

Modelagem do Tempo de Dissolução da Ureia em Água por Regressão Linear Múltipla

Cibele L. Peter¹; Taís P. Arenhart²; Juliana A. da Rosa³; Cristhian M. Babeski⁴; Pedro Diel⁵; Joeli V. Bagolin⁶; Larissa B. Pomarenke⁷; José A.G. da Silva⁸
 UNIJUÍ, IJUÍ, RS

Resumo. A modelagem matemática através da regressão linear múltipla é uma técnica importante que possibilita a combinação de variáveis controladas e não controladas, descrevendo de forma eficiente complexas relações lineares destes efeitos sobre a variável resposta. O objetivo deste estudo é desenvolver um modelo de regressão linear múltipla para análise do comportamento do tempo de dissolução da ureia em água, envolvendo o efeito das doses e do volume de água com a não linearidade da temperatura do ar. O experimento de dissolução da ureia em água foi conduzido no ano de 2019, considerando diferentes doses de ureia e volumes de água para monitoramento da máxima dissolução até o tempo de uma hora. As doses de nitrogênio de 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 kg ha⁻¹, para fins de análise em laboratório, foram convertidas em kg ha⁻¹ de ureia (45% de nitrogênio) para posteriormente obter a quantidade de ureia necessária para dissolução. Considerando que cada parcela experimental é composta de 6 m², para cada tratamento foram dissolvidas as seguintes doses de ureia: 0, 26, 53, 80, 107, 133 e 160 gramas. Para a dissolução utilizou-se os volumes de 100, 200, 300 e 400 L ha⁻¹ de água de torneira, que equivalem a 60, 120, 180 e 240 ml por parcela, respectivamente. O modelo de regressão linear múltipla envolvendo a temperatura do ar como variável não controlada, volume de água e dose de fertilizante ureia se mostra eficiente para a simulação do tempo de dissolução da ureia.

Palavras-chave. *Avena Sativa* L., Matemática Aplicada, Nitrogênio, Simulação.

1 Introdução

A modelagem matemática quando empregada em processos agrícolas, pode auxiliar na tomada de decisões e gestões mais adequadas sob perspectivas econômicas e ambientais, além de contribuir no desenvolvimento e validação de novas tecnologias [8] [9]. Modelos de simulação por regressão linear múltipla, permitem a combinação de variáveis controladas e não controladas, com o propósito de conduzir previsões, elucidando os efeitos das variáveis independentes sobre uma variável principal [1][10].

No setor agrícola, uma cultura que vem se firmando por ser um importante cereal em virtude de suas características nutricionais e funcionais é a aveia branca. Sua composição inclui concentrações de fibras, proteínas que resultam em diversos benefícios à saúde humana [6][4]. Para a obtenção de uma boa produtividade de grãos e desenvolvimento da cultura o uso do nitrogênio é essencial [13]. A

¹cibele.peter@sou.unijui.edu.br

²tais.arenhart@sou.unijui.edu.br

³juliana.aozane@unijui.edu.br

⁴cristhian.babeski@sou.unijui.edu.br

⁵pedro.diel@sou.unijui.edu.br

⁶joeli.bagolin@sou.unijui.edu.br

⁷larissa.pomarenke@sou.unijui.edu.br

⁸jose.gonzales@unijui.edu.br

ureia é o fertilizante mais empregado como fonte de nitrogênio, em virtude de sua alta concentração do nutriente (45%), preço mais acessível em comparação a outros adubos nitrogenados, além de sua alta capacidade de solubilidade [11]. Entretanto, a eficiência de aproveitamento deste fertilizante é altamente ligada às condições ambientais. Em situações desfavoráveis, o nitrogênio é facilmente perdido, resultando em prejuízos econômicos e ambientais [7].

Pesquisas têm ressaltado a importância de melhorar a eficiência de aproveitamento do nitrogênio [15]. Nesse contexto, devido à sua mobilidade e facilidade de absorção e translocação nos tecidos vegetais, este nutriente apresenta potencial de aplicação via foliar [12]. Porém, é necessário a determinação do tempo de dissolução da ureia, a fim de promover avanços com esta possibilidade. Entretanto, para esta análise, é importante considerar que a dissolução da ureia depende do volume de água, da temperatura do ar e de suas características químicas e físicas [3].

Diante disso, é importante a busca por modelos que permitem envolver mais de uma variável, na compreensão do processo de dissolução de diferentes doses de ureia. Neste sentido, o emprego da regressão linear múltipla pode permitir a inserção de uma variedade de efeitos, tanto controlados quanto não controlados, no processo experimental de dissolução da ureia em água. Portanto, o objetivo deste estudo é desenvolver um modelo de regressão linear múltipla para análise do comportamento do tempo de dissolução da ureia em água, envolvendo o efeito das doses e do volume de água com a não linearidade da temperatura do ar.

2 Materiais e Métodos

O experimento de dissolução da ureia em água foi conduzido no Laboratório de Produção Vegetal da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI no primeiro semestre de 2019, período que antecede a semeadura da aveia. Foram considerados diferentes doses de ureia e volumes de água para monitoramento da máxima dissolução até o tempo de uma hora. A partir da definição das distintas doses de nitrogênio 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 kg ha^{-1} para fins de análise em laboratório, os valores foram convertidos em kg ha^{-1} de ureia (45% de nitrogênio) para posteriormente obter a quantidade de ureia necessária para dissolução. Neste sentido, considerando que cada parcela experimental é composta de 6 m², para cada tratamento foram dissolvidas as seguintes doses de ureia: 0, 26, 53, 80, 107, 133 e 160 gramas. Para a dissolução utilizou-se os volumes de 100, 200, 300 e 400 L ha^{-1} de água de torneira, que equivalem a 60, 120, 180 e 240 ml por parcela, respectivamente.

O processo de dissolução foi realizado considerando quatro experimentos distintos no tempo, possibilitando envolver diferentes condições de temperatura ambiente do ar, para analisar o efeito da não linearidade desta variável sobre o processo de dissolução. Para a dissolução as doses de ureia foram colocadas em garrafas “pet” de dois litros, juntamente com o volume de água. Esta mistura foi agitada por um minuto e posteriormente deixada sobre a mesa para verificar o momento da completa dissolução de ureia, sendo anotado o tempo necessário para este processo. Destaca-se que para as doses mais elevadas de ureia, foi estipulado o tempo de uma hora para que ocorresse a máxima dissolução, pois sabe-se que soluções muito concentradas podem não apresentar um resultado satisfatório de dissolução, restando produto sólido ao fundo do recipiente.

Além disso, este tempo foi determinado levando em consideração que, em condições reais de campo, esperar por um período maior que uma hora tornaria o processo desvantajoso. Foi realizada a análise de variância para as diferentes doses de ureia avaliadas em cada condição de volume de água avaliando o tempo de dissolução do fertilizante em minutos, até o período de uma hora. Em seguida, foi realizado o teste de comparação de médias por Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro, comparando de forma pontual as distintas doses do fertilizante. Foi realizada a análise da regressão linear ($y = b_0 + b_1x$) e quadrática ($y = b_0 + b_1x + b_2x^2$) para descrever o comportamento do tempo de dissolução de ureia em função das doses do fertilizante para cada

condição de volume de água. Por finalizar, o emprego da regressão linear múltipla na proposta de simulação do tempo de dissolução de ureia a partir do efeito das doses do fertilizante e volumes de água com a não linearidade da temperatura do ar. A regressão linear múltipla é dada pela equação:

$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon$, em que: X_p é a p-ésima variável observada, p é o coeficiente associado à p-ésima variável e ε é o erro. As análises foram realizadas no software livre Genes.

3 Resultados e Discussão

Na Tabela 1, estão apresentados os tempos de dissolução das doses de ureia em diferentes volumes de água, considerando o tempo máximo de análise de 60 minutos.

Tabela 1: Tempo de dissolução de doses de ureia em diferentes volumes de água com a ação da temperatura do ar.

Volume (L ha^{-1})	Ex (n)	Temperatura (°C)	Doses de ureia (*45% de nitrogênio) (kg ha^{-1})						
			0 (0*)	44 (20*)	88 (40*)	132 (60*)	176 (80*)	220 (100*)	264 (120*)
Tempo de dissolução da ureia (TDU) - minutos									
100	1	22,6	0	10	54	60	-	-	-
	2	20,2	0	13	60	60	-	-	-
	3	20,2	0	13	60	60	-	-	-
	4	10,6	0	15	60	60	-	-	-
	média	18,4	0	13	59	60	-	-	-
200	1	22,6	0	4	18	54	60	-	-
	2	20,2	0	5	24	60	60	-	-
	3	20,2	0	5	25	60	60	-	-
	4	10,6	0	7	34	60	60	-	-
	média	18,4	0	5	25	59	60	-	-
300	1	22,6	0	3	9	23	40	60	-
	2	20,2	0	4	15	36	48	60	-
	3	20,2	0	4	15	38	49	60	-
	4	10,6	0	6	19	49	59	60	-
	média	18,4	0	4	15	37	49	60	-
400	1	22,6	0	1	3	13	20	41	60
	2	20,2	0	2	4	18	24	52	52
	3	20,2	0	2	6	20	27	56	60
	4	10,6	0	4	13	28	55	60	60
	média	18,4	0	2	7	20	32	52	58

Ex = experimento; *Refere-se ao valor de nitrogênio a partir da quantidade de ureia fornecida.

Observa-se que ao aumentar a dose de ureia, o tempo de dissolução do fertilizante também aumenta, independente do volume de água. A partir da dose de 132 kg de ureia em 100 litros de água se chega no tempo de sessenta minutos para dissolução, do mesmo modo que com 200 litros em 176 kg de ureia, 300 litros com 220 kg de ureia e 400 litros com 264 kg de ureia. Portanto, se evidencia que o aumento da quantidade de volume de água facilita o processo de dissolução. É

possível também perceber a influência da temperatura do ar no processo de dissolução. A maior dissolução é observada com maiores temperaturas, reduzindo esta capacidade com temperaturas mais amenas.

Na Tabela 2, que apresenta a regressão do tempo de dissolução da ureia em função das doses do fertilizante fixando o volume de água, se observa comportamento linear, ou seja, a cada um kg de ureia adicionado no volume de 100 litros de água, se aumenta o tempo de 0,47 minutos para dissolução do insumo até o tempo de 60 minutos. Este tempo tende a ir decaindo conforme se aumenta o volume de água no sistema, em 0,39, 0,29 e 0,24 minutos nos volumes de 200, 300 e 400 litros de água, respectivamente, até o tempo de 60 minutos. Se verifica que o tempo máximo de uso de ureia nos distintos volumes de água mostra simulação do tempo de dissolução (TDU) próximo ao observado na condição real, ficando nos distintos volumes uma variação de 55 a 60 minutos.

Tabela 2: Regressão do tempo de dissolução da ureia em função dos volumes de água e das doses do fertilizante.

V (L ha ⁻¹)	DU (kg ha ⁻¹)	DN (kg ha ⁻¹)	TDU (min)	R	Equação	R ² (%)	TDU (min)
							U=(132 kg)
	0	(0)	0c	L	-1,05 + 0,47x	88	60
	44	(20)	13b				
100	88	(40)	59a	Q ^{ns}	-3,86 + 0,70x - 0,0014x ²	99	-
	132	(60)	60a				
							U=(176 kg)
	0	(0)	0d				
	44	(20)	5c	L	-4,85 + 0,39x	92	63
	88	(40)	25b				
200	132	(60)	59a	Q ^{ns}	-4,02 + 0,35x + 0,0002x ²	92	-
	176	(80)	60a				
							U=(220 kg)
	0	(0)	0e				
	44	(20)	4e				
	88	(40)	15d	L	-5,21 + 0,29x	97	58
	132	(60)	37c				
300	176	(80)	49b	Q ^{ns}	-2,66 + 0,20x + 0,0003x ²	97	-
	220	(100)	60a				
							U=(264 kg)
	0	(0)	0d				
	44	(20)	2d				
	88	(40)	7d	L	-7,71 + 0,24x	94	55
	132	(60)	20c				
400	176	(80)	32b				
	220	(100)	52a	Q ^{ns}	-1,94 + 0,008x + 0,0005x ²	97	-
	264	(120)	58a				

V = volume; DU= dose ureia; DN= dose de nitrogênio; R = regressão; TDU= tempo dissolução ureia; R²= coeficiente de determinação; min = minutos; * = significativo a 0,05 de probabilidade de erro pelo teste F; ns= não significativo; Valores médios seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

A Tabela 3, apresenta as variáveis selecionadas para o desenvolvimento do modelo de regressão linear múltipla e seus coeficientes. Na Tabela 4, na simulação do tempo de dissolução da ureia, seja o volume de água e dose de ureia variáveis controladas e a temperatura do ar uma variável

não controlada, é possível observar que o modelo evidenciou resultados satisfatórios na análise de cenários. Também é observado que o volume de água e dose de ureia são decisivos no processo de dissolução do fertilizante. Além disso o efeito da temperatura se mostra pertinente em qualificar o modelo para simulação. Os resultados da simulação por regressão linear múltipla evidenciam que o aumento do volume de água melhora a eficiência do tempo de dissolução. Os valores encontrados do tempo de dissolução se mostram próximos dos reais obtidos na experimentação.

Tabela 3: Regressão linear múltipla na simulação do tempo de dissolução da ureia envolvendo o volume de água, temperatura do ar e dose de ureia.

Variáveis	Amplitude	Modelo Regressão Múltipla
		$TDU = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon$
Volume de Água ($V, L \text{ ha}^{-1}$)	[100-400]	$26,02 - 0,45T + 0,34DU - 0,09V$
Temperatura do Ar ($T, ^\circ\text{C}$)	[10,6-22,06]	
Dose de Ureia ($DU, \text{kg ha}^{-1}$)	[0-132]	

TDU_O = tempo de dissolução da ureia observado; TDU_S = tempo de dissolução da ureia simulado; T= temperatura do ar ($^\circ\text{C}$); DU= dose de ureia (kg ha^{-1}); V= volume de água ($L \text{ ha}^{-1}$).

Tabela 4: Simulação do tempo de dissolução da ureia em água envolvendo o volume de água, temperatura do ar e dose de ureia .

Variáveis	Valor	TDU_O (minutos)	TDU_S (minutos)
		100 L de água	
Temperatura ($T, ^\circ\text{C}$)	18,4	60	54
Dose de Ureia ($DU, \text{kg ha}^{-1}$)	132		
		200 L de água	
Temperatura ($T, ^\circ\text{C}$)	18,4	59	45
Dose de Ureia ($DU, \text{kg ha}^{-1}$)	132		
		300 L de água	
Temperatura ($T, ^\circ\text{C}$)	18,4	37	36
Dose de Ureia ($DU, \text{kg ha}^{-1}$)	132		
		400 L de água	
Temperatura ($T, ^\circ\text{C}$)	18,4	20	27
Dose de Ureia ($DU, \text{kg ha}^{-1}$)	132		

TDU_O = tempo de dissolução da ureia observado; TDU_S = tempo de dissolução da ureia simulado; T= temperatura do ar ($^\circ\text{C}$); DU= dose de ureia (kg ha^{-1}); V= volume de água ($L \text{ ha}^{-1}$).

Os modelos de regressão linear múltipla diferenciam-se de modelos simples, pois consideram uma relação de mais de duas variáveis, possibilitando explicar o comportamento de uma variável resposta (variável dependente) com base nos valores de uma ou mais variáveis explicativas (variáveis independentes), contribuindo para que o pesquisador possa determinar as respostas da variável de interesse com base em uma determinada condição de análise [5] [14]. [2] concluíram em um estudo que o modelo de regressão linear múltipla é capaz de prever a produtividade do cafeeiro arábica no estado do Paraná, com dois a três meses de antecedência a colheita. [17] na cultura do trigo desenvolveram uma modelo via regressão linear múltipla para a previsão da mancha do trigo envolvendo as variáveis meteorológicas. [16] concluíram em um estudo que as variáveis temperatura

média mínima, área foliar necrosada e número de aplicações de fungicidas foram relevantes para a composição de um modelo de regressão linear múltipla para simular o rendimento de grãos de aveia.

4 Considerações Finais

O tempo de dissolução da ureia aumenta com doses mais altas do fertilizante, enquanto o aumento da temperatura do ar facilita essa dissolução. O tempo de dissolução da ureia em água evidencia comportamento linear, mostrando que o aumento do volume de água reduz este processo. O modelo de regressão linear múltipla envolvendo a temperatura do ar, volume de água e dose de fertilizante ureia se mostra eficiente para a simulação do tempo de dissolução da ureia.

5 Agradecimentos

Ao CNPq, à CAPES, à FAPERGS e à UNIJUÍ pelos recursos financeiros, estrutura física e materiais necessários para a realização da pesquisa.

Referências

- [1] O. Alessi, J.A.G. Da Silva, V. Pansera e J.A. Da Rosa. “Simulation of wheat yield by nitrogen and ear components in harvest prediction analysis”. Em: **Genetics and Molecular Research** 20 (2021), pp. 1–13.
- [2] L.E.O. Aparecido, J.A. Lorençone, P.A. Lorençone, G.B. Torsoni, R.F. De Lima e J.R.S. De Moraes. “Forecasting coffee yield based on agroclimatic data and machine learning.” Em: **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, [S. 1.] 3 (2021). DOI: 10.48075/ijerr.v3i1.26255.
- [3] A. Atahar, N.N. Mafy, M.M. Rahman, M.Y. Mollah e M.A.B.H. Susan. “Aggregation of urea in water: Dynamic light scattering analyses”. Em: **Journal of Molecular Liquids** 294 (2019). DOI: 10.1016/j.molliq.2019.111612.
- [4] C.M. Babeski, J.A.G. Da Silva, I.R. Carvalho e A.R. Krausig. “Agronomic Biofortification with Iron and Zinc on Yield and Quality of Oat Grains for the Validation of a Potential Resource for Nutritional Security”. Em: **Revista de Gestão Social e Ambiental** 8 (2022). DOI: 10.24857/rgsa.v17n8-020.
- [5] V.C.S. Barreto, G.C. Batistela, M.R. Gaiotto e D. Simões. “Regressão linear múltipla aplicada ao preço do leite.” Em: **CQD-Revista Eletrônica Paulista de Matemático** (2016).
- [6] N.C.F. Basso, C.M. Babeski, L.B. Heuser, W.J.A. Zardin N.G. and Bandeira, I.R. Carvalho, C.F. Colet e J.A.G. Da Silva. “The production without pesticides in the control of oat foliar diseases: resistance inducer by silicon and potassium and escape zone”. Em: **Research, Society and Development** (2023). DOI: 10.33448/rsd-v11i8.31191.
- [7] J.A. Da Rosa, R.D. Mantai, C.L. Peter, N.C.F. Basso, J.S. Jung, W.J.A. Bandeira, I.R. Carvalho e J.A.G. Da Silva. “Redes Neurais Artificiais na Previsibilidade da Produtividade de Grãos da Aveia pelo uso do Nitrogênio e Condições do Ciclo de Desenvolvimento da Cultura”. Em: **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics** (2022), pp. 1–7.

- [8] A.T.W. De Mamann, J.A.G. Da Silva, O.B. Scremin, A.P.B. Trautmann, C.V. Argenta e E.M. Matter. “Diffuse system simulating wheat productivity by nitrogen and temperature in the use of biopolymers”. Em: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 24 (2020), pp. 289–297.
- [9] E.F. Dornelles, J.A. Da Rosa, J.A.G. Da Silva, I.R. Carvalho, C.F. Colet, D.R. Fraga, O. Alessi e C.L. Peter. “Artificial Intelligence in the Simulation of Fungicide Management Scenarios for Satisfactory Yield and Food Safety in oat Crops”. Em: **Revista de Gestão Social e Ambiental** (2023). DOI: 10.24857/rgsa.v17n1-029.
- [10] E.F. Dornelles, J.A.G. Da Silva, I.R. Carvalho, C.F. Colet, D.A. Magano, G.M. Conceição, O. Alessi, N.C.F. Basso, C.L. Peter, J.A. Da Rosa, L.L. Schünemann e L.B. Pomarenke. “Simulation of oat yield through biological and environmental variables for reducing fungicide application and increasing interval from application to grain harvest”. Em: **Australian Journal of Crop Science** 17 (2023), pp. 789–797. DOI: 10.21475/ajcs.23.17.10.p3918.
- [11] L. Henrichsen, N.C.F. Basso, J.A.G. Da Silva, I.R. Carvalho, C.F. Colet, D.R. Fraga, O. Alessi, G.M. Conceição, D.A. Magano, C.L. Peter, J.A. Da Rosa, M.S. Jung, C.M. Babeski e M.E. Steidl. “The efficiency of liquid source nitrogen for foliar absorption in oat”. Em: **Australian Journal of Crop Science** 17 (2023), pp. 453–462. DOI: 10.21475/ajcs.23.17.05.p3843.
- [12] L. Henrichsen, J.A.G. Da Silva, N.C.F. Basso, J.M. Fachineto, C.F. Colet, I.R. Carvalho, J. Sgarbosa, J.E.L. Dias, G.L. Meotti, K. Copetti, C.M. Babeski e W.J.A. Bandeira. “Oat productivity by root and foliar nitrogen uptake in cropping systems”. Em: **Australian Journal of Crop Science** 16 (2022), pp. 1144–1151. DOI: 10.21475/ajcs.22.16.10.p3634.
- [13] R.D. Mantai, J.A.G. Da Silva, O.B. Scremin, I.R. Carvalho, D.A. Magano, J.M. Fachineto, F. Lautenchleger, J.A. Da Rosa, C.L. Peter, J.D. Berlezi e C.M. Babeski. “Nitrogen levels in oat grains and its relation to productivity”. Em: **Genetics and Molecular Research** 19 (2020), pp. 1–13. DOI: 10.4238/gmr18569.
- [14] L.F. Moura e C.H. Sopchaki. “Desempenho do método estatístico de regressão linear múltipla no preenchimento de falhas em dados pluviométricos.” Em: **Revista Contexto Geográfico** (2024).
- [15] D.C. Reginatto, J.A.G. Da Silva, I.R. Carvalho, F. Lautenchleger, J.A. Da Rosa, C.L. Peter, L. Henrichsen, M.S. Jung, N.C.F. Basso, C.V. Argenta, L. Norbert e C.M. Babeski. “Nitrogen management at sowing and topdressing with the time of supply in the main biotype of oats grown in southern Brazil”. Em: **Australian Journal of Crop Science** 15 (15), pp. 524–530. DOI: 10.21475/ajcs.21.15.04.p2803.
- [16] A.H. Scremin, J.A.G. Da Silva, N.C.F. Basso, I.R. Carvalho, D.A. Magano, C. Colet, J.A. Da Rosa, C.L. Peter, M.S. Jung, G.L. Meotti, W.J.A. Bandeira e L.L. Schünemann. “Aptitude of Brazilian oat cultivars for reduced fungicide use while maintaining satisfactory productivity”. Em: **Genetics and molecular research** 22 (2023), pp. 1–14.
- [17] S. Tamang, S. Mahapatra, S. Kumar e A. Das. “Role of abiotic factors on disease progression of Spot blotch of Wheat”. Em: **Indian Phytopathology** 74 (2021), pp. 263–269.