

A fertilização azotada e a utilização do fósforo pelas culturas *

pelo

Prof. L. A. VALENTE ALMEIDA
da Cadeira de Química Agrícola

e

Lic. Farm. FLOBINDA PINTO BARATA

O fósforo em virtude da sua função no metabolismo vegetal é, a seguir ao azoto, o nutriente mais importante, influenciando grandemente o rendimento das culturas e a qualidade das colheitas.

No nosso País, dada a pobreza em fósforo assimilável da maior parte dos solos, o fósforo foi durante muito tempo o principal e, muitas vezes, o único nutriente empregado pela lavoura, e só, em época recente, foi a sua utilização ultrapassada pela do azoto.

Em virtude desta evolução no consumo destes nutrientes e dado o preço relativamente mais elevado da unidade do azoto, é aceitável que sejam adoptados para os vários tipos de solos sistemas de adubação N-P que conduzem a uma melhor e mais elevada utilização dos respectivos nutrientes pelas culturas.

O presente trabalho constitui uma contribuição para o estudo deste problema nos solos pardos florestais podzólicos derivados de granito, nele procurando-se determinar a utilização do fósforo do superfosfato de cal — o adubo fosfatado mais consumido no País —

(*) Publicado na versão alemã, em *Landwirtschaftliche Forschung*, 22, 1969, 100-108.

em várias condições de fertilização azotada com base nos adubos simples mais empregados à sementeira.

2. EXPERIMENTAÇÃO

A parte experimental deste trabalho foi efectuada em conexão com o ensaio estabelecido em lisímetros para estudar principalmente as perdas de azoto dos adubos azotados por acção das águas das chuvas e foi já descrita em trabalho anterior (1), apresentando-se por esta razão, neste lugar, apenas os dados mais importantes para uma melhor compreensão do ensaio.

Este foi implantado em 1960 em caixas lisimétricas e foi efectuado sobre um solo derivado de granito classificado como Solo Pardo Florestal Podzólico (2), colhido na região granítica do Norte do País.

O esquema do ensaio compreende as seguintes modalidades:

1. Testemunha	
2. Sulfato de amónio	30 kg/N/ha
3. Idem	60 » » »
4. Idem	90 » » »
5. Sulfato de amónio e calcáreo	30 » » »
6. Idem	60 » » »
7. Idem	90 » » »
8. Nitroamoniacal a 20,5 % de N	30 » » »
9. Idem	60 » » »
10. Idem	90 » » »
11. Cianamida cálcica	30 » » »
12. Idem	60 » » »
13. Idem	90 » » »

A adubação azotada foi aplicada por uma vez e sempre à sementeira.

Além do azoto, todas as caixas lisimétricas levaram uma adubação fosfo-potássica constituída por 60 kg de P_2O_5 e 60 kg de K_2O por hectare. O fósforo foi aplicado na forma de superfosfato de cal a 18 % de anidrido fosfórico (P_2O_5), granulado, em virtude de ensaios anteriores (3) no mesmo solo terem mostrado o efeito benéfico da aplicação do adubo granulado; como fertilizante potássico foi empregado o sulfato por conter enxofre.

QUADRO I
P₂O₅ nas colheitas em % de matéria seca

ADUBAÇÃO AZOTADA	Trigo grão	Aveia grão	Milho grão	Trigo grão	Centelo grão	Azevém 1.º corte	Trigo grão	Centelo grão	Azevém 1.º corte	Trigo grão	Centelo grão	Azevém 1.º corte
Testemunha	0,95	0,92	0,89	0,83	1,05	0,94	1,01	1,12	0,92	1,01	1,12	0,92
Sulfato de amônio 30 kg N/ha	0,88	0,84	0,76	0,89	1,10	0,74	0,82	1,09	0,83	0,82	1,09	0,83
Idem 60 kg N/ha	0,69	0,83	0,64	0,67	1,02	0,57	0,62	0,96	0,93	0,62	0,96	0,93
Idem 90 kg N/ha	0,59	0,79	0,56	0,67	1,00	0,65	0,96	0,96	0,82	0,96	0,96	0,82
Sulfato de amônio e calcáreo 30 kg N/ha	0,86	0,95	0,79	0,92	1,10	0,92	0,99	1,05	0,90	0,99	1,05	0,90
Idem 60 kg N/ha	0,92	0,91	0,69	0,67	1,06	0,88	1,04	1,08	1,03	1,04	1,08	1,03
Idem 90 kg N/ha	0,94	0,90	0,71	0,90	1,09	0,86	0,99	1,01	1,02	0,99	1,01	1,02
Nitroamoniaco a 20,5 % de N 30 kg N/ha	0,92	0,84	0,77	0,90	1,08	0,84	0,91	1,15	0,96	0,91	1,15	0,96
Idem 60 kg N/ha	0,74	0,85	0,83	0,89	1,06	0,83	0,90	1,06	0,98	0,90	1,06	0,98
Idem 90 kg N/ha	0,70	0,81	0,68	0,86	1,09	0,85	0,95	1,09	0,84	0,95	1,09	0,84
Cianamida cálcica 30 kg N/ha	0,87	0,94	0,78	0,90	1,10	0,71	1,00	1,11	0,92	1,00	1,11	0,92
Idem 60 kg N/ha	0,85	0,93	0,83	0,84	1,05	0,70	1,00	1,14	0,99	1,00	1,14	0,99
Idem 90 kg N/ha	0,74	0,83	0,80	0,73	1,00	0,70	1,01	1,07	1,06	1,01	1,07	1,06

QUADRO II
mg P₂O₅/m² de solo, extraído pelas culturas

ADUBAÇÃO	1.ª Rotação			2.ª Rotação			3.ª Rotação		
	Trigo 1960	Avela 1960/61	Milho 1961	Trigo 1961/62	Centeio 1962/63	Azevém 1963/64	Trigo 1964/65	Centeio 1965/66	Azevém 1966/67
Testemunha	553	1389	1278	800	1101	792	1211	1172	1181
Sulfato de amônio 30 kg N/ha	571	1606	1310	838	1117	657	1441	1436	1646
Idem 60 kg N/ha	1061	1669	1315	1106	1067	1092	757	1904	1717
Idem 90 kg N/ha	982	2046	1516	1325	1089	1148	417	1613	1170
Sulfato de amônio e calcáreo 30 kg N/ha	1127	2544	1510	1485	1648	1062	2077	1562	1949
Idem 60 kg N/ha	1185	2986	2217	1408	1504	1576	3068	2159	2826
Idem 90 kg N/ha	1065	1821	2547	1479	1607	1656	3417	2471	3114
Nitroamoniaco a 20,5 % de N 30 kg N/ha	684	1476	1161	842	1272	754	1615	1790	1712
Idem 60 kg N/ha	728	1718	1905	804	1198	703	2367	1669	1956
Idem 90 kg N/ha	764	2064	2141	1170	1185	848	2707	1794	1388
Cianamida cálcica 30 kg N/ha	785	1684	1427	1420	1618	1138	2071	1987	1794
Idem 60 kg N/ha	831	2150	2178	1521	2419	1793	2641	2850	2503
Idem 90 kg N/ha	1056	2269	2132	1883	2321	2300	3118	2773	2979

Nas modalidades de sulfato de amónio e calcáreo foram aplicadas quantidades do correctivo, determinadas pelo método electrométrico de neutralização segundo JANSEN (4) necessárias para levar o pH do solo ao valor 6,5. Como ao fim de dois anos do emprego consecutivo do correctivo este valor foi atingido, nos anos seguintes aplicaram-se apenas as quantidades de calcáreo correspondentes à acidez do sulfato de amónio empregado, que se calculou com base no equivalente de acidez do adubo (5).

Desde o início da implantação do ensaio o solo tem sido permanentemente cultivado com culturas normalmente praticadas na zona dos solos graníticos do Norte do País. A cultura permanente do solo compreendeu, desde 1960 até ao fim de 1967, três rotações de cultura:

1.ª rotação	2.ª rotação	3.ª rotação
Trigo (1960)	Trigo (1961-62)	Trigo (1964-65)
Aveia (1960-61)	Centeio (1962-63)	Centeio (1965-66)
Milho (1961)	Azevém (1963-64)	Azevém (1966-67)

Em todos os anos, as colheitas, compreendendo palha e grão para os cereais e a massa vegetal para azevém, foram pesadas no estado seco, e delas retiraram-se amostras destinadas a várias determinações químicas, entre as quais a dosagem do fósforo. Este elemento foi determinado no extracto obtido por digestão da substância pela mistura dos três ácidos, HNO_3 — H_2SO_4 — HClO_4 (6), pelo método espectrofotométrico do vanadomolibdato de amónio, de acordo com o procedimento de JACOB & HOFMANN (7).

RESULTADOS E SUA APRECIÇÃO

Na apreciação dos resultados será primeiramente considerada a possível influência da adubação azotada no teor de fósforo das colheitas e seguidamente a extracção do fósforo pelas culturas e a taxa da sua utilização no adubo fosfatado aplicado.

É conhecida a importância do fósforo sob o ponto de vista nutricional, especialmente na alimentação dos animais, representando a riqueza das colheitas em fósforo uma característica de qualidade dos produtos agrícolas.

A confrontação dos valores indicados no Quadro I mostra que, neste aspecto, a forma de adubação azotada não teve influência sen-

sível na riqueza de fósforo do grão dos cereais ou da massa do azevém, embora se observe que, em geral, as modalidades do sulfato de amônio sem calcáreo apresentem valores ligeiramente inferiores aos das outras modalidades. A testemunha apresenta em três culturas teores de fósforo mais elevados, devido sem dúvida a uma concentração do nutriente em consequência da menor produção obtida.

A interação azoto-fósforo evidencia-se melhor nas quantidades de fósforo extraído pelas culturas, apresentados no Quadro II, e calculadas com base nas produções obtidas, constituídas pela palha e grão nos cereais e pela massa total produzida de azevém, e nos respectivos teores em fósforo. Os valores obtidos para as várias culturas mostram que as aplicações de sulfato de amônio e calcáreo e de cianamida cálcica provocam exportações de fósforo superiores às das restantes modalidades.

Não tomando em consideração a testemunha que ocupa uma posição à parte, as modalidades com sulfato de amônio aplicado isoladamente apresentam geralmente valores bastante mais baixos para a extracção do fósforo, registando-se, além disso, que na última rotação de culturas as quantidades de fósforo retiradas pelas plantas vai diminuindo à medida que os níveis de azoto são maiores.

As aplicações do nitroamoniacal a 20,5 % de azoto provocam extracções de fósforo variáveis, em geral, superiores, embora ligeiramente, às das modalidades com o sulfato de amônio.

Na testemunha, como se compreende, a extracção que reflecte a produção é relativamente baixa, no entanto, na maior parte dos casos, apenas ligeiramente inferior à do sulfato de amônio sem calcáreo aplicado no nível mais baixo de azoto.

Os resultados observados evidenciam-se melhor apreciando os valores globais referentes a cada rotação e a extracção total correspondente ao conjunto de culturas, no período de 1960 a 1967, inclusos no Quadro III.

Neste Quadro apresentam-se também as taxas de utilização do fósforo do adubo aplicado — o superfosfato de cal a 18 % de anidrido fosfórico, P_2O_5 — calculadas por aproximação, admitindo que o solo praticamente não fornece este nutriente às culturas, em virtude da sua pobreza expressa por 1,3 mg de P_2O_5 por 100 g de solo, pelo método do lactato de amônio (RIEHM).

Os valores apresentados mostram que as taxas de utilização do fósforo do superfosfato são sensivelmente iguais para a cianamida cálcica e o sulfato de amônio com calcáreo, em níveis correspondentes

QUADRO III

Extracção do fósforo por rotações e taxa de utilização média do nutriente

Adubação azotada		mg P ₂ O ₅ /m ² de solo				Taxa de utilização %
		1.ª rotação	2.ª rotação	3.ª rotação	Total	
Testemunha		3220	2693	3564	9 477	18
Sulfato de amónio	30 kg N/ha	3487	2612	4523	10 622	20
Idem	60 kg N/ha	4045	3265	4378	11 688	22
Idem	90 kg N/ha	4544	3562	3200	11 306	21
Sulfato de amónio e calcáreo	30 kg N/ha	5181	4195	5588	14 964	28
Idem	60 kg N/ha	6338	6610	8053	21 001	39
Idem	90 kg N/ha	5433	4742	9002	19 177	36
Nitroamoniacal a 20,5 % de N	30 kg N/ha	3421	2868	5117	11 406	21
Idem	60 kg N/ha	4351	2705	5992	13 048	24
Idem	90 kg N/ha	4969	3203	5884	14 056	26
Cianamida cálcica	30 kg N/ha	3896	4176	5852	13 924	26
Idem	60 kg N/ha	5159	5733	7994	18 886	35
Idem	90 kg N/ha	5457	6504	8870	20 831	39

* Calculado com base na aplicação de 18 g de P₂O₅ por rotação e m² de solo.

de azoto. As modalidades de sulfato de amónio sem calcáreo apresentam valores mais baixos, ocupando as aplicações de nitroamoniacal a 20,5 % de azoto posições intermédias.

Tem interesse mencionar ainda que enquanto no sulfato de amónio, aplicado isoladamente, as taxas de utilização do fósforo para os diferentes níveis variam muito pouco (20 a 22 %), na cianamida cálcica a variação é mais extensa (26 a 39 %), observando-se o mesmo com o sulfato de amónio com calcáreo (28 a 39 %). Nas modalidades do nitroamoniacal a 20,5 % de azoto é, ao contrário, pequena (21 a 26 %). Os números encontrados para a taxa de utilização do

fósforo do adubo, estão compreendidos entre limites indicados por SCHMITT (8).

A posição relativa das diferentes modalidades quanto à extracção do fósforo pelas culturas é possivelmente devida em parte à reacção que os adubos ensaiados comunicam ao solo.

Abstraindo as modalidades do sulfato de amónio com calcáreo, nas quais a reacção do solo foi levada a pH~6,5, as elevadas extracções e taxas de utilização nas modalidades com a cianamida cálcica foram possivelmente em parte devidas à correcção da reacção do solo operada pelo adubo.

O exame dos valores do pH (KCl) do solo nos vários anos do ensaio, apresentados no Quadro IV, mostram, com efeito, que a aplicação contínua da cianamida cálcica originou um progressivo e nítido deslocamento da reacção do solo na direcção da neutralidade, passando o pH do valor 4,6 a 5,8.

A melhor utilização do fósforo do adubo fosfatado pelas culturas, observado neste ensaio nas modalidades com a cianamida cálcica, confirma os resultados obtidos por RATHSACK (9), os quais mostram que a aplicação deste adubo além de determinar uma deslocação do pH do solo num sentido favorável para a vegetação, provoca uma actividade biológica mais intensa no solo, donde resulta um aumento do fósforo assimilável encontrado pelo método de RIEHM.

Os valores apresentados sugerem igualmente que na nítida acção acidificante do sulfato de amónio reside possivelmente a fraca utilização do fósforo do adubo fosfatado pelas culturas no tipo de solo ensaiado. A posição intermédia observada nas modalidades do nitroamoniacal a 20,5% de azoto pode explicar-se pela reacção sensivelmente neutra do adubo.

Como conclusão final, embora as deduções feitas devam ser consideradas sob reserva e sujeitas a confirmação no campo, dada a natureza da experimentação efectuada, poderá talvez afirmar-se que parece ser aconselhável para os solos do tipo pardo florestal podzólico derivado do granito, o sistema de adubação azotada baseado na aplicação do sulfato de amónio com prévia correcção da reacção do solo com calcáreo ou da cianamida cálcica, pois ambos não só originam as produções mais altas, como foi já mostrado em trabalho anterior (1), como ainda conduzem a uma melhor utilização do fósforo do adubo fosfatado pelas culturas.

QUADRO IV

Reacção do solo, pH em KCl

ADUBAÇÃO AZOTADA	1960 Setembro	1961 Outubro	1962 Novembro	1963 Novembro	1964 Outubro	1965 Novembro	1966 Outubro	1967 Outubro
Testemunha	4,7	4,8	5,0	n. d.	5,3	5,0	5,2	5,2
Sulfato de amónio 30 kg N/ha	4,6	4,6	4,6	4,8	4,7	4,5	4,6	4,6
Idem 60 kg N/ha	4,7	4,5	4,5	4,5	4,6	4,2	4,5	4,4
Idem 90 kg N/ha	4,4	4,2	4,4	4,3	4,4	4,1	4,4	4,2
Sulfato de amónio e calcáreo 30 kg N/ha	5,8	6,3	6,2	5,9	6,0	5,8	6,0	6,1
Idem 60 kg N/ha	5,5	6,2	6,1	5,8	5,8	5,8	5,9	6,0
Idem 90 kg N/ha	5,4	6,0	6,1	5,8	5,9	6,0	5,8	5,8
Nitroammoniacal a 20,5 % de N 30 kg N/ha	4,6	4,7	4,8	n. d.	5,1	5,1	5,2	5,2
Idem 60 kg N/ha	4,6	4,8	4,8	n. d.	5,0	4,9	4,9	5,2
Idem 90 kg N/ha	4,5	4,9	5,0	n. d.	5,1	4,9	5,1	5,1
Cianamida cálcica 30 kg N/ha	4,7	4,9	5,1	n. d.	5,2	5,3	5,4	5,5
Idem 60 kg N/ha	4,6	5,3	5,4	n. d.	5,4	5,5	5,6	5,8
Idem 90 kg N/ha	4,8	5,3	5,4	n. d.	5,4	5,4	5,6	5,8

RESUMO

Num ensaio permanente com a duração de oito anos, num solo pardo florestal podzólico derivado do granito, realizado em lisímetros, estudou-se a influência de alguns adubos azotados na extracção do fósforo pelas culturas.

Os resultados obtidos mostram que as várias modalidades de adubação azotada não tiveram praticamente influência no teor de fósforo das colheitas e, por isso, a extracção do nutriente foi determinada principalmente pelo diferente desenvolvimento da vegetação sob as condições de fertilização azotadas ensaiadas, melhor nas modalidades com a cianamida cálcica e com sulfato de amónio e calcáreo do que na de sulfato de amónio aplicado isoladamente.

A cianamida cálcica e o sulfato de amónio com o calcáreo influenciaram favoravelmente a constelação dos factores de produção, o que se manifestou no presente ensaio por uma elevação do pH do solo e por um mais alto aproveitamento do fósforo do adubo.

A taxa de utilização do fósforo do superfosfato foi mais alta nas modalidades da cianamida cálcica e do sulfato de amónio com o calcáreo do que na do sulfato de amónio isoladamente. A aplicação do adubo nítrico-amoniacal a 20 % de N ocupou uma posição intermédia.

RESUME

On a étudié dans les lysimètres sur sol brun forestier podsolisé d'origine granitique pendant 8 ans l'influence de la fumure azotée sur l'assimilabilité du phosphore par les plantes cultivées.

L'influence des différents traitements sur la teneur en P_2O_5 des récoltes fut insignifiante. Les exportations en P_2O_5 furent donc essentiellement sous la dépendance des rendements, lesquels furent à leur maximum avec du cyanamide calcique et du sulfate d'ammoniacal et calcaire et à leur minimum avec du sulfate d'ammoniacal sans calcaire.

L'apport de cyanamide calcique ou de sulfate d'ammoniacal et calcaire améliore la conjoncture des facteurs de croissance dans le sol, ce qui se traduit par une élévation du pH et un accroissement des exportations de P_2O_5 par les récoltes.

L'utilisation du P_2O_5 du superphosphate fut meilleure avec cyanamide calcique et avec le sulfate d'ammoniaque et calcaire qu'avec le sulfate d'ammoniaque sans calcaire. Avec l'ammonitrate, les résultats furent intermédiaires.

ZUSAMMENFASSUNG

In einem 8 jährigen Lysimeter-Versuch auf braunem Podsol-Waldboden granitischer Herkunft wurde der Einfluss einiger Stickstoffdünger auf die Verwertbarkeit des Phosphors durch Kulturpflanzen studiert.

Der Einfluss der unterschiedlichen Versuchsglieder auf den P_2O_5 -Gehalt der Ernteprodukte war unbedeutend.

Das Ausmass der P_2O_5 -Entzüge wurde infolgedessen in erster Linie durch die unterschiedlichen Erträge bestimmt, die beim Kalkstickstoff und Ammonsulfat+Kalk am höchsten und beim Ammonsulfat ohne Kalk am niedrigsten waren.

Mit der Zufuhr von Kalkstickstoff oder Ammonsulfat+Kalk wurde die Konstellation der Wachstumsfaktoren im Komplex Boden günstig beeinflusst, was in den vorliegenden Versuchen durch Ansteigen der pH-Werte und den erhöhten P_2O_5 -Entzügen zum Ausdruck kommt.

Die Ausnutzung des P_2O_5 im Superphosphat war beim Kalkstickstoff und dem Ammonsulfat+Kalk höher als beim Ammonsulfat ohne Kalk. Das Ammonitrat nahm eine Zwischenstellung ein.



BIBLIOGRAFIA

- (1) ALMEIDA, L. A. VALENTE — *A lavagem do azoto dos adubos azotados pelas águas das chuvas num solo granítico*. An. Inst. Sup. Agron., 27, 263, 1965.
- (2) GRILLO, J. T. TELES — *Contribuição para uma Carta-Esboço dos Solos de Portugal. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrônomo*. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa 1953.
- (3) ALMEIDA, L. A. VALENTE, L. R. BALBINO et M. L. NUNES — *L'action du superphosphate granulé sur un sol granitique*. Bull. Docum. Ass. Intern. Fabr. Superphos. 22, 1, 1957.
- (4) THUN, R., R. HERRMANN und E. KNICKMANN — *Die Untersuchung von Böden*. Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch), Neumann Verlag, Radebeul und Berlin 1955, 149.
- (5) CRITTENDEN, D. E. — *Chemical and Physical Properties of Nitrogen Materials and their Sphere of Usefulness. Fertilizer Technology and Resources in the United States*. Acad. Press Inc., Publishers, New York 1953, 109-111.
- (6) JACKSON, M. L. — *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs N. Y. 1958, 333.
- (7) JACOB, K. D. a. W. M. HOFFMANN — *Report on phosphoric acid in Fertilizers*. Journal of AOAC, 37, 334-359, 1954.
- (8) SCHMITT, L. — *Über die Ausnutzbarkeit und Nachwirkung der Minereraldüngerphosphorsäure*. Landwirtsch. Forsch. 14 Sdrh. 49, 1960.
- (9) RATHSACK, K. — *Löslichkeitserhöhung der Bodenphosphorsäure durch Düngungsmassnahmen*. Dt. landwirtsch. Presse 48, 1, 1946.

