

## Modelo matemático para estimativa da produtividade de biomassa e grãos de aveia

Fernando P. B. Amaral<sup>1</sup>, Rubia D. Mantai<sup>2</sup>  
DCET, URI, 98.802-470, Santo Ângelo-RS.

José A. G. Silva,<sup>3</sup>  
DEAg, UNIJUÍ, 98.700-000, Ijuí-RS.

**Resumo.** A modelagem matemática na agricultura está em constante crescimento, trazendo importantes informações sobre a dinâmica de desenvolvimento das culturas. A aveia branca é um cereal com ampla utilização, principalmente na alimentação humana. Para alavancar a produtividade da aveia, há necessidade da adubação nitrogenada, onde o principal problema é definir a dose adequada de nitrogênio a ser aplicado. O objetivo foi determinar um modelo matemático que simule a produtividade de biomassa e grãos da aveia branca em função de doses da adubação nitrogenada em sistemas de sucessão soja/aveia e milho/aveia, e definir a dose ideal da adubação nitrogenada que garanta a produtividade máxima de grãos. O experimento foi conduzido em 2016 em delineamento por blocos casualizados, foram testadas as doses de 0, 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio com 4 repetições e em dois sistemas de cultivo (soja/aveia, milho/aveia), determinando-se os modelos matemáticos através de regressões polinomiais. Foram determinados modelos polinomiais lineares para estimativa da produtividade de biomassa e palha da aveia em função da adubação nitrogenada. Já, a produtividade de grãos é explicada através de uma regressão quadrática. Para alcançar uma produtividade máxima de grãos de aveia, o modelo matemático indica a dose de 83 e 96 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio no sistema de sucessão soja/aveia e milho/aveia, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Regressões polinomiais; Modelagem; Produtividade agrícola.*

---

<sup>1</sup>fernandoamaral70@yahoo.com

<sup>2</sup>rdmantai@yahoo.com.br

<sup>3</sup>jagsfaem@yahoo.com.br

## 1. Introdução

Modelos matemáticos têm sido utilizados com êxito para a previsão de safras agrícolas. Bassanezi (2002) descreve que a modelagem matemática consiste na arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los, interpretando suas soluções na linguagem do mundo real. Desta forma, a modelagem é necessária para a resolução de vários problemas, como Resende et al. (2011) que utilizou modelos para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas. Mantai et al. (2015), através de modelos de regressão múltipla determinaram a produtividade da aveia pelos componentes da panícula e doses de nitrogênio.

A aveia é uma gramínea cultivada no inverno, utilizada para produção de grãos, forragem, para a alimentação humana e animal, em indústrias na fabricação de cereais, flocos, cremes dermatológicos, etc. Seu uso na alimentação humana é muito importante pois traz benefícios a saúde, reduzindo o colesterol e a diabetes, auxiliando no funcionamento intestinal e na perda de peso Silva et al. (2016). Nos últimos anos, a aveia branca teve um significativo aumento em área e produtividade no Brasil, conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (2016), a área plantada de aveia branca no Rio Grande do Sul expandiu 84,4% na safra 2016, com uma produtividade 64,1% maior que o ano anterior. Este fato demonstra a aceitação e o interesse da cultura pelos agricultores, que buscam por alta produtividade.

Para a cultura da aveia poder evidenciar seu potencial produtivo necessita de uma fertilidade adequada de nitrogênio, sendo que, pequenas doses não permitem expressar total eficiência pela falta do componente, porém, doses elevadas tendem a ocasionar o acamamento da cultura reduzindo a produtividade de grãos, além de trazer danos ao meio ambiente e elevar os custos de produção (Mantai et al., 2015). Pesquisas como a de Teixeira Filho et al. (2011), Mantai et al. (2015) e Scremin (2016) já demonstram que a quantidade de nitrogênio aplicado altera os caracteres de produtividade da cultura, sendo assim, há a necessidade de conhecer a dinâmica de alteração da produtividade de biomassa e grãos da aveia branca em função das doses de nitrogênio, e qual a dose implica na maior produtividade de grãos.

O emprego de equações polinomiais podem simular a produtividade da cultura de aveia em função da quantidade de nitrogênio aplicado. Além disto, o emprego de modelos de regressão permitem ajustar a escolha das melhores doses em definir a máxima eficiência técnica na expressão de caracteres diretos

de produção de cultivares de aveia. Estes modelos servem como auxílio na tomada de decisão de agricultores e de técnicos, sendo extremamente útil na avaliação para fim de planejamento de colheita, bem como, um subsídio na análise da produtividade em vistorias de programas de garantia de atividade agropecuária.

O objetivo deste trabalho é determinar um modelo matemático que estime a produtividade de biomassa e grãos da aveia branca em função de doses da adubação nitrogenada em sistemas de sucessão de distinta relação C/N (soja/aveia, milho/aveia), e definir a dose ideal da adubação nitrogenada que garanta a produtividade máxima de grãos.

## 2. Metodologia

Para um experimento ter confiança, se fez necessário utilizar uma área experimental homogênea, de forma que as diferenças do ambiente não influencie nas variáveis analisadas. O trabalho foi desenvolvido em 2016 em uma área experimental localizada no município de Augusto Pestana-RS. A área experimental tem como característica um sistema de semeadura direta consolidado. No período do verão, uma parte da área é ocupada com soja e outra com milho, refletindo em dois precedentes culturais que foram utilizados para análise dos sistemas de cultivo.

A semeadura foi realizada com uma semeadora-adubadora. Cada parcela foi constituída de 5 linhas com 5 m de comprimento cada, e espaçamento entre linhas de 0,20 m, correspondendo a uma unidade experimental de 5m<sup>2</sup>. A adubação de base e cobertura levou em conta as indicações técnicas da cultura sendo aplicado 5, 20, 20 de nitrogênio, fósforo e potássio (N, P, K) respectivamente.

Os estudos foram conduzidos em dois sistemas de cultivo, envolvendo a cobertura de solo com resíduo vegetal de elevada e reduzida relação Carbono/Nitrogênio, sendo sucessão milho/aveia e soja/aveia, respectivamente. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições, seguindo um esquema unifatorial para o fator doses de nitrogênio, sendo os níveis do fator: 0, 30, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, aplicados 30 dias após a emergência. O fertilizante nitrogenado aplicado foi a ureia (teor de nitrogênio de 45%), sendo a fonte mais utilizada para o fornecimento de nitrogênio nas culturas no Brasil.

Foram analisados os seguintes caracteres: produtividade de grãos (PG,

kg ha<sup>-1</sup>), produtividade de biomassa (PB, kg ha<sup>-1</sup>) e produtividade de palha (PP, kg ha<sup>-1</sup>). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para detecção dos efeitos principais e de interação nos distintos sistemas de cultivo sobre a expressão dos caracteres analisados. Foram realizadas equações de regressão, para simulação da produtividade de biomassa, grãos e palha em função da dose de nitrogênio aplicada, e visando o ajuste da dose ideal do nitrogênio para a máxima produtividade de grãos de aveia, determinou-se a máxima eficiência técnica da cultura analisando-se o ponto máximo da regressão de estimativa de produtividade. Para estas determinações foi empregado o programa computacional Genes.

### 3. Modelos matemáticos aplicados

#### 3.1. Análise de variância

O uso da análise de variância em experimentos se dá para verificar se as diferenças amostrais observadas são reais (causadas por diferenças significativas nas populações observadas) ou casuais (decorrentes da mera variabilidade amostral), calculadas através das variâncias e covariâncias residuais (Brezolin et al., 2016).

O cálculo da análise de variância (ANOVA) permite decompor os graus de liberdade e da soma de quadrados total, em somas de quadrados correspondentes às fontes de variação, e assim verificar a igualdade entre os efeitos dos tratamentos.

O modelo matemático para esta pesquisa fica sendo:

$$Y_i = \mu + B_k + DN_i + \varepsilon_i \quad (3.1)$$

onde,  $\mu$  é a média geral,  $B_k$  os blocos,  $DN_i$  as doses de nitrogênio,  $\varepsilon_i$  o erro experimental, e  $Y_i$  representa a variável dependente mensurada, sendo ela nesta pesquisa o rendimento de grãos, de biomassa e de palha. Assim, busca-se através da ANOVA avaliar se as diferenças na produção são resultados do acaso ou da aplicação das diferentes doses de nitrogênio na plantação.

Primeiramente, tem-se que para o experimento unifatorial desta pesquisa, o uso de 4 blocos com 4 parcelas cada, para as doses de 0, 30, 60 e 120 Kg de nitrogênio por hectare. Assim, constrói-se a Tabela 1, com os blocos e as doses de nitrogênio.

Tabela 1: Esquema da variável resposta para análise da ANOVA

Dose N (kg ha <sup>-1</sup> )	Blocos			
	I	II	III	IV
0	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$
30	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{24}$
60	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$	$y_{34}$
120	$y_{41}$	$y_{42}$	$y_{43}$	$y_{44}$

Tabela 2: Análise de variância para experimento unifatorial no delineamento em blocos ao acaso

FV	Gl	SQ	QM	F
Blocos	b-1	$SQ_b$	$QM_b = SQ_b / (b - 1)$	$QM_b / QM_e$
Doses	d-1	$SQ_d$	$QM_d = SQ_d / (d - 1)$	$QM_d / QM_e$
Erro	(b-1)(d-1)	$SQ_e$	$QM_e = SQ_e / (b - 1) \cdot (d - 1)$	-
Total	(b*d)-1	$SQ_t$	-	-

FV=fonte de variação; GL= grau de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; d= dose de nitrogênio; b= bloco; F= teste de Fischer

Sendo C um fator de correção, e d o fator quantitativo de efeito fixo, tem-se a análise de variância, com as somas de quadrados e quadrados médios, apresentada na Tabela 2.

Cálculo do fator de correção,

$$C = \frac{\left(\sum_j \sum_i X_{ij}\right)^2}{n..} \tag{3.2}$$

Os modelos matemáticos das somas dos quadrados são apresentados a seguir. soma dos quadrados do bloco é dado por:

$$SQ_b = \sum \left[ \frac{\left(\sum_j X_{ij}\right)^2}{n_{i.}} \right] - C \tag{3.3}$$

soma dos quadrados das doses:

$$SQ_d = \sum \left[ \frac{\left(\sum_i X_{ij}\right)^2}{n_{.j}} \right] - C \tag{3.4}$$

soma dos quadrados do total:

$$SQ_t = \sum_j \sum_i X_{ij}^2 - C \quad (3.5)$$

e a soma dos quadrados do erro:

$$SQ_e = SQ_t - SQ_b - SQ_d \quad (3.6)$$

Considerando o efeito das doses na produção de aveia  $H_0=0$  (os tratamentos não diferem entre si) e sendo  $H_1 \neq 0$  (os tratamentos diferem entre si), a estatística  $FC = QM_d/QM_e$ , sob  $H_0$ , tem distribuição de F ( $GL_d; GL_e$ ). Assim, se  $FC > F\alpha(GL_d; GL_e)$ , rejeita-se  $H_0$  e se conclui que existe diferença em nível de erro de conclusão entre os fatores de tratamento (doses de nitrogênio) e a alteração estimada não pode ser atribuída ao acaso. Se  $FC \leq F\alpha(GL_d; GL_e)$ , então, aceita-se  $H_0$  e se conclui que a interação observada não é significativa e pode ser atribuída ao acaso.

### 3.2. Modelo de regressão polinomial linear

Para Brezolin et al. (2016) os modelos de regressão permitem explorar e inferir a relação de uma variável resposta, com variáveis explicatórias. Assim, a análise de regressão linear simples é um método para se estimar o valor esperado de uma variável  $y$ , dados os valores de algumas outras variáveis  $x$ . Pode ser encontrada através do método de mínimos quadrados.

Ajusta-se a uma equação que representa uma reta da forma:

$$y = a + bx + \varepsilon \quad (3.7)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}; \bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3.8)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3.9)$$

$$b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (3.10)$$

onde,  $a$  e  $b$  são parâmetros do modelo,  $x$  e  $\bar{x}$  são respectivamente, valores da variável independente e sua média,  $y$  and  $\bar{y}$  são respectivamente, valores da variável dependente e sua média e  $n$  o número de observações.

### 3.3. Modelo de regressão polinomial quadrática

Para a regressão polinomial consideram-se a equação:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (3.11)$$

Para cálculo da regressão quadrática, usaremos o seguinte sistema

$$an + \sum x + \sum x^2 = \sum y \quad (3.12)$$

$$\sum x + \sum x^2 + \sum x^3 = \sum xy \quad (3.13)$$

$$\sum x^2 + \sum x^3 + \sum x^4 = \sum x^2y \quad (3.14)$$

onde,  $a$  e  $b$  são parâmetros do modelo,  $x$  são os valores da variável independente,  $y$  são valores da variável dependente e  $n$  o número de observações.

### 3.4. Teste T

O valor de t-Student calculado, verifica a significância do parâmetro da equação polinomial. Dado por,

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_i}{\sqrt{\sigma^2/S_{xx}}} \quad (3.15)$$

$$\sigma^2 = \frac{SS_e}{n-2} \quad (3.16)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3.17)$$

$$SS_e = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.18)$$

Sendo,  $x$  e  $\bar{x}$  os tratamentos e suas respectivas médias,  $y$  e  $\bar{y}$  a variável resposta e sua respectiva média e  $n$  o número de observações.

Após, o valor absoluto de t calculado é comparado com o valor crítico dado em tabela, ao nível de significância estabelecido e com os mesmos graus de liberdade. Toda vez que o valor absoluto do t calculado for igual ou maior que o da tabela, rejeita-se a hipótese de nulidade, significando que o parâmetro da equação difere de zero.

### 3.5. Modelo para a máxima eficiência técnica

Comumente, em experimentos agrícolas a máxima eficiência de produção exige um alto nível de adubação. Nesse sentido, é obtida a máxima eficiência técnica, através de,

$$y = b_0 \pm b_1x \pm b_2x^2 \quad (3.19)$$

$$y = -\frac{b_1}{2b_2} \quad (3.20)$$

onde o valor de  $x$  indica a dose de nitrogênio que determina a máxima produtividade da aveia.

## 4. Resultados e Discussão

Conforme a Tabela 3 e 4, da análise de variância da produtividade de biomassa, grãos e palha, em função das doses de nitrogênio em sistema de sucessão soja/aveia e milho/aveia, respectivamente, verifica-se através dos testes de probabilidade que as diferenças ocorridas entre as variáveis analisadas são efeito das distintas doses de nitrogênio aplicadas. Portanto, a cultura possui uma dinâmica de desenvolvimento diferenciada quanto ao nível do componente químico disponível ao solo.

Várias pesquisas com a aveia branca afirmam sobre o aumento da produtividade com a aplicação da adubação nitrogenada (Mantai et al., 2015) (Silva et al., 2016). Brezolin et al. (2016) trabalhando com a cultura do trigo, também verificaram uma influência positiva do nitrogênio na produtividade de grãos.

A Tabela 5 descreve as equações de regressão da produtividade de biomassa, grãos e palha, em função da dose de nitrogênio, com a máxima eficiência técnica e sua respectiva produtividade estimada em sistema soja/aveia e milho/aveia. Em ambos sistema de sucessão, a produtividade de biomassa e palha da aveia se ajustaram a um modelo de regressão linear, de modo que quanto maior a dose de nitrogênio maior a quantidade de biomassa e palha adquirida. Mantai et al. (2015) também concluíram que a produtividade de biomassa aumenta de forma linear pela a aplicação do nitrogênio. Silva et al. (2016) afirmam que o nitrogênio é um componente decisivo em maximizar a produtividade vegetal, porém, a expectativa para altos rendimentos, pode elevar as doses de adubação, aumentando os custos e tornando a cultura economicamente inviável.

Tabela 3: Análise de variância das variáveis de produtividade de grãos de aveia frente as doses nitrogênio aplicadas no sistema soja/aveia

FV	GL	SQ	QM	F
Produtividade de grãos				
Blocos	3	95885.25	31961.75	
Doses	3	5487452.25	1829150.75	53.22*
Erro	9	309296.25	34366.25	
Total	15	5892633.75		
Produtividade biológica				
Blocos	3	2447483.19	815827.73	
Doses	3	80723498.19	26907832.73	45.38*
Erro	9	5336342.06	592926.9	
Total	15	88507323.44		
Produtividade de palha				
Blocos	3	2993865.25	997955.08	
Doses	3	48122505.25	16040835.08	21.78*
Erro	9	6627419.25	736379.92	
Total	15	57743789.75		

FV= fonte de variação; GL= grau de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM = quadrado médio; F= probabilidade de Fischer; \* = significativo a 5% de probabilidade de erro

Tabela 4: Análise de variância das variáveis de produtividade de grãos de aveia frente as doses nitrogênio aplicadas no sistema milho/aveia

FV	GL	SQ	QM	F
Produtividade de grãos				
Blocos	3	73083.19	24361.06	
Doses	3	10631959.69	3543986.56	81.27*
Erro	9	392447.56	43605.28	
Total	15	11097490.44		
Produtividade biológica				
Blocos	3	4257074.25	1419024.75	
Doses	3	155335606.75	51778535.58	24.45*
Erro	9	19054816.75	2117201.86	
Total	15	178647497.75		
Produtividade de palha				
Blocos	3	4073934.25	1357978.08	
Doses	3	98758698.25	32919566.08	16.09*
Erro	9	18406355.25	2045150.58	
Total	15	121238987.75		

FV= fonte de variação; GL= grau de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM = quadrado médio; F= probabilidade de Fischer; \* = significativo a 5% de probabilidade de erro

Tabela 5: Equações de regressão do rendimento de grãos, biológico e de palha, em função da dose de nitrogênio, com a máxima eficiência técnica e sua respectiva produtividade estimada em sistema soja/aveia e milho/aveia

FV	Equação	$P(b_i x^i)$	$R^2$	$P_M$	MTE	$P_E$
soja/aveia						
PB	PB = 48.52x+8844.9	*	87	11392.3		
PG	PG = -0.24x <sup>2</sup> +39.7x+2629	*	97	3582.4	83	4270
PP	PP = 38.59x+5783.8	*	96	7809.9		
milho/aveia						
PB	PB = 68.72x+73	*	94	10958.2		
PG	PG = -0.24x <sup>2</sup> +46.35x+1552	*	99	2837.7	96	3790
PP	PP = 52.57x+5360.65	*	82	8120.5		

FV = fonte de variação; RB = rendimento biológico; RG = rendimento de grãos; RP = rendimento de palha;  $R^2$  = coeficiente de determinação;  $P(b_i x^i)$  = probabilidade da inclinação da equação pelo teste T;  $P_M$  = produtividade média; MET=máxima eficiência técnica;  $P_E$ =produtividade estimada

Em ambos sistema de sucessão a produtividade de grãos evidenciou um modelo de regressão quadrático (Tabela 5), demonstrando que a cultura consegue converter a energia acumulada na forma de grão até um certo limite da adubação nitrogenada, a partir daí, perde a sua produtividade possivelmente pela ocorrência do acamamento. O acamamento é a tendência de plantas caírem, resultando em plantas recurvadas, e em muitos casos a quebra do colmo, comprometendo o desenvolvimento da planta, causando danos à produtividade de grãos (Cruz, 2002). Mantai et al. (2015) e Scremin (2016) já observaram no trabalho com a aveia branca que o nitrogênio favorece a produção de grãos, mas que em excesso provoca o acamamento de plantas, dificultando assim a colheita e prejudicando a formação dos grãos. Conforme Benin et al. (2012), o uso de elevados níveis de nitrogênio nem sempre é o mais indicado na busca de elevada produtividade.

Comparando o sistema de sucessão (soja/aveia e milho/aveia) (Tabela 5), nota-se que o sistema milho/aveia obteve uma maior taxa de variação da produtividade biológica e de palha (68,72 e 52,57, respectivamente) em comparação com o sistema soja/aveia (48,52 e 38,59, respectivamente). Este fato pode ter ocorrido devido a maior mobilização no nitrogênio do resíduo cultural de milho, o qual vai liberando nitrogênio lentamente, ou seja, a aveia obteve neste sistema com alta relação carbono/nitrogênio, um aporte de nitrogênio do início ao fim do ciclo de produtivo. Em contrapartida, o resíduo da soja, tem decomposição acelerada, dando aporte de nitrogênio apenas até a fase vegetativa da planta.

Para a produtividade média de grãos da Tabela 5, o maior valor médio ocorreu no sistema soja/aveia (3.582,4 kg ha<sup>-1</sup> de grão) em comparação com o sistema de milho/aveia (2837,7 kg ha<sup>-1</sup> de grão). Analisando a máxima eficiência técnica da cultura, para o sistema soja/aveia a máxima produtividade é alcançada utilizando 83 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, e no sistema milho/aveia há a necessidade de uma quantidade maior, sendo de 96 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Destaca-se a diferença da eficiência da planta no sistema de alta relação C/N com o de baixa relação C/N, onde no sistema de baixa relação C/N utilizando 13 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio a menos, resulta em uma produtividade de grãos estimada em 480 kg ha<sup>-1</sup> a mais que a aveia sob o sistema de alta relação C/N. Além do ganho pela maior produtividade de grãos quando submetida sob resíduo da soja, tem-se um ganho pela economia do adubo nitrogenado, o qual é o elemento de maior custo na implementação da lavoura, afora a redução da

poluição ambiental com o uso desnecessário do componente químico.

Mantai et al. (2015) verificaram que a máxima eficiência técnica para a aveia branca com a cultivar *Brisasul*, no sistema soja/aveia, acontece com a dose de 85,66 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, com uma produtividade de 3352,91 kg ha<sup>-1</sup> de grãos, já para o sistema milho/aveia a dose de 101,7kg ha<sup>-1</sup> dá a melhor produtividade em grãos (2748 kg ha<sup>-1</sup>). Dados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

Para a produtividade de biomassa e de palha da Tabela 5, não se tem determinado a máxima eficiência técnica, visto que o aumento da produtividade em relação a aplicação do nitrogênio acontece de forma linear. Fato já observado na pesquisa de Scremin (2016) que concluiu que a taxa de produtividade de biomassa também mostrou tendência de crescimento linear com a aplicação do nitrogênio, porém nem sempre acompanhado da maior produção de grãos. Mantai et al. (2015) também acrescenta que equações lineares mostram a tendência de crescimento de biomassa com a aplicação de N-fertilizante, mas que não estão ligadas diretamente a maior produtividade de grãos.

É necessário uso de novas tecnologias para melhorar a eficiência do nitrogênio na elaboração de produtividade de biomassa e grãos. Conforme Silva et al. (2016), estes estudos podem viabilizar tecnologias economicamente satisfatórias com menor impacto ambiental, gerando uma agricultura mais sustentável.

## 5. Conclusões

O uso de modelos polinomiais são eficientes em explicar o comportamento da cultura da aveia em função da dose de nitrogênio aplicado, sendo que, os modelos determinados servem como um auxílio na tomada de decisão quanto a investimentos agrícolas.

A produtividade de biomassa e palha da aveia em função da adubação nitrogenada pode ser explicada através de uma regressão linear. Já, a produtividade de grãos é explicada através de uma regressão quadrática.

Os sistemas de sucessão (soja/aveia, milho/aveia) modificam a expressão de produtividade, de modo que, a aveia cultivada sob sistema com baixa relação C/N, detém uma maior mobilização do nitrogênio para a produtividade de grãos, em comparação com o cultivo sob sistema de alta relação C/N. A produtividade máxima de grãos de aveia é alcançada com a dose de 83 e 96 kg ha<sup>-1</sup>

de nitrogênio no sistema de sucessão soja/aveia e milho/aveia, respectivamente.

## Referências

- Bassanezi, R. C. (2002). *Ensino-aprendizagem com modelagem matemática*. Ed. Contexto, S.Paulo.
- Benin, G., Bornhofen, E., Beche, E., Pagliosa, E. S., Silva, C., e Pinnow, C. (2012). Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. *Acta Sci. Agro.*, 34:275–283.
- Brezolin, A. P., Silva, J. A. G., Frantz, F. C. R., Binelo, M. O., Valdiero, A. C., Zimmer, C. M., Mantai, R. D., Marolli, A., Scremin, O. B., e Mazurkiewicz, G. (2016). The efficiency of wheat yields by nitrogen dose and fractionation. *African Journal of Agricultural Research*, 36:3440–3449.
- Companhia Nacional de Abastecimento (2016). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. In *Terceiro levantamento*, volume 4, página 160p., Brasília/DF.
- Cruz, P. J. (2002). *Genética do Acamamento em Trigo (Triticum Aestivum L.) e a Identificação do Caráter para Seleção*. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências –UFRS, Porto Alegre/RS.
- Mantai, R., Silva, J. A. G., Sausen, A. T. Z. R., Costa, J. S. P., Fernandes, S., e Ubessi, C. (2015). A eficiência na produção de biomassa e grãos de aveia pelo uso do nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19:343–349.
- Resende, O., Siqueira, V. C., Corrêa, P. C., e Afonso Júnior, P. C. (2011). Modelagem matemática da secagem do café (*coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e híbrido. In *VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, páginas 1–6, Araxá/MG.
- Scremin, O. B. (2016). Modelagem matemática em aveia por regressões, lógica fuzzy e redes neurais artificiais na otimização de uso do nitrogênio pelo emprego do hidrogel. Dissertação de Mestrado, DETEC–UNIJUÍ, Ijuí/RS.
- Silva, J. A. G., Goi Neto, C. J., Fernandes, S. B. V., Mantai, R. D., Scremin, O. B., e Pretto, R. (2016). Nitrogen efficiency in oats on grain yield with

stability. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20:1095–1100.

Teixeira Filho, M. C. M., Buzetti, S., Andreotti, M., Arf, O., e Benett, C. G. S. (2011). Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:797–804.