

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Regressão por Superfície de Resposta pelo Uso Combinado de Nitrogênio e Hidrogel no Sistema Milho/Aveia

Adriana Roselia Krausig¹

Osmar Bruneslau Scremin²

Rubia D. Mantai³

Anderson Marolli⁴

Ângela Teresinha Woschinski de Mamann⁵

Ana Paula Brezolin⁶

Odenis Alessi⁷

José Antonio Gonzalez da Silva⁸

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias; Departamento de Estudos Agrários, UNIJUÍ, Ijuí, RS

Resumo. Na agricultura, o desenvolvimento de modelos matemáticos tem contribuído para o conhecimento fisiológico das culturas, na busca de inovação e validação de novas tecnologias. O cultivo da aveia branca é muito comum na região sul do país e sua produtividade é fortemente dependente do uso de nitrogênio, que se perde facilmente no ambiente. O emprego de hidrorretentores de água no solo pode ser uma alternativa inovadora buscando melhorar a eficiência do nitrogênio. Dessa forma, o uso da modelagem matemática pode melhorar o entendimento das variáveis de produtividade da aveia e suas relações com o clima e o manejo do nitrogênio e hidrogel. Nesse contexto, o objetivo de estudo é o uso de regressão por superfície de resposta na otimização da combinação ideal de nitrogênio e hidrogel sobre a maior produtividade de grãos de aveia no sistema de sucessão milho/aveia. O uso de distintas doses do hidrorretentor associadas à adubação nitrogenada em cobertura influencia positivamente na produtividade de grãos de aveia. A dose ajustada de hidrogel e nitrogênio à máxima produtividade de grãos no sistema milho/aveia é ao redor de 60 e 100 kg ha⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave. *Avena Sativa*, nitrogênio, hidrogel, superfície de resposta, sistema milho/aveia.

¹maryshelei@yahoo.com.br

²osmarcremin@hotmail.com

³rdmantai@yahoo.com.br

⁴marollia@yahoo.com.br

⁵angelademamann@hotmail.com

⁶anabrezolin@hotmail.com

⁷odenisalessi@hotmail.com

⁸jagsfaem@yahoo.com.br

1 Introdução

A modelagem matemática permite realizar explicações e interpretações de fenômenos de diversas áreas do conhecimento, efetuando previsões e mostrando tendências de desenvolvimento [7]. Na agricultura, têm contribuído fortemente para o conhecimento fisiológico das culturas, busca de inovações tecnológicas mais sustentáveis e tem evoluído a medida que se aumentam os trabalhos de experimentação [3].

A aveia é considerada um cereal de múltiplos propósitos, sendo destinada à alimentação humana e animal. Para maximizar benefícios, incrementando o potencial de produtividade aliado a qualidade do grão de aveia, é necessário além do emprego de cultivares eficientes, o uso racional e integrado dos recursos de solo, clima e técnicas de manejo, fatores determinantes para o sucesso produtivo [11]. Dentre os manejos, a aplicação do nitrogênio é decisivo à produtividade de grãos [5, 10]. No entanto, o nitrogênio é um elemento facilmente perdido no ambiente [4, 10], causando aumento de custos e poluição ambiental [6, 8].

Um meio de melhorar a absorção do nitrogênio pelas plantas é a manutenção da umidade do solo pelo uso de hidrorretentores. Os hidrorretentores atuam como reguladores da disponibilidade de água, favorecendo a eficiência no uso de nutrientes [2, 12]. A utilização de hidrorretentores pode ser uma tendência tecnológica inovadora que permite a manutenção da umidade do solo melhorando a eficiência de uso do nitrogênio. Deste modo, o uso da regressão via superfície de resposta, tem se mostrado um método de otimização que qualifica o entendimento de processos agrícolas. Nesse contexto, o objetivo de estudo é o uso de regressão por superfície de resposta na otimização da combinação ideal de nitrogênio e hidrogel sobre a maior produtividade de grãos de aveia no sistema de sucessão milho/aveia.

2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido a campo, no município de Augusto Pestana, RS, Brasil, no sistema de cultivo de alta liberação de N-residual (sistema milho/aveia), em delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um esquema fatorial 4 x 4 nas fontes de variação doses de hidrogel nos níveis 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹, e doses de N-fertilizante (fonte uréia) nos níveis 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹.

Ao atender aos pressupostos de homogeneidade e normalidade via testes de Bartlett [19], foi realizada análise de variância para detecção dos efeitos principais e de interação. Através do modelo de Scott e Knott foi realizado o teste de comparação de médias da produtividade de grãos, das combinações hidrogel/nitrogênio. A partir de equações quadráticas ($Y = b_0 \pm b_1x \pm b_2x^2$), foi estimada a dose ideal de N-fertilizante ($N_{ideal} = -\frac{b_1}{2b_2}$) e hidrogel ($H_{ideal} = -\frac{b_1}{2b_2}$) à máxima produtividade de grãos nas condições de uso do nitrogênio e do hidrorretentor, nos anos e sistemas de cultivo. Além disto, para o ajuste da dose combinada de hidrogel e nitrogênio, foi realizada análise de regressão por superfície de resposta ($Z_i = \beta_0 + \beta_1H_j + \beta_2N_j + \beta_3H_j^2 + \beta_4N_j^2 + \dots + \beta_nH_jN + \varepsilon_j$) sendo, Z_i = variável dependente (produtividade de grãos); β_n = estimativa dos coeficientes da regressão; H e N= valores codificados dos níveis de tratamento [doses de nitrogênio

(0, 30, 60, 120 kg de N ha⁻¹) e doses de hidrogel (0, 30, 60, 120 kg de N ha⁻¹); $\beta_1 H_j$ e $\beta_2 N_j$ = efeito principal da interação dos níveis de tratamento; $\beta_3 H_j^2$ e $\beta_4 N_j^2$ = efeitos de curvatura; $\beta_5 H_j N_j$ = efeitos das interações; ε_j = Erro. A partir da superfície de resposta obtida, foi possível estimar por derivadas parciais $N_{ideal} = \frac{\partial PG}{\partial N}$ e $H_{ideal} = \frac{\partial PG}{\partial H}$ a dose ideal da combinação de hidrogel e nitrogênio no sistema de cultivo.

3 Resultados e Discussão

A busca da dose ideal de nitrogênio e hidrogel são apresentadas pela Tabela 1, através das equações polinomiais que descrevem o comportamento dos tratamentos de forma isolada. As doses de nitrogênio em cada ponto de hidrogel mostraram comportamento quadrático em 0 e 30 kg ha⁻¹ do hidrorretentor, com doses ótimas do fertilizante em 105 kg ha⁻¹ para ambas as condições. Nas doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de hidrogel, o comportamento de incremento da produtividade de grãos pelo nitrogênio foi linear. A linearidade obtida sugere que as doses de hidrorretentores testadas promovem melhor aproveitamento de N-fertilizante, aumentando a produtividade de grãos de aveia. Os pontos de 0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N-fertilizante indicaram equações de comportamento quadrático à produtividade de grãos pelo uso do hidrogel, com doses ideais entre 50 e 75 kg ha⁻¹ do hidrorretentor. Na dose de 30 kg ha⁻¹ de N-fertilizante, o incremento das doses de hidrogel não foi efetivo em aumentar a produtividade de grãos.

Tabela 1: Equação de regressão e seus parâmetros na estimativa da dose ideal de nitrogênio e hidrogel à produtividade de grãos (PG) no sistema de cultivo milho/aveia.

Hidrogel (kg ha ⁻¹)	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)	PG = $b_0 \pm b_1x \pm b_2x^2$	P ($b_i X^n$)	Dose Ideal (kg ha ⁻¹)	PG _E (kg ha ⁻¹)
sistema milho/aveia					
0	-	1281 + 29,49x - 0,14x ²	*	105	2892
30	-	1278 + 33,55x - 0,16x ²	*	105	3097
60	-	1610 + 13,85x	*	-	-
120	-	1451 + 14,27x	*	-	-
-	0	1182 + 8,8361x - 0,06311x ²	*	70	1485
-	30	2198 - 1,785x	*	-	-
-	60	2498 + 3,7439x - 0,0374x ²	*	50	2578
-	120	2766 + 12,2469x - 0,0816x ²	*	75	3232

P($b_i X^n$) = probabilidade do parâmetro de inclinação; * = significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; ns = não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; PG_E = produtividade de grãos estimada.

Para minimizar as perdas do nitrogênio, é fundamental o estudo de tecnologias voltadas ao uso eficiente do nitrogênio na aveia. Neste cenário, surge como alternativa o uso de hidrorretentores que possuem grande capacidade de retenção e armazenamento de água, melhorando a eficiência de absorção de nutrientes [12]. Em pesquisa realizada com hidrorretentores constatou-se o aumento da capacidade de armazenamento de água no solo, alongando o período vegetativo das plantas, favorecendo à qualidade do óleo [14]. Em trigo, o uso do hidrogel ocasionou o aumento da eficiência de uso do nitrogênio [16].

Na Tabela 2, estão apresentados os coeficientes de determinação e a soma de quadrados na estrutura de superfície de resposta voltada a construção de um modelo de simulação da produtividade de grãos de aveia na combinação hidrogel (H) e nitrogênio (N). Os coeficientes de determinação indicaram maior contribuição das variáveis nitrogênio e hidrogel de forma isolada na estrutura de superfície de resposta. Dentre estas, o nitrogênio evidencia maior contribuição no modelo de simulação da produtividade de grãos. As variáveis de forma quadrática combinada (H^2N^2) mostraram pouca influência na estrutura de superfície. O coeficiente de determinação ou explicação R^2 quantifica a qualidade do ajustamento, pois fornece uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em relação à variação total das respostas [17, 18].

Tabela 2: Soma de quadrados dos parâmetros do modelo de superfície de resposta no uso combinado de nitrogênio e hidrogel à produtividade de grãos de aveia no sistema milho/aveia.

Variáveis do Modelo de Superfície de Resposta		
Parâmetros	SQ	R^2
H	63190950	34
\bar{H}^2	8295909	4
N	135475576	72
\bar{N}^2	12604457	7
HN	7675148	4
$\bar{H}^2\bar{N}$	9789711	5
$\bar{H}\bar{N}^2$	11470618	6
$\bar{H}^2\bar{N}^2$	1322001	1

SQ = soma dos quadrados; R^2 = coeficiente de determinação (%); H= hidrogel (kg ha^{-1}); N= nitrogênio (kg ha^{-1}).

Na Tabela 3, estão apresentados os modelos estruturais de superfícies de resposta. O modelo proposto à simulação é o número 10, por apresentar uma estrutura mais simples, coeficiente de determinação similar aos mais complexos e trazer o nitrogênio e hidrogel de forma isolada de grau 1 (H; N) e grau 2 (H^2 ; N^2) e combinada com grau 1 (HN). Portanto, o modelo escolhido apresenta os dados necessários para derivação parcial no cálculo do ponto ótimo combinado.

O modelo de superfície de resposta desenvolvido à simulação da produtividade de grãos no sistema de sucessão milho/aveia foi 1:

$$PG = 6,846 + 27,929H - 0,147H^2 + 48,308N - 0,204N^2 - 0,096HN. \quad (1)$$

Na simulação da dose ideal da combinação hidrogel e nitrogênio pelo modelo de superfície de resposta, fez-se a dedução por derivada parcial da produtividade de grãos em função do hidrogel ($\frac{\partial PG}{\partial H}$) e do nitrogênio ($\frac{\partial PG}{\partial N}$), conforme a Figura 1.

De acordo com o modelo de superfície de resposta, a dose ótima de hidrogel e nitrogênio foram de 61 kg ha^{-1} e 104 kg ha^{-1} , respectivamente, numa produtividade de grãos esperada de 3372 kg ha^{-1} .

O planejamento associado à regressão por superfície de resposta tem sido usado em pesquisas relacionadas a otimização de produtos e processos que objetivam a diminuição de

Tabela 3: Soma de quadrados da estrutura do modelo de superfície de resposta no uso combinado de nitrogênio e hidrogel à produtividade de grãos de aveia no sistema milho/aveia.

n	Modelo Estrutural/Superfície de Resposta	GL	milho/aveia	
			SQ	R ²
1	PG=a+bH	1	63190950	34
2	PG=a+bN	1	135475576	72
3	PG=a+bH+cN	2	149335073	80
4	PG=a+bH+cH ² +dN	3	157630982	84
5	PG=a+bH+cN+dN ²	3	161939531	86
6	PG=a+bH+cH ² +dN+eN ²	4	167414330	89
7	PG=a+bH+cN+dHN	3	157010221	84
8	PG=a+bH+cH ² +dN+eHN	4	162571176	87
9	PG=a+bH+cN+dN ² +eHN	4	166270038	89
10	PG=a+bH+cH ² +dN+eN ² +fHN	5	170263110	91
11	PG=a+bH+cH ² +dN+eN ² +fHN+gH ² N	6	171729242	92
12	PG=a+bH+cH ² +dN+eN ² +fHN+gHN ²	6	173410149	92
13	PG=a+bH+cH ² +dN+eN ² +fHN+gH ² N+hHN ²	7	174408102	93
14	PG=a+bH+cH ² +dN+eN ² +fHN+gH ² N+hHN ² +iH ² N ²	8	175730103	94

GL = graus de liberdade; SQ = soma dos quadrados. R² = coeficiente de determinação (%); H = hidrogel (kg ha⁻¹); N = nitrogênio (kg ha⁻¹); PG = produtividade de grãos (kg ha⁻¹); a, b, c, d, e, f, g, h, i = coeficientes de regressão; n = número do modelo estrutural.

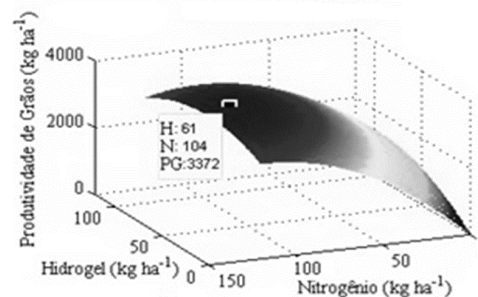


Figura 1: Superfície de Resposta da otimização de uso combinado de hidrogel e nitrogênio nas condições do sistema de sucessão milho/aveia. H = Hidrogel (kg ha⁻¹); N = Nitrogênio (kg ha⁻¹); PG = Produtividade de grãos (kg ha⁻¹).

custos e tempo e conseqüentemente a maximização do rendimento e qualidade de grãos [17]. Em tomates, [20] utilizaram superfície de resposta para verificar a influência da temperatura, da composição da solução NaCl/sacarose e do nível de agitação, na desidratação osmótica. Em trigo, [9] mostraram a possibilidade de uso de regressões para representar a estimativa de produtividade de grãos em função do uso nitrogênio e hidrogel e também a estimativa da dose combinada por superfície de resposta.

4 Conclusões

O uso da adubação nitrogenada aliada a diferentes doses do hidrorretentor promove alterações na produtividade de grãos de aveia. A regressão de superfície de resposta mostra que a dose ajustada de hidrogel e nitrogênio à máxima produtividade de grãos no sistema milho/aveia é ao redor de 60 e 100 kg ha⁻¹, respectivamente.

Referências

- [1] R. B. Araujo, D. E. de Faria Filho, D. E. de Faria Filho, C. G. de Lima, R. B. Trevisan, K. M. R. de Souza, M. I. Sakamoto and V. de S. Nakagi. Modelos de superfície de resposta para predição do desempenho de frangos e elaboração de análise econômica. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 12: 770-783, 2011.
- [2] G. T. O. S. Azevedo, G. B. de Azevedo, A. M. de Souza, C. L. Mews and J. R. L. de Sousa. Effect of hydrogel doses in the quality of *Corymbia citriodora* Hill & Johnson seedlings. *Nativa*, 4:244-248, 2016. DOI: 10.14583/2318-7670.v04n04a10.
- [3] V. Q. Carneiro. Rede neural e lógica fuzzy aplicadas no melhoramento do feijoeiro. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- [4] N. L. Carvalho and V. Zobot. Nitrogênio: nutriente ou poluente?. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, 6:960-974, 2012. DOI: 10.5902/223611704671.
- [5] G. S. A. Castro, C. H. M. da Costa and J. Ferrari Neto. Ecofisiologia da aveia branca. *Scientia Agraria Paranaensis*, 11:1-15, 2012.
- [6] J. A. G. da Silva, M. D. Wohlenberg, E. G. Arenhardt, A. C. de Oliveira, G. Mazurkiewicz, M. Müller, L. G. Arenhardt, M. O. Binelo, G. Arnold and R. Pretto. Adaptability and stability of yield and industrial grain quality with and without fungicide in Brazilian oat cultivars. *American Journal of Plant Sciences*, 6:1560-1569, 2015. DOI: 10.4236/ajps.2015.69155.
- [7] A. C. L. de Oliveira, M. Pasqual, L. A. S. Pio, W. S. Lacerda and S. de Oliveira. Utilização da modelagem matemática (redes neurais artificiais) na classificação de autotetraploides de bananeira (*Musa acuminata* Colla). *Bioscience Journal*, 29: 617-622, 2013.
- [8] C. A. M. B. Krüger, J. A. G. da Silva, S. L. P. Medeiros, G. A. Dalmago, A. J. da Silva, E. G. Arenhardt and E. Gewehr. Relações de variáveis ambientais e subperíodos na produtividade e teor de óleo em canola. *Ciência Rural*, 44:1664-1670, 2014. DOI: 10.1590/0103-8478cr20121331.
- [9] A. T. W. De Mamann, J. A. G. da Silva, O. B. Scremin, R. D. Mantai, A. H. Scremin, E. F. Dornelles. Nitrogen efficiency in wheat yield through the biopolymer hydrogel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21:697-702, 2017.

- [10] R. D. Mantai, J. A. G. da Silva, A. T. Z. R. Sausen, J. S. P. Costa, S. B. V. Fernandes and C. Ubessi. A 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.
- [11] A. Marolli, J. A. G. da Silva, M. V. Romitti, R. D. Mantai, O. B. Scremin, R. Z. Frantz, S. Sawicki, E. G. Arenhardt, M. E. Gzergorczyck and A. R. C. de Lima. Contributive effect of growth regulator Trinexapac-Ethyl to oats yield in Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 12: 795-804, 2017.
- [12] P. A. A. Marques, M. A. de Melo and E. H. Martinez. Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro. *Ciência Rural*, 43:1-7, 2013.
- [13] T. G. Mendonça, D. C. M. Querido and C. F. Souza. Eficiência do polímero hidroabsorvente na manutenção da umidade do solo no cultivo de alface. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 9:239-245, 2015. DOI: 10.7127/rbai.v9n400312.
- [14] H. R. T. Moghadam, H. Zahedi and F. Ghooshchi. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 41:579-586, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i4.13366.
- [15] J. Nissen and J. Tapia. Efecto de la aplicación de una poliacrilamida sobre la nutrición de ballica (*Lolium multiflorum*) en un suelo volcánico. *Agro Sur*, 24:206-212, 1996.
- [16] R. Pretto, L. M. Bandeira, D. R. da Silva, L. G. Arenhardt, A. T. W. de Mamann and J. A. G. da Silva. A tecnologia do hidrogel na eficiência de uso do nitrogênio sobre a produtividade de biomassa e grãos de trigo em sistema de rápida liberação de N-Residual. *Salão do Conhecimento*, 2, 2016.
- [17] M. I. Rodrigues and A. F. Iemma. *Planejamento de experimentos e otimização de processos*. Casa do Pão, Campinas, 2005.
- [18] S. F. M. Santos, R. L. A. de Souza, S. R. Alcântara, G. A. S. Pinto, F. L. H. da Silva and G. R. de Macedo. Aplicação da metodologia de superfície de resposta no estudo da produção de pectinase por fermentação em estado sólido do pedúnculo de caju. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 10:101-109, 2008.
- [19] R. G. D. Steel, J. H. Torrie and D. A. Dickey. Principles and procedures of statistics: A biological approach. *McGraw-Hill*, 1997.
- [20] R. V. Tonon, A. F. Baroni and M. D. Hubinger. Estudo da desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias pela metodologia de superfície de resposta. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26:715-723, 2006.