988) e especialmente em Portugal (Alpendre, 2001).

O objectivo deste trabalho é estudar o efeito de dois solos, contrastantes na sua fertilidade, na extensão da imobilização do N nos resíduos em decomposição e a sua posterior remineralização. Comparou-se o efeito dos dois solos na imobilização do N por palha em decomposição em diferentes períodos de incubação no solo, através de dois veículos de N ao solo $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ e $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$.

MATERIAIS E MÉTODOS.

Solos e Clima

Os solos do ensaio foram, um Barro Castanho-Avermelhado Calcário muito Descarboxonado de dioritos (Bvc) e um Solo Mediterrâneo Pardo de quartzodioritos (Pmg), que se encontravam respectivamente em Beja e Évora, e foram descritos por (Cardoso, 1965). No Quadro 1 apresentam-se os principais parâmetros físicos e químicos de ambos os solos.

Os dados climáticos, dos últimos 30 anos

e dos anos do ensaio, são apresentados nos Quadros 2 e 3, respectivamente para Beja e Évora.

Ensaio de Campo

30 grama de matéria seca (MS) de palha de trigo, desfolhada, sem nós e cortada em pedaços de cerca de 2 cm, foram colocados dentro de sacos circulares (30 cm de diâmetro) de rede de nylon com 1 mm de malha e incubadas em cada solo. Em Outubro de 1993 a palha possuía um teor de N total de $3,8 \text{ g kg}^{-1}$ da MS e em Outubro de 1994, $6,0 \text{ g kg}^{-1}$ de N total da MS.

Foram instalados cilindros em PVC, com 32 cm de diâmetro, 30 cm de altura e parede de 0,5 cm, tendo sido inseridos no solo (por pressão) até 25 cm de profundidade.

Foram instalados 48 cilindros em cada local; para quatro épocas de colheita de palha incubada (1, 4, 8 e 12 meses), três tratamentos (sem N, com adição de $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ e com $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$) e quatro repetições. O ^{15}N adicionado equivaliu a 10 kg N ha^{-1} e o peso de palha correspondia a 3.700 kg ha^{-1} .

O solo do interior dos cilindros foi escavado a uma profundidade de 12 cm (cerca de 16 kg de peso fresco), crivado num crivo de 6 mm de malha, espalhado num plástico e borrifado com 50 cm^3 de solução contendo $0,0804 \text{ g}$ de N tanto na forma $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ como na forma de $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$, a 99,8% de ^{15}N .

Foram instalados 48 cilindros em cada local; para quatro épocas de colheita de

QUADRO 1 - Dados físicos e químicos de ambos os solos (Falta as unidades)

	El.Gross.	Argila	Limo	Areia Fina	Areia grossa	C orgânico g kg^{-1}	N total g kg^{-1}	pH (CaCl ₂)	T $\text{cmol}_e \text{ kg}^{-1}$
	-----%-----								
Bvc	0.0	60.7	23.7	10.3	5.3	0.55	0.039	7.0	25.8
Pmg	3.0	5.1	11.3	37.1	46.5	0.60	0.038	6.2	10.8

QUADRO 2 - Dados climáticos da estação Beja (ano normal e anos 93-94 e 94-95)

	Temperatura média			Precipitação Mensal			Evapotranspiração Mensal		
	normal	93/94	94/95	normal	93/94	94/95	normal	93/94	94/95
Outubro	17,7	15,4	18,6	55	111	35	72	67	60
Novembro	13,2	12,5	15,1	77	118	42	34	29	34
Dezembro	9,7	10,2	11,9	80	9	35	18	18	21
Janeiro	9,3	9,2	10,5	73	68	31	20	29	28
Fevereiro	10,4	10,5	11,5	72	89	49	35	36	41
Março	12,4	14,5	13,6	89	13	30	66	84	91
Abril	14,6	13,9	16,6	48	27	31	92	123	133
Mai	17,5	17,3	19,9	35	67	15	135	150	171
Junho	21,3	22,8	21,7	20	2	7	167	208	183
Julho	23,9	24,0	25,3	0	0	1	204	212	223
Agosto	23,9	23,9	25,7	1	6	0	188	195	211
Setembro	22,0	21,0	20,6	22	9	16	122	148	154
Ano	16,3	16,3	17,6	572	519	292	1153	1299	1350

palha incubada (1, 4, 8 e 12 meses), três tratamentos (sem N, com adição de $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ e com $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$) e quatro repetições. O ^{15}N adicionado equivaleu a 10 kg N ha^{-1} e o peso de palha correspondia a 3.700 kg ha^{-1} .

O solo do interior dos cilindros foi escavado a uma profundidade de 12 cm (cerca de 16 kg de peso fresco), crivado num crivo de 6mm de malha, espalhado num plástico e borrifado com 50 cm^3 de solução contendo

$0,0804 \text{ g}$ de N tanto na forma $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ como na forma de $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$, a 99,8% de ^{15}N .

Um círculo de rede de nylon de malha de 1 mm, foi colocado sobre o solo não perturbado no fundo do cilindro e sobre ele depositado metade do solo tratado, colocou-se o saco de nylon com a palha e de seguida o restante solo, deixando-se assim o saco entre duas camadas de solo tratado.

QUADRO 3 - Dados climáticos da estação Évora (ano normal e anos 93-94 e 94-95)

	Temperatura média			Precipitação Mensal			Evapotranspiração Mensal		
	normal	93/94	94/95	nor-	93/94	94/95	normal	93/94	94/95
Outubro	17,3	13,9	17,5	68	157	56	74	52	55
Novembro	12,7	11,9	14,3	78	95	64	34	27	29
Dezembro	10,2	9,7	11,1	82	8	38	20	15	20
Janeiro	9,2	8,6	10,0	87	79	43	23	28	27
Fevereiro	10,2	9,8	10,8	122	96	49	37	34	38
Março	11,8	14,5	13,6	55	5	17	71	83	95
Abril	13,4	13,2	16,7	53	27	21	103	121	130
Mai	16,3	15,9	19,0	36	96	18	146	131	162
Junho	20,1	21,5	21,5	25	0	1	172	198	167
Julho	23,0	22,3	24,6	5	0	16	206	195	211
Agosto	23,2	22,6	25,1	2	0	0	193	178	195
Setembro	21,6	20,0	20,1	25	0	43	127	139	131
Ano	15,7	15,3	17,0	638	563	366	1206	1201	1260

Casualizaram-se os três tratamentos de N e os quatro períodos de amostragem dentro de cada repetição.

Durante o período de incubação da palha, o solo de cada cilindro foi mantido livre de infestantes, manualmente, ficando estas na superfície do solo.

Em cada colheita de cada local (12 cilindros = 3 tratamentos * 4 repetições) foram retirados os sacos de palha e os vestígios de solo, e pesada a palha fresca. Amostrou-se a palha, metade foi liofilizada e a outra metade seca em estufa a 60 °C. Na palha seca em estufa foi determinado o teor de humidade e o peso das cinzas. Retirou-se uma amostra de solo de cada camada do cilindro (acima e abaixo do saco de palha) compondo uma amostra por cilindro (cerca de 500 g).

Análises Laboratoriais e Estatísticas.

Determinaram-se os teores totais de C e de N da palha não tratada, da seca ao ar e do solo, utilizando um analisador de CHN (Carlo Elba CHN, Itália). A palha liofilizada foi moída e determinou-se a concentração total em N e a abundância em ¹⁵N através de espectrometria de massa (Finnegan Mat, Reino Unido).

Compararam-se os solos, para cada um dos anos do ensaio e diferentes períodos de incubação através dos parâmetros: proporção de palha remanescente, concentração total em N e o ¹⁵N imobilizado na palha. Utilizou-se o programa Genstat 5 (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A principal diferença entre os solos ocorreu em termos de humidade do solo para cada ano e período de incubação tal como se pode observar no Quadro 4.

Durante 1993-94 o solo Pmg encontrou-se mais seco do que o solo Bvc, com excep-

ção do final do 4º mês de incubação. Em 1994-95 o padrão dos primeiros 4 meses foi similar, mas nos dois últimos períodos, ambos os solos apresentaram-se muito secos.

QUADRO 4 - Teores médios de humidade do solo (g H₂O kg⁻¹ de solo seco) em cada período de incubação para ambos os anos do ensaio

Ano e Período	Bvc em Beja	Pmg em Évora
1993-1994		
1 mês	183.7	121.6
4 meses	220.1	249.7
8 meses	84.4	7.9
12 meses	216.2	58.4
1994-1995		
1 mês	102.6	63.2
4 meses	147.6	256.7
8 meses	8.4	8.7
12 meses	4.2	1.8

Estas diferenças são consequência do clima de cada local, já que em termos de variação de precipitação em cada um dos anos do ensaio no total anual, para a média de 30 anos de cada local, as diferenças foram praticamente idênticas (-53 mm R em Beja e -105 mm em Évora para 1993/94 e -280 mm e -272 mm para 1994-95). Em termos de temperaturas as variações da média de cada ano e locais para a média de 30 anos, foram também similares. A grande diferença entre locais ocorreu em termos de evapotranspiração total anual, já que a diferença entre locais em cada um dos anos para a média de 30 anos, foi acentuada.

Perda de peso da palha incubada

Entre os solos, para ambos os anos e nos diversos períodos de incubação não houve qualquer efeito significativo da adição de N na perda de peso da palha incubada. Contudo ocorreram diferenças entre solos, em ambos

QUADRO 5 – Percentagem de peso de palha remanescente em ambos os solos nos diversos períodos de incubação para ambos os anos

		1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
1993-94	Bvc	86.81	76.72	72.19	58.01
	Pmg	86.03	83.61	46.23	44.22
	Nível significância	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	< 0,001	< 0,01
1994-95	Bvc	86.75	91.22	53.21	49.46
	Pmg	82.17	80.33	35.88	36.03
	Nível significância	<i>n.s.</i>	< 0,05	< 0,001	< 0,001
Média	Bvc	86.78	83.97	62.70	53.73
	Pmg	84.10	81.97	41.05	40.13

os anos, na percentagem de resíduo remanescente da palha incubada, nos diversos períodos de amostragem.

Em 1993-94, no fim do 1º mês de incubação não ocorreram diferenças significativas, tendo no 4º mês ocorrido diferenças significativas ($P < 0,05$) e nos 8º e 12º meses de incubação as diferenças são muito significativas ($P < 0,01$), Quadro 5.

Ao fim do 1º mês, em ambos os solos a decomposição da palha levou à perda de cerca de 14% do peso de palha inicialmente incubado (86,8% de palha remanescente para o Bvc e 80% para o Pmg). Ao 4º mês de incubação a palha no Pmg apresentava uma maior percentagem de resíduo, 83,6% para 76,7% no Bvc, apesar destes valores não variarem muito relativamente ao 1º mês. Ao 8º mês verificou-se o oposto com uma perda acentuada no Pmg, 46,2% em oposição aos 72,2% do Bvc, mantendo-se esta ordem após os 12 meses de incubação, 58% para o Bvc e 44,2% para o Pmg, observando-se no último intervalo a maior quebra no peso da palha no Bvc.

Em 1994-95, ao fim do 1º período de incubação não ocorreram diferenças significativas entre solos, na percentagem de palha remanescente. No 4º mês de incubação as diferenças foram significativas ($P < 0,05$) e

nos 8º e 12º meses de ensaio as diferenças foram muito significativas ($P < 0,01$).

No 1º mês de 1994-95, os valores da percentagem de palha remanescente, foram similares aos encontrados no mesmo período do ano transacto (86,8% para o Bvc e 82,2% para o Pmg). No 4º mês os valores dos resíduos de palha praticamente não variaram relativamente ao 1º mês (91,2% para o Bvc e 80,3% para o Pmg). Ao 8º e ao 12º meses a palha no Pmg (Évora) decompôs-se em maior grau que no Bvc (Beja), 53% de palha no Bvc e 35,9% no Pmg e 49% no Bvc e 36% no Pmg respectivamente).

A decomposição da palha voltou a ter uma taxa acentuada entre Fevereiro e Junho; no Bvc a palha perdeu cerca de 5% do peso por mês, e no Pmg cerca de 10%. As condições edafo-climáticas ocorridas neste período terão sido também mais favoráveis à decomposição ao invés das ocorridas no período de Novembro a Fevereiro. Posteriormente de Junho a Outubro, enquanto no Bvc ainda ocorreu alguma decomposição da restante palha, aquela parou no solo Pmg.

Os resultados indicam que para o mesmo substrato as condições do solo não influenciaram o período inicial de decomposição da palha. Tendo a palha a mesma percentagem de N, e a taxa de perda de peso da

palha sido similar entre locais, leva-nos a pensar que a decomposição será consequência da composição do resíduo sendo pouco afectada pelo ambiente.

A perda de peso da palha, sendo diferente após o 1º mês de incubação, indica que após o período inicial são outros os factores que não o teor inicial em N que afectam a perda de peso. Christensen (1986) demonstrou que o teor inicial de N-total influencia a perda de peso no período inicial, mas que possui um pequeno efeito subsequentemente, facto comprovado pelos nossos resultados. Assim nos períodos seguintes de decomposição, esta será influenciada mais significativamente pelas condições de solo e de clima (Heal *et al.*, 1997).

Concentração em N na palha

Em 1993-94 a palha inicialmente incubada tinha uma concentração de 0,38% N da MS (3,8 g kg⁻¹ de N). Pelo Quadro 6 observa-se que a concentração em N na palha foi subindo gradualmente ao longo do tempo e em ambos os solos, mas a uma taxa mais acentuada no Pmg, contudo apenas nos 8º e 12º meses as diferenças foram significativas. No final dos 12 meses de incubação a palha no Pmg tinha uma concentração em N superior ao Bvc,

respectivamente 8,26 e 6,01 mg g⁻¹ de N na MS da palha.

Em 1994-95 a palha apresentava uma concentração inicial de 6,0 g kg⁻¹ N da MS. Para todos os períodos de incubação não ocorreram diferenças significativas entre solos. Contrariamente ao ano anterior a concentração em N no primeiro mês de incubação diminui relativamente ao valor inicial, Quadro 6. A variação da concentração em N ao longo do ano não foi tão regular como no ano anterior, já que no Bvc ocorreu um abaixamento desse valor no último período e no Pmg ocorreu uma estagnação entre os 2º e 3º períodos de incubação.

Quando se utiliza o valor de N no resíduo da palha para calcular a imobilização ou mineralização líquida do N, ou seja quando os montantes de N excedem os da palha original, observa-se que os períodos no qual isto ocorre variam entre solos (Quadro 7).

Em 1993-94 as diferenças entre solos foram não significativas, exceptuando o 3º período. No Bvc, apenas no 3º período ocorreu imobilização de N nos resíduos, aumento da percentagem de N relativamente ao material inicial, observando-se de seguida uma mineralização. No Pmg ocorreu imobilização de N no material até ao final de Fevereiro, observando-se posteriormente uma intensa mineralização.

QUADRO 6 - Concentração em N na palha (g kg⁻¹) em ambos os solos, nos dois anos do ensaio e para os diversos períodos de incubação

		Inicial	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
1993-94	Bvc	3.80	4.32	4.88	5.73	6.01
	Pmg	3.80	4.56	5.47	6.46	8.26
	Nível significância		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	< 0,01	< 0,05
1994-95	Bvc	6.00	5.45	7.39	9.59	9.07
	Pmg	6.00	5.57	6.62	6.54	7.11
	Nível significância		<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Média	Bvc		4.88	6.13	7.66	7.54
	Pmg		5.07	6.05	6.50	7.68

QUADRO 7 – Variação no teor em N (% N) relativamente à concentração em N do material inicial

		1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
1993-94	Bvc	98.75	98.65	109.10	91.19
	Pmg	102.95	117.58	76.28	95.64
	Nível significância	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	< 0,01	<i>n.s.</i>
1994-95	Bvc	79.84	164.89	132.56	117.12
	Pmg	76.31	140.71	60.71	67.49
	Nível significância	<i>n.s.</i>	< 0,05	< 0,001	< 0,001
Média	Bvc	89.30	131.77	120.83	104.15
	Pmg	89.63	129.145	68.49	81.56

Em 1994-95, ocorreram diferenças altamente significativas entre solos na 2ª metade do ano. No Bvc observou-se uma intensa mineralização no 1º período, posteriormente uma forte imobilização nos 2º e 3º períodos e seguida de mineralização entre Junho e Outubro. No Pmg ocorreu mineralização no 1º período e posteriormente nos 3º e 4º períodos, após uma intensa imobilização no 2º período.

A perda de N das palhas durante a decomposição parece não estar relacionada com a perda de peso da matéria seca. Esta perda de N ocorreu principalmente durante os meses de Inverno, quando não poderá ser utilizado pelas culturas, representando uma perda líquida de N da zona das raízes.

Enquanto a temperatura e a humidade influenciam fortemente a perda de peso da palha através da perda de CO₂ da actividade microbiana (Stott *et al.*, 1986), períodos de chuva e de lixiviação aceleram as perdas de peso em situações de campo (Reinertsen *et al.*, 1984).

A irregularidade e a baixa taxa de perda de peso na decomposição da palha, para condições de seca, foi relatada por (Andrén *et al.*, 1993), tal como para as condições encontradas neste ensaio entre Junho e Outubro.

A adição de N não apresentou qualquer efeito nas taxas de perda de peso das palhas, mesmo tendo em consideração os baixos

teores de MOS e de N nos solos. Este facto sugere que o processo mais activo nas fases inicial e final da perda de peso não esteve limitado pelo N e que é possível que o N perdido por mineralização no solo seja incorporado de novo mais tarde (Christensen, 1986). Este facto pode significar que em solos de baixo teor em N natural, ocorra um reciclamento muito eficiente do N e que a taxa de incorporação seja similar à taxa de perda.

Os resultados demonstram uma incorporação de N inorgânico e perda de N indígena, muito provavelmente N orgânico da palha incubada. A entrada de N na palha em Outubro indicia uma taxa de incorporação ligeiramente similar, entre solos, apenas diferenciada pelos factores intrínsecos de cada solo. A incorporação de N parece ser independente da temperatura e das condições de humidade do solo, diferindo nas duas formas de N inorgânico adicionado.

Incorporação de ¹⁵N

A incorporação de ¹⁵N no resíduo foi calculada como o peso de ¹⁵N na palha tratada com ¹⁵NH₄⁺ ou com ¹⁵NO₃⁻, menos o peso de ¹⁵N da abundância natural da palha sem incorporação de N (testemunha).

De acordo com o Quadro 8, relativo à incorporação de N nas diferentes formas

QUADRO 8 – Incorporação de ^{15}N (g de N kg^{-1}) nas formas $^{15}\text{NH}_4\text{NO}_3$ e $\text{NH}_4^{15}\text{NO}_3$ na palha, ao longo do período de incubação, em ambos os solos nos dois anos de ensaio

		Tratamento	1º mês	4º mês	8º mês	12º mês
1993-94	Bvc	$^{15}\text{NH}_4$	2.241	1.573	2.801	3.872
		$^{15}\text{NO}_3$	2.974	5.278	3.509	4.080
		$^{15}\text{NH}_4^+ + ^{15}\text{NO}_3^-$	5.22	6.85	6.31	7.95
	Pmg	$^{15}\text{NH}_4$	4.367	2.433	3.996	2.138
		$^{15}\text{NO}_3$	7.203	7.161	4.396	5.645
		$^{15}\text{NH}_4^+ + ^{15}\text{NO}_3^-$	11.57	9.59	8.39	7.78
1994-95	Bvc	$^{15}\text{NH}_4$	4.682	8.292	5.139	4.521
		$^{15}\text{NO}_3$	9.115	6.053	4.946	5.869
		$^{15}\text{NH}_4^+ + ^{15}\text{NO}_3^-$	13.80	14.34	10.09	10.39
	Pmg	$^{15}\text{NH}_4$	7.372	8.826	3.302	4.265
		$^{15}\text{NO}_3$	5.378	7.005	2.252	3.274
		$^{15}\text{NH}_4^+ + ^{15}\text{NO}_3^-$	12.75	15.83	5.55	7.54
<i>Nível significância</i>	<i>Tratamento</i>	<i>1993-94</i>	< 0,001	< 0,001	< 0,01	< 0,001
		<i>1994-95</i>	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	<i>Solo</i>	<i>1993-94</i>	< 0,001	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
		<i>1994-95</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	< 0,05	< 0,01
	<i>Tratamento</i>	<i>1993-94</i>	< 0,01	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
		<i>* Solo</i>	<i>1994-95</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	< 0,01

de ^{15}N e indicativo dos níveis de significância das diferenças entre solos, podemos observar que apenas nalguns períodos ocorreram diferenças significativas.

Em 1993-94 ocorreu uma incorporação rápida de ^{15}N na palha ao fim do 1º mês, com valor superior no Pmg, independentemente da forma de ^{15}N adicionada, com um valor combinado de 11,57 mg de N no resíduo no Pmg e de 5,22 mg no Bvc. Contudo no Pmg ao longo do ano o valor da incorporação de N foi decrescendo até atingir o valor de 7,78 mg ao invés do Bvc em que houve um aumento gradual até aos 7,95 mg.

Em 1994-95 a incorporação ao fim do 1º mês foi superior à do ano anterior em ambos

os solos e com valores similares entre solos, 13,80 mg para o Bvc e 12,75 para o Pmg. A variação ao longo do ano foi no sentido de uma tendência para decrescer, com um taxa mais acentuada no Pmg, tendo no final dos 12 meses os valores de 10,39 mg no Bvc e 7,54 mg no Pmg.

De acordo com o Quadro 8, podemos observar que a diferença do efeito da adição do ^{15}N nas diferentes formas incorporadas nos resíduos foi na quase totalidade das situações altamente significativa, para todos os períodos de incubação, em ambos os solos e nos dois anos do ensaio. Em 1993-94, Figura 1, e independentemente dos solos a incorporação do ^{15}N ao

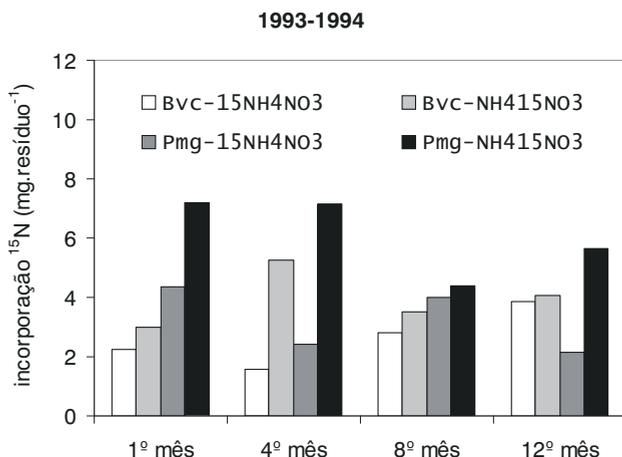


Figura 1 – Incorporação de N nas diferentes formas $^{15}\text{NH}_4^+$ ou $^{15}\text{NO}_3^-$ nos resíduos da palha, ao longo do período de incubação, para ambos os solos em 1993-94

longo do ano foi sempre superior na forma de $^{15}\text{NO}_3^-$, com valores ligeiramente superiores no Bvc e muito superiores no Pmg. Em 1994-95, Figura 2, a variação da incorporação ao longo do ano foi heterogênea em termos de domínio da forma de N adicionada e da diferença entre montan-

tes de ambas as formas.

Jansson (1958) demonstrou que os microorganismos heterotróficos responsáveis pela decomposição da palha em condições de solo, preferem o NO_3^- ao NH_4^+ , contudo sem a presença de solo preferem o NH_4^+ . Esta diferença é explicada pelas

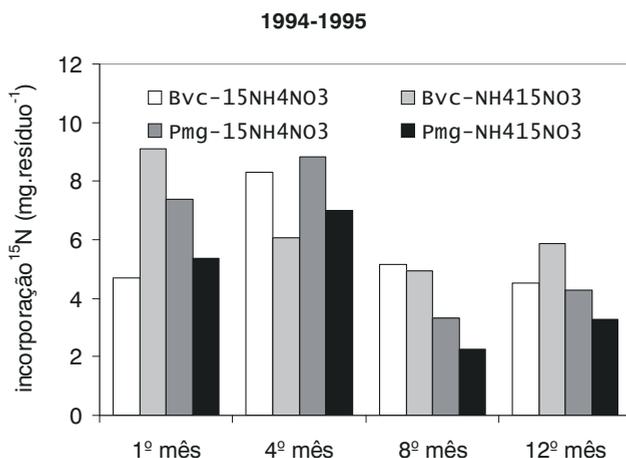


Figura 2 – Incorporação de N nas diferentes formas $^{15}\text{NH}_4^+$ ou $^{15}\text{NO}_3^-$ nos resíduos da palha, ao longo do período de incubação, para ambos os solos em 1994-95

reações de competição pelo NH_4^+ de troca, nomeadamente pela fixação do NH_4^+ nos minerais de argila de camadas 2:1, tais como a illite, montmorilonite e vermiculite (Nômimik, 1981). O que no caso do solo Bvc (com cerca de 61% de argila, predominantemente montmorilonite), este facto poderá indicar uma elevada capacidade de fixação do NH_4^+ , e assim uma forte competição para o $^{15}\text{NH}_4^+$ adicionado.

A proporção de ^{15}N incorporado na palha após 1 mês de incubação no Bvc argiloso tendeu a ser maior na forma de NO_3^- , mas variando muito entre anos. Em ambos os solos a recuperação de ^{15}N foi maior em 1994-95 que em 1993-94. Neste 1º mês de incubação (Outubro/Novembro) o montante de precipitação foi maior no primeiro ano em ambos os locais sugerindo que mais NO_3^- possa ter sido lixiviado em 1993 do que em 1994.

CONCLUSÕES

O presente estudo demonstra que tanto a incorporação como a perda de N da palha ocorreu durante o período de Outubro a Fevereiro. As maiores quantidades de N incorporado nos resíduos das palhas coincidem com o período de maiores necessidades de N pelas culturas.

A incorporação de ^{15}N esteve relacionada com as formas inorgânicas NH_4^+ e NO_3^- mas a forma de libertação do N pela palha é desconhecida, podendo contudo incluir formas orgânicas. A taxa de incorporação do ^{15}N atingiu maiores valores no período até Fevereiro nas condições de ambos os solos. Em contraste a imobilização líquida não ocorreu antes de Fevereiro mas em maior escala no Bvc. A libertação de N das palhas parece ter sido superior no Pmg.

Em conclusão a perda de peso da palha incubada foi influenciada em ambos os

solos pela humidade do solo, quando os solos se encontravam com excesso de humidade ou demasiado secos. O padrão de mudança no teor de N-total na palha diferiu entre solos e indicia uma libertação de N simultânea com uma imobilização de N na palha.

Em média a incorporação de ^{15}N no resíduo durante o 1º mês de incubação foi mais activa no solo Pmg.

A incorporação de $^{15}\text{NO}_3^-$ foi superior à de $^{15}\text{NH}_4^+$ especialmente no solo argiloso (Bvc) sendo consequência duma maior competição do NH_4^+ de troca na fixação pelos minerais de argila.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpendre, P.F. 2001. *Eficiência da Adubação Azotada na Redução dos Custos de Produção de um Cereal*. Tese de Doutoramento, Universidade de Évora, Évora.
- Andrén, O., Rajkai, K. & Kätterer, T. 1993. Water and temperature dynamics in a clay soil under winter wheat: influence on straw decomposition and N immobilization. *Biol. Fert. Soils*, **15**:1-8.
- Bosata, E. & Agren, G.I.. 1995. Theoretical analyses of interactions between inorganic nitrogen and soil organic matter. *Eur. J. Soil Science.*, **46**:109-114.
- Cardoso, J.C.. 1965. *Os Solos de Portugal, sua Classificação, Caracterização e Génese. I- A Sul do Rio Tejo*. Secretaria de Estado da Agricultura, Lisboa, Portugal.
- Christensen, B.T.. 1986. Barley straw decomposition under field conditions: effect of placement and initial nitrogen content on weight loss and nitrogen dynamics. *Soil Biol. Biochem.*, **18**:523-529.
- Fog, K.. 1988. The effect of added nitrogen on decomposition of organic matter. *Biol. Rev.*, **63**:433-462.

- Heal, W.O., Anderson, J.M. & Swift, M.J. 1997. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. *Plant litter quality and Decomposition*. pp. 3-30. CAB International. Wallingford. Reino Unido.
- Jansson, S.L. 1958. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralization-immobilization relationships. *K. Lantbruk Ann.*, **24**: 101-361.
- Nõmmik, H. 1981. Fixation and biological availability of ammonium on soil clay minerals. Terrestrial nitrogen cycles. Processes, ecosystem strategies and management impacts. *Ecol. Bull.* (Stock). **33**:273-279.
- Reinertsen, S.S., Elliott, L.F., Cochran, V.L. & Campbell, G.S. 1984. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, **16**:459-464.
- Stott, D.E., Elliot, L.F., Papendick R.I. & Campbell, G.S. 1986. Low temperature or low water potential. Effects on the microbial decomposition of wheat residue. *Soil Biol. Biochem.*, **18**:577-582.