

Revista de Agricultura

DIRETORES

Prof. Dr. F. Pimentel-Gomes
Prof. Dr. Luiz Gonzaga E. Lordello
Prof. Dr. Evoneo Berti Filho
Prof^a Dr^a Marli de Bem Gomes
Prof. Dr. Frederico M. Wiendl
Prof. Dr. Valdemar A. Demétrio

Vol. 76

Dezembro/2001

Nº 3

RESPOSTA DA AVEIA CULTIVAR SÃO CARLOS À ADUBAÇÃO NPK, EM DOIS TIPOS DE SOLO, NO ESTADO DE SÃO PAULO

Ana Cândida Primavesi¹
Odo Primavesi^{1a}
Heitor Cantarella²
Rodolfo Godoy^{1a}

RESUMO

Foram instalados dois experimentos, um em Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico típico (LVAd) e outro em Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, com irrigação. Usou-se um fatorial fracionado $(1/2)^4$ com dois blo-

¹Embrapa - Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste. Caixa Postal 339, CEP: 13560-970, São Carlos, SP. E-mail: anacan@cnpse.embrapa.br

²IAC- Instituto Agrônomo de Campinas. Caixa Postal 28, CEP: 13001-970, Campinas, SP, Brasil.

^aBolsista do CNPq.

cos ao acaso, com 32 parcelas, sem repetição. Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120, 180 kg ha⁻¹ de N), quatro doses de fósforo (0, 40, 80, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), e quatro de potássio (0, 60, 120, 180 kg ha⁻¹ de K₂O). O objetivo deste trabalho foi determinar para a aveia do cultivar São Carlos, a dose de NPK que possibilite obter a máxima produção de forragem com qualidade no sistema de cortes, o primeiro efetuado quando 10% das plantas tenham iniciado o alongamento do caule, e três cortes de rebrotas com intervalos de 35 dias. Foram ajustadas funções polinomiais de resposta do tipo $Y = b_0 + b_1N + b_2N^2 + b_3P + b_4P^2 + b_5K + b_6K^2 + b_7NP + b_8NK + b_9PK$ para as produções de forragem de cada experimento, e determinadas as doses de nutrientes para a máxima produção agrônômica e econômica. Houve resposta maior para o P em ambos os solos. No LVAd as respostas a N, P₂O₅, K₂O foram máximas econômicas, respectivamente para as doses 200, 80, 140 kg ha⁻¹. No LVd as respostas a N e P₂O₅ foram máximas econômicas, respectivamente para as doses 90 e 75 kg ha⁻¹. A análise de solo para P-extraído pelo método da resina e para determinação de N-NO₃, mostrou concordância com os padrões de respostas em produção de forragem para esses elementos. No LVd, ocorreram interações N x P e N x K positivas e significativas.

Palavras-chave: *Avena byzantina*, adubação, funções de resposta, máxima produção econômica.

ABSTRACT

RESPONSE OF SÃO CARLOS OAT CULTIVAR TO NPK FERTILIZATION IN TWO SOILS IN SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Two irrigated field trials were installed in two soils, a Red Yellow Latosol (RYL; Hapludox), and a Red Latosol (RL; Hapludox), at the Southeast-Embrapa Cattle, in São Carlos, SP, Brazil. A fractional factorial type (1/2)⁴ with two randomized blocks experimental design was used,

with 32 plots and no replication. The treatments were four nitrogen levels (0, 60, 120, 180 kg ha⁻¹ N), four phosphorus levels (0, 40, 80, 120 kg ha⁻¹ P₂O₅) and four potassium levels (0, 60, 120, 180 kg ha⁻¹ K₂O). The purpose of this trial was to determine the NPK level which would allow the São Carlos oat cultivar to produce best yields, using a cutting system in which the first cut was performed when 10% of the plants initiate stem elongation, and three re-growth cuts 35 days apart from one another. Equations of the type $Y = b_0 + b_1N + b_2N^2 + b_3P + b_4P^2 + b_5K + b_6K^2 + b_7NP + b_8NK + b_9PK$ were adjusted for forage yields in each experiment and the nutrient levels for maximum yield and profitability were determined. In both soils there was a bigger response for P levels. Responses to N, P₂O₅ and K₂O in the RYL (Hapludox) soil for maximum profit occurred respectively at the levels of 200, 80, 140 kg ha⁻¹. And in the RL (Hapludox) soil the maximum profit occurred at the levels of 90 and 75 kg ha⁻¹ of N and P₂O₅, respectively. Soil analysis for P (resin method) and for N-NO₃ were in agreement with the pattern of forage yields responses to those elements. In the RL (Hapludox), occurred significant and positive N x P and N x K interactions.

Key words: *Avena byzantina*, soil fertilization, response functions, maximum profit.

INTRODUÇÃO

Sabemos que no período do inverno, a estação da seca no Estado de São Paulo, ocorre o problema da escassez de forragem nas pastagens, quantitativa e qualitativamente, pois além de se apresentar fibrosa, a forragem apresenta baixa digestibilidade e em consequência pobre em nutrientes digestíveis totais.

Em sistemas intensivos de criação de gado de leite e de corte, a demanda por proteína tem estimulado o aumento das atividades de pesquisa na procura de forrageiras que apresentem produção de forragem com qualidade, principalmente no que se refere a maiores teores e produção de proteína bruta.

Nesse enfoque se destaca a importância da aveia (*Avena* sp.) como forrageira, por vegetar bem neste período frio e pelo seu alto teor de proteína e alta digestibilidade. Justificam-se portanto estudos de manejo de adubação em aveia, procurando-se determinar doses de nutrientes para se obter altos rendimentos de forragem com qualidade.

O objetivo deste trabalho foi determinar para o cultivar de aveia forrageira São Carlos, recomendado para o Estado de São Paulo (Godoy & Batista, 1990a; Godoy & Batista 1990b; Godoy et al., 1998), a dose de NPK que possibilite obter a máxima produção de forragem com qualidade no sistema de cortes, o primeiro efetuado quando 10% das plantas iniciam a alongação do colmo, e três cortes de rebrotas com intervalos de 35 dias (Primavesi et al., 1999a; Primavesi et al., 2000a; Primavesi et al., 2000c).

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados em 15/05/97, em dois tipos de solo, um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (LVAd) e um Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd), na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, com irrigação, recebendo em média 25 mm de água por semana.

Foi usado um fatorial fracionado do tipo $(1/2)4^3$ com dois blocos ao acaso, um total de 32 parcelas, sem repetição, como proposto por Colwell (1978), com os tratamentos ajustados por Andrade & Noleto (1988) (Tabela 1). Os tratamentos foram quatro doses de nitrogênio (N) (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de N), na forma de uréia, quatro de fósforo (0, 40, 80, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅), como superfosfato triplo, e quatro de potássio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O), como cloreto de potássio. As doses de P foram aplicadas totalmente no plantio (15/05) e as de N e de K foram parceladas no plantio (15/05), perfilhamento (13/06), após primeiro corte (07/07) e após os cortes de rebrota (11/08 e 15/09). O parcelamento das doses de N e K se encontram na Tabela 2.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos nos dois blocos com as quantidades totais de nutrientes aplicados

Tratamentos	Nutrientes		
	N	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O
Bloco 1			
000	0	0	0
011	0	40	60
022	0	80	120
033	0	120	180
101	60	0	60
110	60	40	0
123	60	80	180
132	60	120	120
202	120	0	120
213	120	40	180
220	120	80	0
231	120	120	60
303	180	0	180
312	180	40	120
321	180	80	60
330	180	120	0
Bloco 2			
003	0	0	180
012	0	40	120
021	0	80	60
030	0	120	0
102	60	0	120
120	60	80	0
113	60	40	180
131	60	120	60
201	120	0	60
210	120	40	0
223	120	80	180
232	120	120	120
300	180	0	0
311	180	40	60
322	180	80	120
333	180	120	180

Tabela 4. Características físicas dos solos

Solo	Profundidade cm	-----g kg ⁻¹ -----		
		Areia	Argila	Silte
LVAd	0-20	673	215	113
	20-40	645	240	115
	40-60	633	264	104
LVd	0-20	436	364	201
	20-40	405	363	233
	40-60	408	359	234

Para as produções de cada experimento foram ajustadas funções de resposta do tipo $Y = b_0 + b_1N + b_2N^2 + b_3P + b_4P^2 + b_5K + b_6K^2 + b_7NP + b_8NK + b_9PK$, onde: Y é a produção de matéria seca de forragem ($t\ ha^{-1}$), b é o coeficiente de regressão, e N , P e K são as doses de N , P_2O_5 e K_2O , em $kg\ ha^{-1}$, respectivamente.

Foram determinadas as doses de fertilizantes para a máxima produção agrônômica e econômica. As doses e a combinação de nutrientes para a máxima produção foram obtidas pela aplicação das derivadas $\partial Y/\partial N = 0$, $\partial Y/\partial P = 0$ e $\partial Y/\partial K = 0$. Do mesmo modo, doses e combinações de fertilizantes para a máxima lucratividade foram calculadas resolvendo-se o sistema $\partial Y/\partial N = V/C_N$, $\partial Y/\partial P = V/C_P$ e $\partial Y/\partial K = V/C_K$ onde V é o preço de 1 kg de matéria seca de forragem, C_N o preço de 1 kg de N , C_P o preço de 1 kg de P_2O_5 e C_K o preço de 1 kg de K_2O .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância detectou que houve resposta ao N , P e K , nos dois solos dependendo do corte (Tabela 5). Foram observadas respostas lineares ao N , P e K nos dois solos. Foram também observadas interações entre $N \times P$ e $N \times K$, mas apenas para o LVd.

A Tabela 6 apresenta os resultados da produção de forragem referentes à soma dos quatro cortes.

Tabela 5. Grau de significância dos componentes linear/e ou quadrática de regressão polinomial para o efeito dos nutrientes e suas combinações nos cortes

Cortes	-----Solos-----	
	LVAd	LVD
1º corte	NL** NQ*	NL** NQ*
1º corte	PL** PQ**	PL** PQ**
1º corte	K ns	K ns
1ª rebrota	NL**	NL*NQ*
1ª rebrota	PL**PQ**	PL**PQ*
1ª rebrota	KL*	KL**
2ª rebrota	NL**NQ**	N ns
2ª rebrota	PL**PQ**	PL**PQ**
2ª rebrota	K ns	K ns
3ª rebrota	NL*NQ*	NL**
3ª rebrota	PL**PQ*	PL**PQ*
3ª rebrota	KL*	K ns
Σ cortes	NL**	NL**NQ**
Σ cortes	PL**PQ*	PL**PQ**
Σ cortes	KL**	KL*
Σ cortes	-----	N x P* N x K*

L = componente linear; Q= componente quadrático

Foi verificada resposta linear ao N nos dois solos (Tabela 5), o que era esperado, pois a análise de nitrato no início do experimento, nos dois solos, indicou baixa disponibilidade de N. No LVAd, a resposta ao N na produção de forragem não alcançou o máximo, e os dados sugerem que a produção poderia aumentar ainda mais com doses maiores desse nutriente, enquanto no LVD a produção de forragem decresceu com doses acima de 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 7), apresentando também esse solo resposta quadrática (Tabela 5) e teores de nitrato pouco maiores que no LVAd.

Nos dois solos ocorreram respostas quadráticas ao P. A produção de forragem decresceu com doses acima de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no LVAd e com doses acima de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no LVD (Tabela 7). A análise de solo (Tabela 3) indicou teores médios para P no LVAd e teores baixos no LVD.

Tabela 6. Resultados médios da produção de forragem de aveia em dois solos.

Tratamentos NPK	LVAd		LVd
	-----MS ¹ (kg ha ⁻¹)-----		
000 ²	2141		5986
011	4054		6850
022	2964		6658
033	2290		6462
101	2893		7337
110	3833		6965
123	5512		8859
132	4801		7843
202	3971		8012
213	5809		8859
220	3698		8571
231	5020		8934
303	3683		7065
312	6712		8200
321	4985		7843
330	3821		7949
003	3501		5899
012	4084		6387
021	3761		6797
030	3176		6301
102	3689		7059
120	4316		8178
113	4688		7410
131	5204		7646
201	4059		5792
210	3963		7019
223	5830		8280
232	6532		7626
300	4723		5506
311	5927		7951
322	6429		8251
333	6739		9083
Média	4463		7424
CV	14,7%		6,6%

1 = Produções médias de quatro cortes; 2 = Números se referem as doses de N, P₂O₅, K₂O, respectivamente como especificado na Tabela 1.

Tabela 7. Produção de matéria seca de aveia (kg ha^{-1}), por corte e total, estimada pela superfície polinomial de resposta do fatorial fracionado, em LVAd e LVd, 1997.

Doses kg ha^{-1}	Cortes				Total
	1	2	3	4	
	-----LVAd-----				
doses N					
0	363	1174	1035	674	3246
60	704	1789	1079	795	4367
120	857	2120	934	949	4860
180	912	2345	912	1209	5377
doses P_2O_5					
0	317	1193	1358	714	3583
40	791	2108	983	1003	4884
80	849	2052	842	945	4687
120	880	2075	778	965	4698
doses K_2O					
0	691	1511	860	647	3709
60	678	1850	974	986	4488
120	730	1964	1080	1124	4898
180	736	2104	1047	869	4798
	-----LVd-----				
doses N					
0	538	3420	1125	1272	6418
60	786	4180	1118	1376	7662
120	932	4258	1052	1644	7887
180	868	3879	1242	1743	7731
doses P_2O_5					
0	346	3340	1495	1137	6582
40	807	4035	1046	1567	7455
80	995	4188	1017	1730	7930
120	975	4174	979	1603	7731
doses K_2O					
0	728	3650	1148	1471	7059
60	792	3860	1131	1611	7394
120	798	3970	1060	1474	7505
180	805	4257	1198	1481	7740

No LVd verificou-se interação N P positiva e significativa. As respostas às doses de P, em produção de matéria seca, aumentaram com o acréscimo das doses de N e vice-versa (Tabela 8). O efeito da combinação N x P foi maior que o efeito individual de cada elemento separadamente (Tabelas 7 e 8), isto é, foi positiva e significativa a interação N x P.

Tabela 8. Produção de forragem de aveia (kg ha^{-1}) para as interações N x P e N x K no solo LVd.

N	P ₂ O ₅			
	0	40	80	120
0	5942	6618	6727	6381
60	7198	7187	8518	7744
120	6902	7939	8425	8280
180	6285	8075	8047	8516

N	K ₂ O			
	0	60	120	180
0	6143	6823	6522	6180
60	7571	7491	7451	8134
120	7795	7363	7819	8569
180	6727	7897	8225	8074

N, P₂O₅, K₂O (kg ha^{-1}).

Neste mesmo solo também foi verificada a interação N x K positiva e significativa. As respostas às doses de K, em produção de matéria seca, aumentaram com o acréscimo das doses de N e vice versa (Tabela 8), o que é esperado, pois grandes quantidades desses nutrientes são exportadas pela forragem de aveia (Primavesi *et al.*, 1999b; Primavesi *et al.*, 2000b).

Nos dois solos ocorreu resposta linear à aplicação de K (Tabela 5), embora o teor de K no LVd se apresentasse alto ($2,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (Tabela 3). Provavelmente este fato seja devido a ocorrência nesse solo da interação N x K, pois para doses baixas de N não houve resposta a K com o aumento das doses de K, mas com o aumento das doses de N, ocorreu resposta ao K (Tabela 8).

As equações que relacionam a produção de forragem com as doses de NPK aplicadas foram:

Para o LVAd:

$$Y = 2.475 + 12,931 * N - 0,04191 * N^2 + 24,827 * P - 0,2016 * P^2 + 11,579 * K - 0,0639 * K^2 + 0,0423 * NP + 0,0395 * NK + 0,0382 * PK$$

Para o LVD:

$$Y1 = 5.790 + 16,4039 * N - 0,09723 * N^2 + 26,3857 * P - 0,16754 * P^2 + 3,1195 * K - 0,00689 * K^2 + 0,07234 * NP + 0,041125 * NK - 0,03324 * PK$$

Na Tabela 9 se encontram as doses de nutrientes NPK recomendadas levando em consideração a fertilidade inicial de cada solo, para a máxima produção agrônômica e econômica de forragem de aveia. Essas produções foram calculadas por meio das equações Y e Y1 acima relacionadas, para o LVAd e o LVD, respectivamente.

Tabela 9. Doses de NPK para máxima produção agrônômica e econômica.

Solos	Produção máxima agrônômica			Produção máxima econômica*		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----kg ha ⁻¹ -----					
LVAd	180 ⁺	116	180 ⁺	180 ⁺	78	144
LVD	180 ⁺	38	180 ⁺	89	75	0

LVAd: produção máxima estimada = 7.304 kg ha⁻¹; produção na dose mais econômica = 6.670 kg ha⁻¹. LVD: produção máxima estimada = 10.926 kg ha⁻¹; produção na dose mais econômica = 8.051 kg ha⁻¹. *Calculado com os seguintes preços (R\$ kg⁻¹): de N = 1,02; de P₂O₅ = 1,45; de K₂O = 0,82. Feno de aveia (R\$ kg⁻¹) = 0,20 (80% do preço de um concentrado com 75% de NDT e 20% de PB). *Valor acima da dose máxima testada, às vezes devido ao uso de ajustes quadráticos, não muito adequados para estudos de níveis de adubação, como o é a equação de Mitscherlich.

No caso do LVAd, pela equação do ajuste (Y), para cada kg de K₂O aplicado houve um aumento de rendimento de aproximadamente 11,6 kg de matéria seca de aveia. Como a relação de preços potássio/aveia foi menor que o aumento de rendimento pois foram necessários 4,1 kg de aveia para pagar 1 kg de K₂O, compensa adubar. Nesse solo a análise indicou teores baixos de K. Para o N e o P, os coeficientes lineares

res ($N = 12,9$ e $P = 26,4$) também foram maiores que a relação de preços ($N = 5,1$ e $P = 7,2$). Portanto, como para os três nutrientes, os coeficientes lineares foram maiores que a relação de preços, foi possível calcular as doses mais econômicas (Tabela 9).

No caso do LVd, para o N e P, os coeficientes lineares ($N = 16,4$ e $P = 26,4$) foram maiores que a relação de preços ($N = 5,1$ e $P = 7,2$), mas para o K o coeficiente linear (3,1) foi menor que a relação de preços potássio/aveia (4,1), portanto foram necessários 4,1 kg de aveia para pagar 1 kg de K_2O , não compensando adubar com K. A aplicação de 180 kg ha^{-1} de K_2O provocou um aumento de matéria seca de aveia de aproximadamente de 558 kg ($180 \times 3,1$), mas o custo do adubo foi equivalente a 738 kg de matéria seca de aveia ($180 \times 4,1$). A receita líquida máxima, estimada pelo método recomendado por Pimentel-Gomes & Conagrim, se dá para as doses, em $kg \cdot ha^{-1}$, de $N=89$, $P_2O_5 = 75$ e $K_2O = 14$, com produção de 8.058 $kg \cdot ha^{-1}$.

CONCLUSÕES

- Houve resposta maior para fósforo em ambos os solos.
- No LVAd as respostas econômicas a N, P_2O_5 e K_2O foram máximas, respectivamente para as doses 200, 80 e 140 $kg \cdot ha^{-1}$.
- No LVd as respostas a N e P_2O_5 foram máximas, respectivamente para as doses 90 e 75 $kg \cdot ha^{-1}$.
- A análise de solo para P-extraído pelo método da resina e para determinação de $N-NO_3$, mostrou concordância com os padrões de respostas em produção de forragem para esses elementos.
- No LVd, ocorreram interações N x P e N x K positivas e significativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, D. F.; A.Q. NOLETO, 1986. Exemplos de Fatoriais Fracionados $(1/2)^3$ e $(1/4)^4$ para o Ajuste de Modelos Polinomiais Quadráticos. **Pesq. Agropec. Brasil**, 21(6):677-680.
- COLWELL, J.D., 1978. Computations for Studies of Soil Fertility and

- Fertilizers Requeriments. **Commonw. Agric. Bur.**, Australia. 297p.
- GODOY, R.; L.A.R. BATISTA, 1990a. Recomendação de Cultivares de Aveia Forrageira para a Região de São Carlos, SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1990a. 6p. (Comunicado Técnico, 3).
- GODOY, R.; L.A.R. BATISTA, 1990b. Avaliação de Germoplasma de Aveia Forrageira em São Carlos, SP. **Rev. Soc. Brasil. Zootecnia**, **19(3)**:235-242.
- GODOY, R.; A.C. PRIMAVESI; L.A.R. BATISTA; F.C. CESAR; R.A. REIS; V. HERLING; R.N. YAMANAKA; R. DANTAS; J.R. SILVA, 1998. Recomendação de Cultivares de Aveia para o Estado de São Paulo: Embrapa- Pecuária Sudeste, 9p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico, 19).
- PRIMAVESI, A.C.; R. GODOY; O. PRIMAVESI; A.F. PEDROSO, 1999a. Manejo de Aveia Forrageira. In: SEMANA DO ESTUDANTE, 13., São Carlos. **Anais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. p.130-140.
- PRIMAVESI, A.C.P.A.; O. PRIMAVESI; R. GODOY, 1999b. Extração de Nutrientes e Eficiência Nutricional de Cultivares de Aveia, em Relação ao Nitrogênio e à Intensidades de Corte. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, **56(3)**:613-620.
- PRIMAVESI, A.C.P.A.; O. PRIMAVESI; R. GODOY, 2000a. Manejo de Cortes de Cultivares de Aveia Forrageira. In: REUNIÃO ANUAL DA SBZ, 37, Viçosa. **Anais**. Viçosa: UFV. CD-ROM. Seção Oral.
- PRIMAVESI, A.C.P.A.; O. PRIMAVESI; R. GODOY, 2000b. Teores e Extração de Nutrientes pela Forragem de Aveia, em Função de Doses de Nitrogênio, no Manejo de Dois Cortes e em Duas Épocas de Plantio. **Rev. de Agricultura**, Piracicaba, **75(2)**:197-220.
- PRIMAVESI, A. C.; R. GODOY; O. PRIMAVESI, 2000c. Aveia Forrageira: Épocas de Corte: Embrapa Pecuária Sudeste, 10p. (Embrapa Pecuária Sudeste, Comunicado Técnico, 30).
- RAIJ, B. VAN; J.A. QUAGGIO; H. CANTARELLA; M.E. FERREIRA.; A.S. LOPES; O. BATAGLIA, 1987. **Análise Química do Solo para Fins de Fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 170p.