



## ABORDAGEM BAYESIANA PARA ANÁLISE DO RENDIMENTO DE MELÃO EM FUNÇÃO DA LÂMINA DE IRRIGAÇÃO

Fernando André Silva Santos<sup>1</sup>, Roberto Rezende<sup>2</sup> e Robson Marcelo Rossi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Agronomia-PGA/UEM, e-mail: [fernan.agr@hotmail.com](mailto:fernan.agr@hotmail.com)

<sup>2</sup> Departamento de Agronomia-UEM, email: [rrezende@uem.br](mailto:rrezende@uem.br)

<sup>3</sup> Departamento de Estatística-UEM, e-mail: [rmrossi@uem.br](mailto:rmrossi@uem.br)

### RESUMO

Na cultura do melão, o rendimento é influenciado pela quantidade de água aplicada via irrigação, sendo importante modelar essa relação utilizando modelos de regressão. A abordagem bayesiana pode ser mais apropriada para tal modelagem, principalmente quando os pressupostos frequentistas não são confirmados. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes níveis de lâmina de água a partir do acúmulo de evapotranspiração da cultura sobre o rendimento de melão conduzido em estufa plástica, utilizando a metodologia bayesiana para análise dos dados. Foram avaliados quatro níveis de irrigação, resultantes do acúmulo da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) entre duas irrigações sucessivas, correspondentes a irrigação quando a ET<sub>c</sub> acumulada atingia os valores de 3, 6, 9 e 15 mm, além de um tratamento controle (irrigação diária). Em comparação ao modelo linear, o modelo quadrático foi significativamente mais adequado, segundo critério da *deviance* bayesiana, para explicar o rendimento do melão em função das lâminas de água, estimando-se um rendimento máximo de 1,4 kg/parcela aplicando-se uma lâmina de 6,7 mm. A irrigação diária reduziu o rendimento em 0,13 kg/parcela comparada a irrigação acumulada (controle). Conclui-se que a metodologia utilizada é eficiente para modelar a curva de regressão para o rendimento do melão em função da lâmina de água evapotranspirada entre duas irrigações sucessivas, havendo maior rendimento com a aplicação da lâmina de água acumulada.

**Palavras chave:** Manejo de irrigação; modelos de regressão

### 1. INTRODUÇÃO

O meloeiro é uma das hortaliças mais importantes para a olericultura brasileira, o que pode ser comprovado pela análise dos resultados de produção e qualidade dos frutos. Nessa perspectiva, é importante definir os níveis de água e época de aplicação desta à cultura do meloeiro, podendo melhorar consideravelmente o seu rendimento.

O manejo de irrigação para a maioria das culturas é baseado em turnos de rega fixos e lâminas de água variáveis, o que nem sempre pode ser resulta em bons resultados de rendimento, sendo interessante avaliar a irrigação feita com uma lâmina fixa de água, baseado no seu consumo hídrico, conforme observado em outras culturas agrícolas [1]. É justificável decidir o melhor momento para irrigar utilizando o acúmulo da quantidade de água evapotranspirada pela cultura do melão como critério porque esta é uma técnica pouco testada e pode acarretar em mudanças benéficas na produção e qualidade dos frutos, e conseqüentemente, reduzir o consumo hídrico.

Os modelos de regressão linear e quadrático são os mais estudados na avaliação do rendimento de culturas irrigadas, e geralmente são utilizados modelos quadráticos para tal, visto que o fornecimento de água não resulta em acréscimos contínuos de produção, havendo um máximo rendimento para a cultura. Entretanto tais modelos podem não ser aprovados pelos pressupostos estabelecidos na análise frequentista, fazendo-se pertinente o uso de outras abordagens estatísticas, a exemplo da inferência bayesiana.

Na abordagem bayesiana, a combinação entre uma distribuição de probabilidade que permite inserir informação *a priori* e a função de verossimilhança proveniente dos dados, resulta em uma distribuição *a posteriori* [2].

Frente ao exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar diferentes níveis de lâmina de água a partir do acúmulo de evapotranspiração da cultura sobre o rendimento de melão conduzido em estufa plástica, utilizando a metodologia bayesiana para análise de dados.

## 2. METODOLOGIA

O experimento foi instalado e conduzido em estufa plástica localizada no Centro Técnico de Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá, na cidade de Maringá-PR. A casa de vegetação apresentava cobertura em arco possuindo 30 m de comprimento, 5,7 m de largura e 2,5 m de pé direito e teto coberto com filme plástico de polietileno de baixa densidade de 150 micra de espessura, com tratamento anti – UV.

Foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos em duas repetições. Os tratamentos constaram de quatro níveis de irrigação, resultantes do acúmulo da evapotranspiração da cultura (ETc) entre duas irrigações sucessivas, correspondentes a irrigação quando a ETc acumulada atingia os valores de 3, 6, 9 e 15 mm. Além dos tratamentos, havia seis parcelas de um tratamento controle, correspondente a irrigação diária. Para o monitoramento da ETc, utilizou-se a técnica de lisimetria, com a água extraída pelas plantas repostas automaticamente pelo sistema. As lâminas de água foram aplicadas utilizando um sistema de microirrigação por gotejamento.

No preparo da área experimental foram feitas a correção de acidez e adubação do solo. Delimitaram-se quatorze canteiros que distaram 1,0 m entre si. Foram utilizadas mudas de melão rendilhado, híbrido Sunrise, semeadas em bandejas de 50 células e transplantadas quando apresentavam de três a quatro folhas definitivas, utilizando um espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. A colheita foi realizada manualmente quando os frutos atingiram o ponto máximo de maturação, e após essa etapa, os frutos foram levados ao laboratório para determinação da massa dos mesmos, utilizando uma balança com capacidade de 8 kg ( $\pm 0,1$  g).

Na análise estatística, foram avaliados dois modelos estatísticos: linear, sendo  $y_i = \beta_{10} + \beta_{11}L_i + \varepsilon_i$ , e quadrático, sendo  $y_i = \beta_{20} + \beta_{21}L_i + \beta_{22}L_i^2 + \varepsilon_i$ , tal que  $y_i$  é a média observada do rendimento do melão (em kg/parcela);  $L_i$  é a lâmina de água aplicada (em mm);  $\beta_{10}$  e  $\beta_{11}$ ;  $\beta_{20}$ ,  $\beta_{21}$  e  $\beta_{22}$  são, respectivamente, os coeficientes de regressão dos modelos linear e quadrático;  $\varepsilon_i$  são os erros aleatórios tais que  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ . O modelo considerado foi  $y_i | x_i, \beta_i, \sigma_i^2 \sim N(f(x_i, \beta), \sigma^2)$  e distribuições *a priori* não informativas para todos os parâmetros,

isto é,  $\beta \sim N(0, 10^{-6})$ , e  $\tau = \frac{1}{\sigma^2} \sim \text{Gamma}(10^{-3}, 10^{-3})$ ; (parametrização OpenBUGS) [3].

Considerou-se que os dados controle são normalmente distribuídos, isto é,  $y_{oi} \sim N(\mu_0, \sigma_0^2)$ , e posteriormente foi avaliado um contraste *a posteriori* ( $\Delta = \hat{y}_c - \mu_0$ ) para verificar possíveis diferenças entre o tratamento controle e os tratamentos com lâmina de água acumulada, correspondente a irrigação diária, sendo  $\hat{y}_c$  o valor máximo obtido com o modelo de regressão quadrático caso este foi preferido ao linear. Dentro do procedimento, considerou-se distribuições *a priori* não informativas para a média  $\mu_0$  e  $\sigma_0^2$ , respectivamente,  $\mu_0 \sim N(0, 10^{-6})$  e  $\tau = \frac{1}{\sigma_0^2} \sim \text{Gamma}(10^{-3}, 10^{-3})$ .

A obtenção das distribuições marginais *a posteriori* para todos os parâmetros foi por meio do pacote *BRugs* do programa R [4]. Para tal, foram gerados 500.000 valores em um processo MCMC (*Monte Carlo Markov Chain*), considerando um período de descarte amostral de 10.000 valores iniciais, perfazendo a amostra final, contendo 50.000 valores gerados, depois de tomada em saltos de tamanho 10. A convergência das cadeias foi verificada por meio do pacote *coda* do programa R, pelo critério de Heidelberg e Welch [5].

Foram utilizadas as estimativas da média *a posteriori* da distribuição marginal condicional dos parâmetros. A significância destes nos modelos foi verificada caso o valor zero não pertence ao seu respectivo intervalo de 95% de credibilidade. Para a escolha do melhor modelo de regressão, utilizou-se o critério DIC (*Deviance Information Criterion*) [6], no qual quanto menor o DIC, melhor é o ajuste, sugerindo-se utilizar o este critério para o módulo da diferença entre os valores de DIC de dois modelos (A e B) analisados, isto é:  $D = |\text{DIC}_A - \text{DIC}_B|$ . Dessa forma,  $D < 5$  indica que a diferença não é significativa,  $5 \leq D \leq 10$  que a diferença é significativa e  $D > 10$ , que a diferença é altamente significativa [7].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

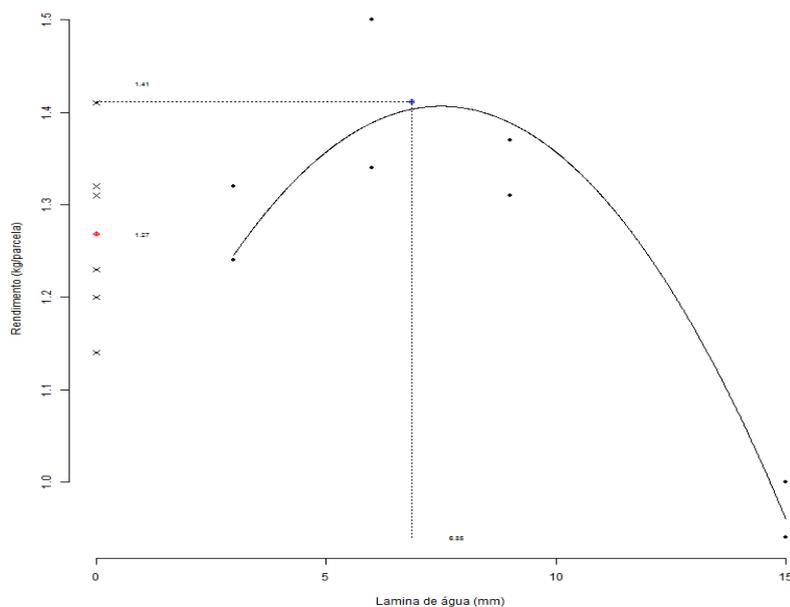
A síntese das estimativas *a posteriori* dos parâmetros para os modelos de regressão linear e quadrático estão dispostos nas Tabela 1. Verificou-se que os parâmetros em cada modelo foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, dado que o valor zero não está contido nos intervalos de credibilidade ( $P_{2.5\%}$ - $P_{97.5\%}$ ) para cada parâmetro.

**Tabela 1.** Estimativas *a posteriori* dos parâmetros dos modelos de regressão ajustados, do tratamento controle (irrigação diária) e do contraste entre rendimento da irrigação diária e máximo rendimento da irrigação acumulada, com seus respectivos intervalos de credibilidade ( $P_{2.5\%}$ - $P_{97.5\%}$ ) em nível de 95%.

| Modelos    | Parâmetro   | Média         | DP    | Mediana       | $P_{2.5\%}$   | $P_{97.5\%}$  |
|------------|-------------|---------------|-------|---------------|---------------|---------------|
| Linear     | $\beta_0$   | 1,501         | 0,126 | 1,500         | 1,251         | 1,755         |
|            | $\beta_1$   | <b>-0,030</b> | 0,013 | -0,030        | <b>-0,057</b> | <b>-0,003</b> |
|            | DIC         |               |       | <b>-4,36</b>  |               |               |
| Quadrático | $\beta_0$   | 1,078         | 0,144 | 1,079         | 0,785         | 1,367         |
|            | $\beta_1$   | <b>0,090</b>  | 0,037 | 0,090         | <b>0,015</b>  | <b>0,165</b>  |
|            | $\beta_2$   | <b>-0,006</b> | 0,001 | -0,006        | <b>-0,010</b> | <b>-0,002</b> |
|            | $\hat{y}_c$ | <b>1,398</b>  | 0,505 | 1,398         | 1,314         | 1,500         |
|            | DIC         |               |       | <b>-13,61</b> |               |               |
| Controle   | $\mu_0$     | <b>1,269</b>  | 0,052 | 1,280         | 1,165         | 1,374         |
|            | $\Delta$    | <b>-0,130</b> | 0,494 | -0,129        | <b>0,785</b>  | <b>1,367</b>  |

Considerando o critério DIC, foi constatada diferença significativa ( $|D| = 9,25$ ) entre os dois modelos ajustados (linear e quadrático), sendo preferível utilizar o modelo quadrático para explicar a relação entre o rendimento do melão e as lâminas de água aplicadas, dado seu menor valor (significativamente) de DIC quando comparado ao valor do modelo linear.

Com a escolha do modelo quadrático, foi possível estimar que o rendimento máximo de 1,4 kg/parcela é obtido com a aplicação de uma lâmina acumulada de aproximadamente 6,7 mm (Figura 1). Neste experimento, os resultados podem ser explicados provavelmente devido à deficiência de água nos tratamentos que estão após o ponto de máximo obtido, comprometendo a produção e transporte de assimilados na planta.



**Figura 1.** Modelo de regressão para o rendimento de frutos de melão em função das lâminas de água.

Constatou-se que no tratamento com irrigação diária houve, em média, uma redução significativa de 0,130 kg ( $ICr(\Delta, 95\%) = [0,785; 1,367]$ ) no rendimento do melão comparado a aplicação da lâmina de água acumulada (Tabela 1).

Os resultados obtidos são condizentes com aqueles relatados em literatura com outras culturas agrícolas e empregando-se a análise frequentista, o que é compreensível dado que as distribuições *a priori* foram não informativas. Calzavara et al. [1] avaliaram o número de frutos de laranja em função da frequência de irrigação complementar, irrigando quando a evapotranspiração da cultura atingia 10, 15, 20 e 25 mm e também obtiveram ajustes quadráticos para a estimativa de produção de frutos por árvore e da densidade de frutos por ramos produtivos, com validação dos coeficientes da regressão a 1% de probabilidade.

Evidencia-se no presente trabalho que o fornecimento de água baseado em um turno de rega variável ao invés de um turno de rega fixo pode melhorar a produtividade do melão conduzido em estufa plástica.

## 4. CONCLUSÃO

A metodologia bayesiana é eficiente para modelar a curva de regressão do rendimento do melão em função da lâmina de água aplicada via irrigação;

O rendimento do melão é alterado pelo acúmulo de lâmina de água evapotranspirada entre duas irrigações sucessivas, havendo maior rendimento com a aplicação da lâmina de água acumulada de 6,7 mm.

## 5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

### Referências

- [1] CALZAVARA, S. A. et al. Número de frutos de laranja em função da frequência de irrigação complementar. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 22, n. 4, p. 1125-1128, 2000.
- [2] COTES, J. M. et al. A Bayesian approach for assessing the stability of genotypes. **Crop Science**, v. 46, p. 2654-2665, 2006.
- [3] SPIEGELHALTER, D. J. et al. BUGS - **Bayesian Inference using Gibbs Sampling**. MRC Biostatistics Unit, Cambridge, 1994.
- [4] R DEVELOPMENT CORE TEAM (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>.
- [5] HEIDELBERGER, P.; WELCH, P. Simulation run length control in the presence of an initial transient. **Operations Research**, Maryland, v. 31, p.1109-1144, 1983.
- [6] SPIEGELHALTER, D. J. et al. Bayesian measures of model complexity and fit (with discussion). **Journal Royal of Statistical Society**, London, v. 64, n. 4, p. 583-639, 2002.
- [7] ROSSI, R. M. **Introdução aos métodos Bayesianos na análise de dados zootécnicos com uso do Win BUGS e R**. Eduem, 2011. 191p.