

VELOCIDADE OPERACIONAL E TEMPO DE RESPOSTA PARA APLICAÇÃO EM TEMPO REAL DE NITROGÊNIO BASEADA EM SENSOR DE DOSSEL

LETÍCIA YUMI IAMADA¹, MAIARA PUSCH², HENRIQUE OLDONI³, LUCAS RIOS DO AMARAL⁴

¹ Eng. Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas/SP.

² Doutoranda em Eng. Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas/SP.

³ Pós-doutorando, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, NIPE/UNICAMP, Campinas/SP.

⁴ Prof. Dr., Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas/SP.

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: A aplicação do fertilizante nitrogenado em taxa variável feita em tempo real com base em sensor de dossel apresenta-se como uma tecnologia potencial para a agricultura de precisão. No entanto, ainda existem dúvidas quanto à capacidade desta tecnologia seguir a recomendação detalhada fornecida diante da variação do tempo de resposta (TR) de aplicadores, da velocidade de deslocamento operacional (VO) e da variabilidade espacial de diferentes culturas. Desse modo, o objetivo foi avaliar o impacto de TR, VO e da variabilidade do desenvolvimento das culturas na qualidade da aplicação em tempo real de fertilizantes nitrogenados em taxa variável. 25 cenários simulados de aplicação de fertilizante nitrogenado foram estabelecidos com diferentes valores de TR e VO, a partir de dados reais coletados em seis áreas comerciais, duas para cada cultura (algodão, cana-de-açúcar e trigo). Os resultados foram confrontados com as doses reais que seriam recomendadas por meio do índice de concordância de Willmott. Quanto maiores os valores de TR e VO, menor é a eficiência da aplicação em tempo real, principalmente em culturas com variação de vigor de planta a curtas distâncias, como é o caso da cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, manejo localizado, N-sensor

OPERATIONAL SPEED AND RESPONSE TIME FOR REAL-TIME NITROGEN APPLICATION BASED ON CANOPY SENSOR

ABSTRACT: The variable-rate nitrogen application in real-time based on a canopy sensor is a potential technology for precision agriculture. However, there are still doubts about the technology's ability to follow the detailed recommendation provided due to the response time (RT) of applicators and operational displacement speed (OS) variation and the spatial variability of different crops. Thus, the goal was to evaluate the impact of RT, OS, and crop development variability on the quality of variable-rate nitrogen application in real-time. We established 25 simulated nitrogen application scenarios with different RT and OS values, based on real data collected in six commercial areas, two for each crop (cotton, sugarcane, and wheat). The results were compared with the nitrogen rate that would be recommended using the Willmott agreement index. The higher the RT and OS values, the lower the real-time application efficiency, especially in crops with variation in plant vigor at short distances, as in sugarcane.

KEYWORDS: precision agriculture, site-specific management, N-sensor

INTRODUÇÃO: A agricultura de precisão (AP) preconiza a gestão das lavouras levando em conta sua variabilidade espacial e, dentre suas atividades, o gerenciamento eficiente de fertilizantes nitrogenados é uma das práticas mais empregadas. Por esta razão, técnicas de sensoriamento têm sido estudadas para que tal recomendação seja mais assertiva, levando em conta a demanda da cultura de forma especializada (PALEARI et al., 2019). Nesse sentido, os sensores de refletância do dossel embarcados em máquinas agrícolas são uma das opções (MOLIN, 2010). Estes possibilitam que a aplicação do fertilizante nitrogenado seja feita em tempo real, ou seja, ao mesmo tempo que o sensor acoplado na máquina coleta dados do dossel, estes são processados por meio de determinado algoritmo e o fertilizante é aplicado na dose requerida (AMARAL et al., 2015). Entretanto, ainda existem dúvidas quanto à capacidade desta tecnologia seguir a recomendação detalhada fornecida diante da variação do tempo de resposta (TR) de diferentes máquinas aplicadoras e da velocidade de deslocamento operacional (VO) praticada durante a aplicação. Além disso, a variabilidade espacial do dossel das diferentes culturas é outro fator que interfere na eficiência de aplicação da tecnologia. Desse modo, o objetivo foi avaliar o impacto de TR, VO e da variabilidade do desenvolvimento das culturas na qualidade da aplicação em tempo real de fertilizantes nitrogenados em taxa variável.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi conduzido a partir de dados de doses de nitrogênio (N) recomendadas em seis áreas comerciais e três culturas, algodão, cana-de-açúcar e trigo, sendo duas áreas para cada cultura, por meio das leituras com um sensor de refletância do dossel. De maneira geral, o sistema é composto por: i) um sensor de refletância de dossel N-Sensor™ ALS (*Yara International ASA, Duelmen, Alemanha*), responsável pelas medidas de reflectância do dossel das culturas no momento da aplicação, e conversão dos dados de reflectância em doses de N a partir de um determinado algoritmo (PORTZ et al., 2012); e ii) um aplicador de N a taxa variável autopropelido ou acoplado a um trator. Deste modo, o sistema possibilita a aplicação das doses requeridas em tempo real com base na variabilidade espacial da cultura. Nesta pesquisa trabalhamos apenas com a recomendação de fertilizante provida diretamente pelo algoritmo do equipamento, realizando simulações computacionais, não avaliamos a aplicação no campo. Nas áreas de algodão, coletamos os dados aos 35 e 60 dias após a semeadura nas áreas 1 e 2, respectivamente; para a cana-de-açúcar, quando os colmos possuíam altura de 0,40 m em ambas as áreas; e para o trigo, durante a transição da fase de perfilhamento para alongamento na área 1 e, na área 2, no final da fase de alongamento. De posse dos dados, simulamos diferentes cenários de aplicação com TR variando entre 1 e 5 s (a cada 1 s) e VO entre 5 e 25 km h⁻¹ (a cada 5 km h⁻¹). Assim, a partir da combinação de ambos os parâmetros, testamos 25 diferentes cenários (C1 a C25; Tabela 1). Os valores de TR utilizados na simulação dos cenários basearam-se nos valores fornecidos pela maioria dos fabricantes de máquinas aplicadoras, enquanto os valores de VO basearam-se na faixa de velocidade mais comumente utilizada em operações agrícolas.

TABELA 1. Cenários simulados para aplicação de nitrogênio em tempo real a partir de diferentes tempos de resposta do aplicador (TR) e velocidades de operação (VO).

TR \ VO	5	10	15	20	25
	----- (km h ⁻¹) -----				
1 s	C1	C2	C3	C4	C5
2 s	C6	C7	C8	C9	C10
3 s	C11	C12	C13	C14	C15
4 s	C16	C17	C18	C19	C20
5 s	C21	C22	C23	C24	C25

Como os pontos das leituras do sensor não eram equidistantes, realizamos uma interpolação dos mesmos pelo Inverso do Quadrado da Distância ao longo das passadas da máquina para que este problema fosse resolvido, considerando um TR de 0 s, VO de 5 km h⁻¹ e frequência da coleta de dados pelo sensor de 1 Hz. Com isso, estabelecemos uma malha de pontos base para cada área de estudo, com pontos separados por 1,4 m no decorrer de cada passada. A partir disso, construímos novas malhas de pontos correspondentes a cada um dos 25 cenários com a manipulação dos pontos por meio da propagação para frente dos próprios pontos da malha base, até coincidirem com o espaçamento entre pontos estabelecido para cada cenário. A avaliação dos diferentes cenários foi realizada pela determinação do índice de concordância de Willmott entre as doses recomendadas pelo algoritmo do sensor e as doses que seriam aplicadas em cada um dos cenários simulados. Além disso, submetemos os dados à análise geoestatística para caracterização da variabilidade espacial das doses de N recomendadas em cada área de estudo, seguindo as recomendações de Oliver e Webster (2014), buscando inferir sobre a variabilidade espacial das áreas e como isso impacta na eficiência dos cenários estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Independente da cultura e da área de estudo, o aumento de TR e VO reduziu o valor do índice de concordância entre o valor da dose recomendada e da dose simulada (Figura 1). Isso demonstrou que, quanto maior o atraso da aplicação, seja devido ao aumento de TR ou VO, maior foi a diferença entre a dose recomendada e simulada. Além disso, com o aumento conjuntamente de ambos os parâmetros (TR e VO), essa diferença tendeu a ser ainda maior.

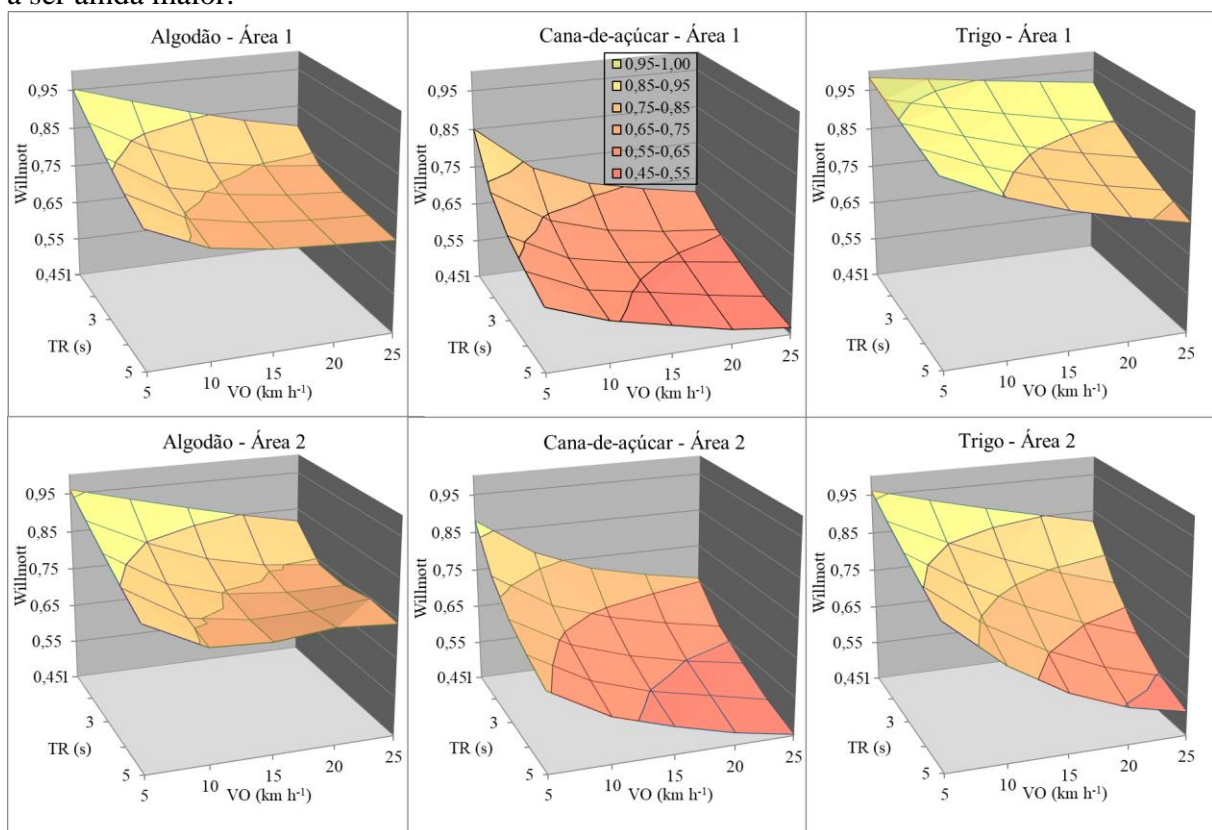


FIGURA 1. Índice de concordância de Willmott em função do tempo de resposta do aplicador (TR) e da velocidade de operação (VO) dos diferentes cenários simulados para a aplicação de fertilizante nitrogenado em tempo real em diferentes áreas com cultivo de algodão, cana-de-açúcar e trigo.

De modo geral, os cenários simulados no cultivo de cana-de-açúcar apresentaram os menores valores do índice de concordância com o aumento de TR e VO em ambas as áreas testadas

(Figura 1), seguida pela cultura do trigo e pela cultura do algodão em ambas as áreas. Portanto, as maiores discrepâncias entre as doses recomendadas e as simuladas ocorreram na cana-de-açúcar. Esse resultado deve-se pela elevada variabilidade do dossel em curto espaço das lavouras de cana-de-açúcar. Peculiaridades de seu cultivo, como o hábito de crescimento da cultura em soqueiras e as falhas de brotação ao longo dos sucessivos ciclos de cultivo promovem essa elevada variabilidade que influenciam as leituras realizadas pelos sensores de dossel (AMARAL et al., 2018). A maior variabilidade pode ser evidenciada pelo baixo valor de alcance (18,9 m) e pelo moderado grau de dependência espacial, segundo Cambardella et al. (1994), das doses recomendadas na área 2 e 1 de cana-de-açúcar, respectivamente, em comparação as demais culturas, as quais apresentaram alcance acima de 52,5 m e forte grau de dependência espacial. Portanto, a VO deve ser definida com cautela pelo usuário na cultura da cana-de-açúcar, de modo que a eficiência de aplicação não aumente a ponto de inviabilizar o uso dessa tecnologia. Uma alternativa para encontrar a melhor VO, poderia ser a utilização dos gráficos de superfície apresentados na Figura 1. Exemplificando, ao considerar uma situação em que o agricultor possua uma máquina cujo tempo de resposta foi estimado em 3 s, e o mesmo também seleciona uma inexactidão máxima de aplicação de 30%, ou seja, um índice de Willmott superior a 0,70; as configurações possíveis seriam $VO \leq 25 \text{ km h}^{-1}$ para algodão, $VO \leq 5 \text{ km h}^{-1}$ para cana e $VO \leq 20 \text{ km h}^{-1}$ para trigo. Vale ressaltar que, para o trigo os resultados de VO obtidos foram diferentes para cada área de estudo, visto a distinção entre os gráficos de superfícies das duas áreas desta cultura (área 2 com maiores erros de aplicação) (Figura 1). Assim, fez-se uma média entre as duas VO obtidas para os mesmos valores de combinação de TR e tolerância de erro aceitável.

CONCLUSÕES: Quanto maior o tempo de resposta e a velocidade operacional, menor é a eficiência da aplicação em tempo real. Com a definição de um erro aceitável pelo usuário e estimativa adequada do tempo de resposta do maquinário, é possível encontrar a velocidade de operação capaz de reduzir a discrepância dos erros de aplicação. A maior variabilidade no desenvolvimento das culturas afeta negativamente a aplicação em tempo real.

AGRADECIMENTOS: Esta pesquisa foi financiada pela FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo nº 2018/05985-9).

REFERÊNCIAS:

- AMARAL, L.R.; MOLIN, J.P.; SCHEPERS, J.S. Algorithm for variable-rate nitrogen application in sugarcane based on active crop canopy sensor. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 4, p. 1513–1523, 2015.
- AMARAL, L.R.; TREVISAN, R.G.; MOLIN, J.P. Canopy sensor placement for variable-rate nitrogen application in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 19, n. 1, p. 147–160, 2018.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOCAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501–1511, 1994.
- MOLIN, J.P. Use of Active Optical Sensors for Crops in Brazil. **Better Crops**, v. 94, n. 3, p. 18-20, 2010.
- OLIVER, M.A.; WEBSTER, R.A. tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. **Catena**, v. 113, p. 56–69, 2014.
- PALEARI, L.; MOVEDI, E.; VESELY, F.M.; THOELKE, W.; TARTARINI, S. et al. Estimating crop nutritional status using smart apps to support nitrogen fertilization. A case study on paddy rice. **Sensors**, v. 19, n. 4, p. 981, 2019.
- PORTZ, G.; MOLIN, J.P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 33–44, 2012.