

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Produtividade de Grãos de Aveia pela Adubação Nitrogenada e Análise de Componentes Adaptativos

Rubia Diana Mantai¹

Osmar Bruneslau Scremin²

Anderson Marolli³

Ari Higino Scremin⁴

Ângela Teresinha Woschinski de Mammann⁵

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUÍ, Ijuí, RS

José Antonio Gonzalez da Silva⁶

Departamento de Ciências Agrárias, UNIJUÍ, Ijuí, RS

Eliane Retzlaff⁷

Rosangela Ferreira Prestes⁸

Ana Maria Rosinski Dutra⁹

Rozelaine de Fatima Franzin¹⁰

Departamento de Ciências Exatas e da Terra, URI, Santo Ângelo, RS

Resumo. A aveia branca possui uma grande importância econômica pela sua multiplicidade de uso, porém necessita da aplicação de fertilizantes nitrogenados o qual interfere o seu desenvolvimento. O objetivo do estudo é determinar o modelo matemático que simule a produtividade de grãos de aveia branca pelo uso da adubação nitrogenada, relacionando-o com os caracteres adaptativos da espécie, em um sistema de sucessão de baixa relação C/N. O experimento foi delineado em blocos ao acaso com quatro repetições, seguindo um modelo fatorial simples 4x2, nas fontes de variação doses de N-fertilizante (fonte ureia) nos níveis 0, 30, 60 e 120 kg N ha⁻¹ e cultivares de aveia com genótipos Barbarasul e Brisasul, no sistema de sucessão soja/aveia. Foi realizada regressões polinomiais quadráticas na estimativa da máxima eficiência técnica, e teste de médias pelo modelo de Scott e Knott e análise de correlação de Pearson para os caracteres adaptativos e de produtividade. Existe tendência de crescimento quadrático da produtividade de grãos em aveia alcançando a máxima eficiência técnica com 68 kg N ha⁻¹. A aplicação do nitrogênio resulta em cultivares com uma maior

¹rdmantai@yahoo.com.br

²osmarscremin@hotmail.com

³marollia@yahoo.com.br

⁴ahscremin@hotmail.com

⁵angelademamann@hotmail.com

⁶jagsfaem@yahoo.com.br

⁷elianir@urisan.tche.br

⁸ro.fprestes@yahoo.com.br

⁹anamariard@santoangelo.uri.br

¹⁰rozelaine@urisan.tche.br

estatura e com uma quantidade maior de afilhos férteis, influenciando na produtividade de grãos. Porém, doses muito elevadas de N-fertilizantes possuem maior tendência ao acamamento, reduzindo a produtividade de grãos.

Palavras-chave. Avena Sativa L.; estatura; acamamento; afilhamento; eficiência técnica

1 Introdução

Dentre as culturas de inverno implementadas principalmente na região sul do Brasil temos a aveia branca (*Avena sativa* L.), a qual possui uma grande importância econômica dada pela sua multiplicidade de uso. É utilizada na alimentação animal, como pastagem, feno ou silagem, na rotação de culturas proporcionando a quebra do ciclo de pragas e moléstias de culturas, também é usada em cobertura de solo no sistema de plantio direto, e na alimentação humana, evidenciando a presença da fibra alimentar β -glucana, com efeito na redução sobre o colesterol LDL, com benefícios expressos voltados a saúde humana [3, 6, 16]. Para o desenvolvimento adequado desta cultura é essencial a aplicação de fertilizantes nitrogenados [15].

O nitrogênio interfere no desenvolvimento morfológico da aveia, maximizando o rendimento da cultura, porém, altos níveis deste elemento tendem a estimular o vigor vegetativo podendo causar perdas na produção devido o acamamento da planta [6]. O acamamento ocasiona uma redução na qualidade e rendimento de grãos de aveia, pela dificuldade de translocação dos fotoassimilados, da assimilação de carboidratos e minerais e do decréscimo da fotossíntese, além de dificultar a colheita no campo [10]. Dessa maneira, a redução no fornecimento de nitrogênio pode ser uma alternativa para evitar perdas, porém, traz reflexos significativos no rendimento de grãos.

Uma característica desejável das cultivares de aveia é o afilhamento, pois de acordo com [4] o afilhamento é fundamental na determinação do rendimento de grãos de gramíneas, afetando o número de panículas por área. Conforme [17], elevadas doses de N-fertilizante podem aumentar a estatura da planta e o número e a permanência de afilhos férteis. Entretanto, há a necessidade de encontrar uma dose de nitrogênio que possibilite uma estatura, e um afilhamento adequado, evitando a ocorrência do acamamento, constituindo uma opção para o aumento do rendimento de grãos.

O objetivo do estudo é determinar o modelo matemático que simule a produtividade de grãos de aveia branca pelo uso da adubação nitrogenada, relacionando-o com os caracteres adaptativos da espécie, em um sistema de sucessão de baixa relação C/N.

2 Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido a campo no ano agrícola de 2015 no Instituto Regional de Desenvolvimento Rural (IRDeR) do Departamento de Estudos Agrários (DEAg) da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ. A semeadura foi realizada na primeira semana de junho com semeadora-adubadora para composição da parcela constituída de 5 linhas de 5 m de comprimento e espaçamento entre linhas de 0, 20 m, formando a unidade experimental de 5 m².

O experimento foi delineado em blocos ao acaso com quatro repetições seguindo um modelo fatorial simples 4x2, nas fontes de variação doses de N-fertilizante (fonte ureia) nos níveis 0, 30, 60 e 120 kg N ha⁻¹ e cultivares de aveia com genótipos elite de porte médio, Barbarasul e Brisasul, no sistema de sucessão de baixa relação Carbono/Nitrogênio (soja/aveia), totalizando 32 unidades experimentais. Foi utilizado para análise as médias das cultivares de aveia, pois o estudo trata de inferência para a espécie e não para uma cultivar.

A produtividade de grãos foi obtida pelo corte de três linhas centrais de cada parcela no estágio de maturidade de colheita, com umidade de grãos ao redor de 22%. As plantas foram trilhadas com colheitadeira estacionária e direcionadas ao laboratório para correção da umidade de grãos para 13% e pesagem para estimativa da produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹). A estatura foi obtida através de medições com régua graduada em centímetros. O acamamento foi obtido em valores percentuais pela análise visual de dois pesquisadores. O número de afilhos foi obtido através da contagem dos afilhos férteis da linha central de cada parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificação interação entre os fatores. Foram realizadas regressões para ajuste do grau de polinômio visando estabelecer a produtividade de grãos de aveia, pela equação

$$y = a + bx + cx^2 \tag{1}$$

em que y é a produtividade de grãos, x é a dose de N-fertilizante, e a, b, e c são coeficientes. A partir da equação 1 foi empregado o modelo matemático da estimativa da máxima eficiência técnica, dado por,

$$x = \frac{-b}{2c} \tag{2}$$

Para análise da associação entre as variáveis produtividade de grãos, estatura, afilhamento e acamamento, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson com seu respectivo teste de significância. O coeficiente de correlação foi obtido por,

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right]}} \tag{3}$$

sendo que n representa o número de observações avaliadas e representa o coeficiente de correlação para a amostra.

Procedeu-se a análise de médias em cada dose de nitrogênio para a variável principal produtividade de grãos pelo método de agrupamento de médias de Scott-Knott, dado por,

$$\lambda = \frac{\pi}{2(\pi - 2)} \cdot \frac{\beta_0}{\hat{\sigma}_0^2} \tag{4}$$

em que, β_0 é o valor máximo das somas de quadrados entre grupos de médias de tratamentos, $\hat{\sigma}_0^2$ é a estimativa de máxima verossimilhança.

3 Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a análise de variância das equações de regressão da produtividade de grãos de aveia pela dose de N–fertilizante e a máxima eficiência técnica (MET) de produtividade de grãos com sua estimativa no sistema soja/aveia. A equação obtida apresenta tendência quadrática para a produtividade de grãos de aveia, indicando a máxima eficiência técnica com o uso de 68 kg ha⁻¹ de N–fertilizante, estimando uma produtividade de grãos de 4.067 kg ha⁻¹. Pesquisa realizada por [8] mostraram resultados semelhantes, com a máxima eficiência técnica para produtividade de grãos em aveia com até 73 kg ha⁻¹ de N. [9] também estimaram a produtividade de grãos de aveia através de equações quadráticas simulando a máxima eficiência técnica com 66 à 92 kg N ha⁻¹ para cultivares em distintos anos de cultivo.

Tabela 1: Resumo da análise de variância de regressão e parâmetros da equação na estimativa da máxima eficiência técnica (MET) de produtividade de grãos (RG) pelas doses de N em aveia

FV	QM (PG)	Equação $PG = b_0 + b_1x + b_2x^2$	P (b _i)	R ²	N _{MET} (kg ha ⁻¹)	PG _E (kg ha ⁻¹)
Linear	508135	3471,9 + 2,84x	ns	0,12	-	-
Quadrática	3471885	3100 + 28,5x - 0,21x ²	*	0,98	68	4067
Erro	55691	-	-	-	-	-

FV= fonte de variação; QM= quadrado médio; PG= produtividade de grãos; P (b_i)= parâmetro da equação; N_{MET}= dose de nitrogênio para máxima eficiência técnica; PG_E= produtividade de grãos estimada pela máxima eficiência técnica; *= significância do parâmetro da equação a 5% de probabilidade de erro; ns= não significativo.

Como o nitrogênio é o nutriente mais requerido pela cultura e também o mais caro na implementação da lavoura, modelos que estimam a sua eficiência são fundamentais para atualizar as recomendações técnicas, disponibilizado produções economicamente satisfatórias com menor poluição ambiental [14]. Várias pesquisas se utilizam de equações polinomiais para analisar a eficiência do nitrogênio, como [7] em trigo irrigado, que pelas equações polinomiais simularam uma resposta positiva até 156 kg ha⁻¹ de N, com produtividade de grãos de 6472 kg ha⁻¹. [5] em arroz, observaram que a produtividade aumentou de forma quadrática, sendo a maior produção de grãos atendida com 136 kg ha⁻¹ de N, possibilitando uma produtividade de 5.077 kg ha⁻¹ de grãos.

A Tabela 2 apresenta a análise de correlação da produtividade de grãos de aveia com os caracteres estatura, acamamento e afilhamento, para cada dose de nitrogênio testada. Ressalta-se que a produtividade de grãos não possui correlação com o acamamento, independentemente da dose de nitrogênio testada. Para a dose testemunha (0 kg N ha⁻¹), tanto a estatura como o afilhamento mostraram correlação negativa com a produtividade de grãos, sugerindo que quanto maior a estatura e a quantidade de filhos, menor será a produtividade final. Já, quando aplicado a adubação nitrogenada tanto a estatura como o afilhamento, mostraram-se altamente correlacionados positivamente com a produtividade de grãos, exceto o afilhamento na dose 30 kg N ha⁻¹. Desta forma, percebe-se que a aplicação do nitrogênio pode resultar em plantas com uma maior estatura e com uma quantidade maior de filhos férteis, influenciando na produção de grãos.

Tabela 2: Correlação da produtividade de grãos de aveia com os caracteres adaptativos nas doses de nitrogênio

Dose N (kg ha ⁻¹)	Médias / Correlação		
	PG X Estatura(cm)	PG X Acamamento(%)	PG X Afilhamento(contagem)
0	-0,86*	0,03 ^{ns}	-0,70*
30	0,75*	0,01 ^{ns}	0,44 ^{ns}
60	0,57*	-0,38 ^{ns}	0,81*
120	0,62*	-0,32 ^{ns}	0,71*

PG= produtividade de grãos (Kg ha⁻¹); *= significativo a 5% de probabilidade de erro; ns= Não significativo.

De acordo com [12] e [2], a aplicação de N pode incrementar a sobrevivência dos afilhos emitidos pela planta de trigo aumentando a produtividade final, entretanto, o acamamento é um dos fatores que mais limitam a maximização da produção de grãos. [1] analisando a aveia sob a adubação nitrogenada, não observaram diferenças significativas na estatura de plantas, nem influência no acamamento de plantas.

A Tabela 3 apresenta o teste de médias da produtividade de grãos de aveia e dos caracteres adaptativos para cada dose de nitrogênio testada. Para a variável produtividade de grãos, destaca-se que dentre as doses de nitrogênio, a maior eficiência têm-se com o uso de 60 kg N ha⁻¹, fato esperado, visto a máxima eficiência técnica obtida pela regressão na Tabela 1. Já as doses de 30 e 120 Kg N ha⁻¹ não mostraram diferença para a produtividade de grãos, reforçando novamente a tendência quadrática do modelo para esta variável. Em relação a estatura, observa-se que a aplicação do nitrogênio em qualquer dose do nutriente mostra-se superior que a dose testemunha, assim, não há diferenças estatísticas para a estatura da aveia frente a quantidade de N-fertilizante disponibilizada para a planta. Já, a dose de 120 kg N ha⁻¹ mostrou-se mais suscetível ao acamamento e a produção e quantidade de afilhos férteis do que as demais doses de N testadas, portanto, a maior quantidade de afilhos férteis pode favorecer a produtividade de grãos pelo maior número de panículas por planta, porém, como nesta dose de N há maior tendência ao acamamento, há uma redução na produtividade de grãos, fazendo com que doses menores atinjam maiores produtividades.

Tabela 3: Teste de médias da produtividade de grãos de aveia e dos caracteres adaptativos nas doses de nitrogênio

Dose N (kg ha ⁻¹)	Variáveis			
	Produtividade de Grãos	Estatura	Acamamento	Afilhamento
0	3128,7 c	84,2 b	1 b	244,5 b
30	3693,6 b	89,2 a	1,5 b	229,0 b
60	4124,7 a	92,2 a	7,1 b	245,2 b
120	3537,8 b	94,1 a	46,3 a	282,8 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não difere entre si pelo teste de Scott e Knott em 5% de probabilidade de erro.

Conforme [13], cultivares de aveia branca mais produtivas e responsivas à adubação

aumentam os riscos de ocorrência de acamamento caracterizando um problema recorrente nas lavouras. [11] observaram que a altura de plantas de aveia branca está relacionada à disponibilidade de nitrogênio no ambiente de cultivo. A utilização de cultivares de aveia, com um melhor aproveitamento da adubação nitrogenada, que geram alto potencial produtivo de grãos, são essenciais para a sustentabilidade da agricultura.

4 Conclusões

A produtividade de grãos de aveia possui tendência de crescimento quadrática, alcançando a máxima eficiência técnica com o uso de 68 kg ha^{-1} de N-fertilizante. A aplicação do nitrogênio resulta em cultivares com uma maior estatura e com maior número de afilhos férteis. Porém, doses muito elevadas de N-fertilizantes possuem maior tendência ao acamamento, reduzindo a produtividade de grãos.

5 Agradecimentos

Ao CNPq, CAPES, FAPERGS e à UNIJUI pelo aporte dos recursos destinados ao desenvolvimento deste estudo e pelas bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica, de Apoio Técnico, de Pós-graduação e de Produtividade em Pesquisa.

Referências

- [1] G. Abreu, L. Schuch, M. Maia. Análise do crescimento e utilização de nitrogênio em aveia branca (*Avena Sativa* L.) em função da população de plantas, *Revista Brasileira de Agrociência*, 8:111-116, 2002.
- [2] L. Costa, C. Zucareli, C. R. Riede. Parcelamento da adubação nitrogenada no desempenho produtivo de genótipos de trigo, *Revista Ciência Agronômica*, 44:215-224, 2013.
- [3] M. Crestani, F. I. F. de Carvalho, A. C. de Oliveira, J. A. G. da Silva, L. C. Gutkoski, J. F. Sartori, R. L. Barbieri, D. Baretta. Conteúdo de β -glucana em cultivares de aveia branca cultivadas em diferentes ambientes, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:261-268, 2010. DOI:10.1590/S0100-204X2010000300005
- [4] D. J. Davidson, P. M. Chevalier. Preanthesis tiller mortality in spring wheat, *Crop Science*, 30:832-836, 1990.
- [5] N. K. Fagéria, A. B. dos Santos, V. dos A. Cutrim. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciadas pela fertilização nitrogenada, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:1029-1034, 2007.
- [6] M. C. Hawerth, J. A. G. da Silva, C. A. Souza, A. C. de Oliveira, H. de S. Luche, C. M. Zimmer, F. J. Hawerth, J. Schiavo, J. C. Sponchiado. Redução do acama-

- mento em aveia branca com uso do regulador de crescimento etil trinexapac, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50:115-125, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000200003
- [7] A. B. Heinemann, L. F. Stone, A. D. Didonet, M. G. Trindade, B. B. Soares, J. A. A. Moreira, A. D. Canovas. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade de trigo decorrente da adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10:352-356, 2006. DOI:10.1590/S1415-43662006000200015
- [8] E. M. Kolchinski, L. O. B. Schuch. Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1033-1038, 2003. DOI: 10.1590/S0100-06832003000600007
- [9] R. D. Mantai, J. A. G. da Silva, A. T. Z. R. Sausen, J. S. da Costa, S. B. V. Fernandes, C. A. Ubessi. Eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19:343-349, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p343-349
- [10] A. Marolli. A modelagem matemática em aveia pelo uso do redutor de crescimento ligado ao nitrogênio e elementos climáticos, *Dissertação de Mestrado*, UNIJUI, 2014.
- [11] R. M. Mohr, C. A. Grant, W. E. May, F. C. Stevenson. The influence of nitrogen, phosphorus and potash fertilizer application on oat yield and quality, *Canadian Journal of Soil Science*, 87:459-468, 2007. DOI:10.4141/CJSS06022
- [12] C. M. Mundstock, C. Bredemeier. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilhamento e o rendimento de grãos de aveia, *Ciência Rural*, 31:205-211, 2001.
- [13] A. C. de Oliveira, M. Crestani, F. I. F. de Carvalho, J. A. G. da Silva, I. P. Valério, I. Hartwig, G. Benin, D. A. M. Schmidt, I. Bertan. Brisasul: a new high yielding white oat cultivar with reduced lodging, *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11:370-374, 2011. DOI:10.1590/S1984-70332011000400012
- [14] A. M. Prando, C. Zucarelli, V. Fronza, F. A. Oliveira, A. Oliveira Júnior. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio, *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43:34-41, 2013. DOI:10.1590/S1983-40632013000100009
- [15] L. Sangoi, A. C. Berns, M. L. de Almeida, C. G. Zanin, C. Schweitzer. Características agronômicas de cultivares de trigo em resposta à época da adubação nitrogenada de cobertura, *Ciência Rural*, 37:1564-1570, 2007. DOI:10.1590/S0103-84782007000600010
- [16] E. R. Silveira, A. Pelissari, A. de Moraes, H. V. L. Piazzetta, C. R. Lang, P. C. de F. Carvalho. Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada na massa seca de aveia e produtividade do milho na integração lavoura-pecuária, *Ciências Agrárias*, 33:1323-1332, 2012. DOI:10.5433/1679-0359.2012v33n4p1323
- [17] E. M. Viana, J. de C. Kiehl. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo, *Revista Bragantia*, 69:975-982, 2010.