

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

MODELAGEM MATEMÁTICA POR EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR E MÚLTIPLA NA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE TRIGO BRASILEIRO NO APROVEITAMENTO DO NITROGÊNIO PELA DOSE E FRACIONAMENTO¹

Ana Paula Brezolin², Ângela Teresinha Woschinski De Mamann³, Ari Higino Scremin⁴, Eldair F. Dornelles⁵, Fabricia Roos-Frantz⁶, José Antonio Gonzalez Da Silva⁷.

¹ Parte dos resultados de pesquisa desenvolvida pelo DEAg/UNIJUÍ.

² Doutoranda em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

³ Docente IFRS e Mestre em Modelagem Matemática pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁴ Mestrando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁵ Mestrando em Modelagem Matemática do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁶ Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

⁷ Professor do Departamento de Estudos Agrários, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUÍ.

Introdução

O trigo é uma espécie cultivada em larga escala, em diversas regiões do mundo, pois é possível a fabricação de inúmeros derivados obtidos pela sua industrialização, principalmente, destaca-se na produção de diferentes tipos de farinha (Silva et al., 2015). Além disso, o trigo se constitui em uma importante cultura na rotação e ou sucessão cultural nas unidades de produção agropecuárias, garantindo o fluxo econômico e a sustentabilidade da propriedade (Silva et al., 2015). No Brasil, os maiores produtores de trigo estão concentrados na Região Sul: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, responsáveis por produzir cerca de 90% da produção nacional (CONAB, 2016).

A qualidade do grão de trigo é o resultado da interação entre o desempenho das cultivares, tecnologias de manejo, clima e solo favoráveis, fatores estes que influenciam diretamente no uso industrial dado ao produto final, que é a farinha (Queiroz, et al. 2015). Dentro das tecnologias de manejo, a adubação nitrogenada tem reflexos expressivos no aumento da produtividade (Mantai et al., 2015). No entanto, em anos desfavoráveis, a eficiência de aproveitamento do nitrogênio pode ser comprometida, reduzindo a produtividade e aumentando os custos de produção (Silva et al., 2015).

O trigo, por ser uma gramínea, exige a adubação nitrogenada para completar os seus processos biológicos e obter a maior eficiência na produtividade final do grãos (Teixeira Filho et al., 2011), para tanto, faz-se necessária à aplicação do mesmo, em forma de fertilizantes. O nitrogênio é o nutriente mais absorvido e o mais exportado pelas plantas de trigo. Além disto, exerce forte influência na definição da produtividade desta cultura (Stefen et al., 2015). Todavia, a adubação

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

nitrogenada é um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente (Silva et al., 2015).

A regressão linear e múltipla tem sido um grande artifício, pois possibilita verificar diversos problemas que afetam as mais variadas áreas do conhecimento humano (Corrêa et al., 2010). Portanto, a modelagem matemática da produção agrícola visa a orientação do produtor rural na tomada de decisão, a qual poderá vir a afetar diretamente as atividades operacionais e táticas da condução de cada cultura (Walter et al., 2010).

Este trabalho tem por objetivo simular os efeitos proporcionados por doses e condições de fornecimento do nitrogênio sendo dose cheia ou fracionada, cultivada sob semeadura direta, por condição de ano favorável e desfavorável ao cultivo sob sistema de cultivo de baixa taxa de decomposição residual (sistema milho/trigo). Atrelado a isso, a análise da expressão produtividade de grãos, fazendo uso de modelos de regressão linear e múltipla e de superfície de resposta, que permitem estimar a máxima produtividade de grãos em trigo voltada a inferências às condições regionais do noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido na área experimental do IRDeR nos anos agrícolas de 2013 e 2014, no município de Augusto Pestana, RS. No estudo, o delineamento foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em esquema fatorial 4 x 3, para doses de N-fertilizante (0, 30, 60, 120 kg/ha) e formas de fornecimento do nutriente [condição cheia (100%) no estágio fenológico V3 (terceira folha expandida); fracionada (70%/30%) no estágio fenológico V3/V6 (terceira e sexta folha expandida) e; fracionada (70%/30%) no estágio fenológico V3/E (terceira folha expandida e início de enchimento de grãos)], respectivamente. Foi utilizada a cultivar de trigo BRS Guamirim de porte baixo, ciclo precoce, resistente ao acamamento, de classe comercial tipo pão e de alto potencial produtivo. Portanto, esta cultivar representa o biótipo padrão comumente desejado pelos triticultores do Sul do Brasil.

Ao atender os pressupostos de homogeneidade e normalidade via teste de Bartlett, foi realizada análise de variância para detecção dos efeitos principais e de interação. Para a obtenção dos resultados foi utilizado o programa computacional GENES (Cruz, 2013), sendo os dados submetido a análise de variância (ANOVA), aqui não apresentado, e teste de médias pelo modelo de Scott e Knott. Além disso, a utilização da regressão linear e múltipla correlacionando as variáveis que são diretamente ligadas a produtividade de grão de trigo, pode fornecer modelos que permitem obter a estimativa em qualquer dose e condição de fornecimento da adubação nitrogenada. Sendo assim, o modelo de regressão linear simples é representado pela seguinte equação (Detmann et al., 2011):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

onde, a análise de regressão linear simples é um método para se estimar o valor esperado de uma variável Y_i , dados os valores de algumas outras variáveis X_i , minimizando os erros Y_i . Além disso, os autores (Detmann et al., 2011) descrevem a equação do modelo de regressão múltipla como:

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i \quad (2)$$

onde, β = coeficientes de regressão; X = constante; Y = variável resposta; ε = erro ou variância do coeficiente de regressão; p= número de parâmetros.

Para (Cruz, 2013), a superfície de resposta envolve princípios de regressão múltipla, pois considera duas variáveis independentes no modelo de regressão, sendo que envolve vários graus de influência desta variável independentes sobre a principal.

É considerada a seguinte equação:

$$Z_i = \beta_0 + \beta_1 X_j + \beta_2 Y_j + \beta_3 X_j^2 + \beta_4 Y_j^2 + \beta_5 X_j Y_j + \varepsilon_j \quad (3)$$

onde, Zi= Variável dependente; β_0 = Estimativas dos coeficientes da regressão; X e Y= Os valores codificados dos fatores (época e doses, respectivamente); $\beta_1 X_j$ e $\beta_2 Y_j$ = São responsáveis pelo efeito principal (fatores interagidos); $\beta_3 X_j^2$ e $\beta_4 Y_j^2$ = Responsáveis pelos efeitos da curvatura e pelo produto dos termos; $\beta_5 X_j Y_j$ = Responsáveis pelos efeitos das interações; ε_j = Erro.

Resultados e discussão

No ano de 2013 (Figura 1), a temperatura máxima observada no momento da aplicação de N-fertilizante foi ao redor de 15°C, e com condições favoráveis de umidade do solo por chuvas que ocorreram em dias anteriores a adubação (Figura 1). Conforme Tabela 1, o volume total de chuvas foi similar a média histórica, indicando adequada distribuição de precipitação pluviométrica ao longo do ciclo (Figura 1). Estas condições, foram decisivas na maior média de produtividade de grãos obtida, caracterizando 2013 como ano favorável (AF) ao cultivo. Em 2014 (Figura 1), o momento de aplicação de N-fertilizante indicou temperatura máxima ao redor de 23°C. Embora houvesse condições adequadas de umidade do solo por chuvas que ocorreram antes da adubação, o momento de fornecimento do nutriente foi caracterizado por significativo volume de chuvas (30 mm), condição que facilita maior perda de nitrogênio por lixiviação. Além disto, grande frequência e volume de chuvas foram observadas a partir dos 90 dias após emergência, portanto, períodos de menor insolação, o que junto as altas temperaturas, favorece redução da eficiência de fotossíntese, condição que se estendeu da fase de enchimento até a colheita de grãos. O elevado volume de precipitação em relação a média histórica e a reduzida produtividade obtida na safra (Tabela 1), caracteriza 2014, como ano desfavorável (AD) de cultivo.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

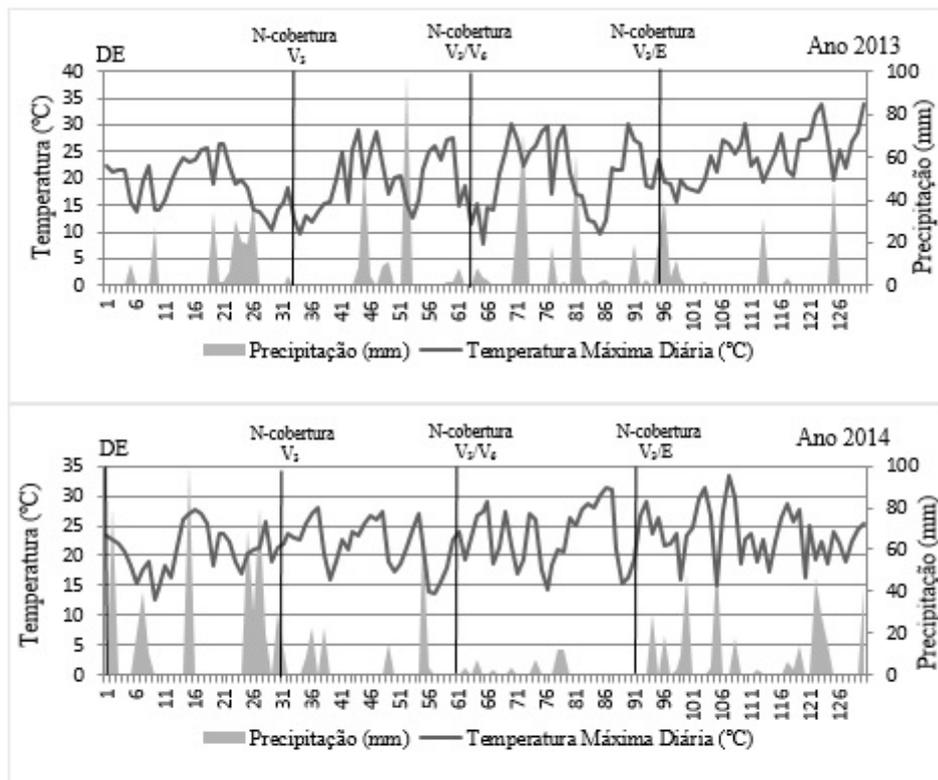


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperatura máxima no ciclo de cultivo do trigo com os dias de aplicação do nitrogênio. DE= Data da emergência: 2013 (17/06); 2014 (25/06). DAE= Dias pós a emergência. V₃ = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida. V₃/V₆ = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida e V₃/E= Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Tabela 1. Temperatura e precipitação nos meses de cultivo e média de produtividade.

Ano	Mês	Temperatura (°C)			Precipitação (mm)		PG _g (kg ha ⁻¹)	Classe
		Mínima	Máxima	Média	Média 25 anos*	Ocorrida		
2013	Maio	10,5	22,7	16,6	149,7	100,5	3358	AF
	Junho	7,9	18,4	13,15	162,5	191		
	Julho	8,3	19,2	13,75	135,1	200,8		
	Agosto	9,3	20,4	14,85	138,2	223,8		
	Setembro	9,5	23,7	16,6	167,4	46,5		
	Outubro	12,2	25,1	18,65	156,5	211,3		
	Total	-	-	-	909,4	973,9		
2014	Maio	10,8	23,6	17,2	149,7	412	1414	AD
	Junho	8,6	19	13,8	162,5	412		
	Julho	9,7	21,82	15,76	135,1	144		
	Agosto	8,8	23,66	16,23	138,2	77,8		
	Setembro	13,33	23,58	18,46	167,4	274,8		
	Outubro	16,02	27,49	21,76	156,5	230,8		
	Total	-	-	-	909,4	1551,4		

*= Média de precipitação pluviométrica obtida dos meses de maio a outubro de 1989 a 2014; AI= Ano intermediário; AF= Ano favorável; AD= Ano desfavorável; PG_g= produtividade média de grãos.

Na Tabela 2, ligando o estágio fenológico da cultura de trigo com o dia de fornecimento de nitrogênio, nos anos de 2013 (AF) e 2014 (AD) indicaram coeficientes angulares das equações significativos. No ano de 2013, classificado com favorável ao cultivo, houve redução significativa da produtividade de grãos com o atraso da adubação. Portanto, a partir de V3 há uma redução de produtividade de grãos em 6,39 kg/ha por dia. No ano classificado como desfavorável (2014), percebeu-se redução significativa da produtividade de grãos em 3,26 kg/ha por dia de atraso. Portanto, quanto mais tardia for o fornecimento do N-fertilizante maior é o prejuízo na produtividade final de grãos.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Tabela 2. Equação de regressão para a estimativa da produtividade de grãos e médias de produtividade nos estádios (dias) do fornecimento de nitrogênio no sistema milho/trigo.

Ano	Estádio (Dias)	PG (kg ha ⁻¹)	Equação RG= a ± bx	R ² (%)	P (b _{ix})
2013 (AF)	V ₃ (30)	2754 a	2967-6,39x	96	*
	V ₆ (60)	2626 a			
	R ₄ (90)	2371 b			
2014 (AD)	V ₃ (30)	1200 a	1313-3,26x	93	*
	V ₆ (60)	1149 a			
	R ₄ (90)	1005 b			

V₃ = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida (30 dias); V₆ = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida (60 dias); E= Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão (90 dias); R²= coeficiente de determinação; AF= Ano favorável; AD= Ano desfavorável PG = Produtividade de Grãos (kg ha⁻¹); P (b_{ix}) = probabilidade da significância de inclinação; * = Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste; ** = Não significativo; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo modelo de Scott Knott.

Na Tabela 3, são apresentados modelos que buscam validar a máxima eficiência de uso do nitrogênio independente dos estádios de fornecimento e fracionamento do nitrogênio em cada ano. No ano de 2013 (AF), a linearidade foi obtida no comportamento da produtividade de grãos. Uma condição que reporta os benefícios do ano favorável na absorção de nitrogênio à elaboração dos grãos, confirmada pelos elevados valores médios obtidos com o incremento das doses de nitrogênio. Fato este, também observado no ano de 2014 (AD). Os resultados corroboram com a adequada classificação proposta de ano, visto que, na condição favorável (2013) a transformação por kg de N aplicado se traduziu em 19,4 kg de grãos. Por outro lado, a condição desfavorável de 2014 denota forte redução de aproveitamento de N na relação 1kg de nitrogênio aplicado por hectare para 6,7 kg de rendimento de grãos obtido.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Tabela 3. Equação da produtividade de grãos e médias de produtividade nas doses de nitrogênio e definição da dose ideal com simulação da produtividade de grãos.

Ano	Dose (N)	PG (kg ha ⁻¹)	Equação RG= a ± bx ± cx ²	R ² (%)	P (b _{ix})	Dose ideal (N)	PG _E (kg ha ⁻¹)
2013 (AF)	0	1263 d	1564+19,4x	92	*	-	-
	30	2467 c					
	60	2851 b					
	120	3753 a					
2014 (AD)	0	647 d	763+6,7x	84	*	-	-
	30	1035 c					
	60	1298 b					
	120	1491 a					

PG= Produtividade de grãos (kg ha⁻¹); PG_E= Produtividade de grãos estimado (kg ha⁻¹); AF= Ano favorável; AD= Ano desfavorável; R²= Coeficiente de determinação; P (b_{ix}) = Probabilidade da significância de inclinação da reta; *= Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste; **= Não significativo; Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo modelo de Scott Knott.

Na Tabela 4, nos anos de 2013 (AF) e 2014 (AD), o modelo estrutural de superfície de resposta foi considerado aquele que apresentava uma estrutura mais simples e com maior coeficiente de determinação. Pelo critério proposto, o coeficiente de determinação para o ano de 2013 (AF) é 92. Para 2014 (AD), o coeficiente de determinação do modelo escolhido é 87.

Tabela 4. Modelos de superfície de resposta no uso combinado de doses e condições de fornecimento do nitrogênio a produtividade de grãos de trigo no sistema soja/trigo.

Modelo Estrutural/Superfície de Resposta			
2013 (AF)		2014 (AD)	
Modelo	R ²	Modelo	R ²
Z=2966-6,38855X	3	Z=1313-3,26146X	5
Z=1564+19,4169Y	84	Z=763+6,74873Y	73
Z=1947-6,38855X+19,4169Y	87	Z=959-3,26146X+6,74873Y	78
Z=1735+2,09895X-0,07073X ² +19,4169Y	87	Z=805+2,8927X-0,05129X ² +6,74873Y	78
Z=1716-6,38855X+35,34571Y-0,12817Y ²	92	Z=843-3,26146X+14,73419Y-0,06426Y ²	87
Z=1504+2,098X-0,070X ² +35,345Y-0,128Y ²	91	Z=689+2,89X-0,051X ² +14,734Y-0,064Y ²	86
Z=1743-2,99834X+23,29142Y-0,06458XY	87	Z=1028-4,4175X+5,42753Y+0,02201XY	78
X mínimo = 30	Y máximo= 120	X mínimo = 30	Y máximo = 120
X máximo = 90	Z mínimo=1109	X máximo = 90	Z mínimo=411
Y mínimo = 0	Z máximo=4081	Y mínimo = 0	Z máximo=1773

Z= Produtividade de grãos (kg ha⁻¹); X = Condição de fornecimento do nitrogênio [V₃ = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida (30 dias); V₃/V₆ = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida (60 dias); V₃/E = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão (90 dias)]; Y= Doses de nitrogênio (0, 30, 60 120 kg ha⁻¹); AF= Ano favorável; AD= Ano desfavorável; R² = coeficiente de determinação.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Na Figura 2, estão apresentados os gráficos da análise superfície de resposta estimando a produtividade de trigo nos anos de estudo, 2013 (AF) e 2014 (AD). No ano de favorecimento a cultura do trigo, 2013, percebe-se que a produtividade de grãos foi superior a 4 t/ha na dose 120 kg/ha na ausência de fracionamento. Por outro lado, no ano desfavorável ao cultivo de trigo, 2014, a produtividade de grãos foi similar nas condições de V3 e V3/V6, sugerindo como a mais indicada a V3, por reduzir custos ao produtor.

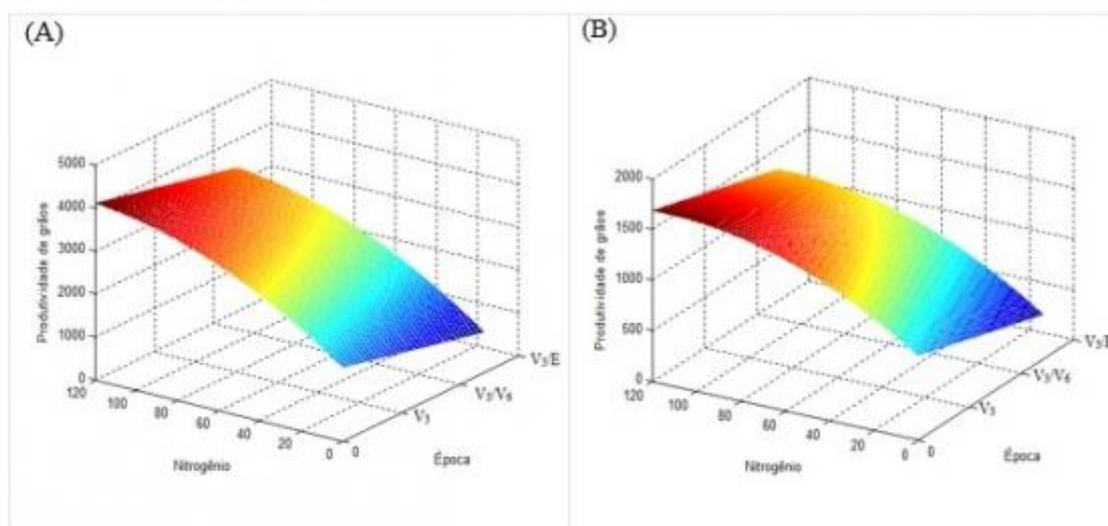


Figura 2- Otimização do uso de nitrogênio nas épocas de fornecimento do nitrogênio nas condições de ano e sistemas de sucessão. (A) = 2013 ano favorável; (B) = 2014 ano; V₃ = Condição cheia (100%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida; V₃/V₆ = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira e sexta folha expandida e V₃/E = Condição fracionada (70%/30%) da dose de nitrogênio na terceira folha expandida e início do enchimento de grão.

Conclusão

Na simulação da produtividade de grãos, anos favoráveis de cultivo frente à precipitação pluviométrica indica que o fracionamento é o mais viável, porém na condição V3/E é o menos eficiente, reduzindo a produtividade de grãos. Além disso, qualifica o modelo de otimização da superfície de resposta foi eficiente na estimativa da produtividade de grãos atrelado as doses e condições de fracionamento do N-fertilizante.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., anos, superfície de resposta

Referências bibliográficas

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas de área, produção e produtividade de grãos: Safra 2013 de trigo. <http://www.conab.gov.br>. 19 Jan. 2016.

CORREIA, P. C. et al. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. *Ceres*, v. 57, n.5, p. 595-601, 2010.

CRUZ C. D. Programa GENES: Estatística experimental e matrizes. Viçosa: Ed. UFV, 2013.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

DETMANN, M. P. et al. Uso de técnicas de regressão na avaliação, em bovinos de corte, da eficiência de conversão do alimento em produto: proposição de método e significância nutricional. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.2827-2834, 2011.

MANTAI, R. D. et al. The effect of nitrogen dose on the yield indicators of oats. *African Journal of Agricultural Research*, v.10, n. 39 p. 3773-3781, 2015.

QUEIROZ, E. de R. et al. Composição química e fitoquímica das farinhas da casca e da semente de lichias (*Litchi chinensis* Sonn) cultivar Bengal. *Ciência Rural*, v.45, n.2, p.329-334, 2015.

SILVA, José A. G. da et al. A expressão dos componentes de produtividade do trigo pela classe tecnológica e aproveitamento do nitrogênio. *Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, v.19, n.1, p.27-33, 2015.

STEFEN, D. L. V. et al. A adubação nitrogenada durante o espigamento melhora a qualidade industrial do trigo (*Triticum aestivum* cv. Mirante) cultivado com regulador de crescimento etil-trinexapac. *Revista de la Facultad de Agronomía*, v. 114, n. 2, p. 161-169, 2015.

TEIXEIRA FILHO M. C. M., et al. Application times, sources and doses of nitrogen on wheat cultivars under no-till in the Cerrado region. *Ciência Rural*, v. 41, n. 8, p. 1375-1382, 2011.

WALTER, L.C., et al. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n.11, pp. 1237-1245, 2010.