



Automação na determinação do sexo floral em cana-de-açúcar com uso do pacote pliman e comparação com avaliação visual

Emanuel Araujo do Nascimento ^{1*} - <https://orcid.org/0009-0001-3650-1822>, João Messias dos Santos ², Paulo Pedro da Silva ², Carlos Assis Diniz ², Wedja Barbosa Ferreira ³, Daniel Freitas Soares ³

¹ Mestrando em Produção Vegetal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), Rio Largo – AL, Brasil
Email: emanuel.nascimento@ceca.ufal.br
* autor correspondente

² Professor Doutor, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), Rio Largo – AL, Brasil
Emails: joao.santos@ceca.ufal.br, paulo.silva@ceca.ufal.br, carlos.diniz@ceca.ufal.br

³ Graduando(a) em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), Rio Largo – AL, Brasil.
Emails: wedja.ferreira@ceca.ufal.br, artur.santos@ceca.ufal.br

RESEARCH ARTICLE

Annals of Data Analysis

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/ADA/>

Copyright © 2026 by author(s).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License CC BY-NC-ND 4.0

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



Resumo

A determinação do sexo floral em cana-de-açúcar é essencial para o planejamento de cruzamentos em programas de melhoramento. Métodos tradicionais de avaliação visual, embora usuais, são subjetivos e demandam tempo. Este estudo avaliou o uso do pacote pliman no software R para a classificação automatizada de imagens de pólen, comparando com a avaliação visual em 10 genitores na Estação de Floração e Cruzamento da Serra do Ouro em 2025. Os métodos apresentaram alta correlação ($r=0,84$) e concordância de 70%, indicando que o pliman pode substituir ou complementar a avaliação visual. A automação reduziu o tempo de análise e padronizou os resultados, destacando seu potencial como ferramenta de apoio ao melhoramento da cana-de-açúcar.

Keywords

Análise de imagens; Sexagem floral; Viabilidade polínica; Melhoramento genético da cana-de-açúcar

1. Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ocupa posição estratégica no agronegócio brasileiro, sendo cultivada para produção de diversos produtos e coprodutos, como açúcar, etanol, bioeletricidade, leveduras, vinhaça, melaço e torta de filtro (Cursi et al., 2022). Com a demanda crescente por essa matéria-prima, torna-se cada vez mais necessário elevar os rendimentos agroindustriais. Nesse contexto, a cultivar é a tecnologia de menor custo que mais contribui

para aumento da produtividade. Para sua obtenção, o melhoramento genético da cultura depende da seleção criteriosa de genitores capazes de produzir pólen viável em quantidade adequada, uma vez que a predominância sexual afeta diretamente a eficiência das hibridações. Tradicionalmente, a determinação do sexo floral é realizada por avaliação visual ou coloração citológica, que demandam experiência do observador e tempo considerável (Machado Jr., 1987; Amaral et al., 2012). Avanços recentes em ciência de dados e visão computacional têm permitido a adoção de técnicas automatizadas, como análise de imagens, capazes de aumentar a precisão e a reprodutibilidade dos resultados (Ascari et al., 2020; Zhang et al., 2024).

Nesse contexto, o pacote *pliman* (Olivoto, 2022), implementado em R, oferece funcionalidades para processamento e classificação de imagens em experimentos agrônômicos. Estudos prévios demonstraram sua eficiência na contagem de grãos de pólen em diferentes espécies (Ayenan et al., 2020), mas sua aplicação na sexagem da cana-de-açúcar ainda é incipiente.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi comparar a determinação do sexo floral em genitores de cana-de-açúcar utilizando o pacote *pliman* e o método visual tradicional, avaliando a precisão, a eficiência e o potencial de aplicação dessa abordagem nos programas de melhoramento.

2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido na Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro (Murici – AL), entre março e julho de 2025, envolvendo 10 genitores de cana-de-açúcar em fase de floração: RB015871, RB025989, RB027046, RB034116, RB056380, RB05836, RB1079, RB127825, RB928064 e RB971755. Amostras de inflorescências foram coletadas no período da manhã e preparadas em lâminas com solução de lugol a 2%, a fim de contrastar os grãos de pólen viáveis (coloração intensa) em relação aos inviáveis (coloração clara).

A avaliação visual da viabilidade polínica foi realizada em microscópio óptico por dois avaliadores independentes. Para cada genitor, foram contabilizados pelo menos 300 grãos, sendo calculado o percentual de pólen viável. A classificação sexual seguiu o critério de Gómez (1962), no qual genitores com mais de 70% de pólen viável são considerados masculinos, aqueles com menos de 30% femininos, e valores intermediários entre 30 e 70% classificados como intermediários.

As mesmas imagens foram processadas no software R (R Core Team, 2020), utilizando o pacote *pliman* (Olivoto, 2022). O fluxo incluiu a segmentação automática das partículas,

distinção entre fundo, grãos viáveis e inviáveis, e a quantificação por imagem (Figura 1). Para cada genitor, foram obtidos os percentuais de pólen viável estimados pelo algoritmo. Os resultados dos dois métodos foram comparados por estatística descritiva e análise de correlação de Pearson, além da elaboração de uma matriz de concordância das classes sexuais atribuídas pelos métodos.

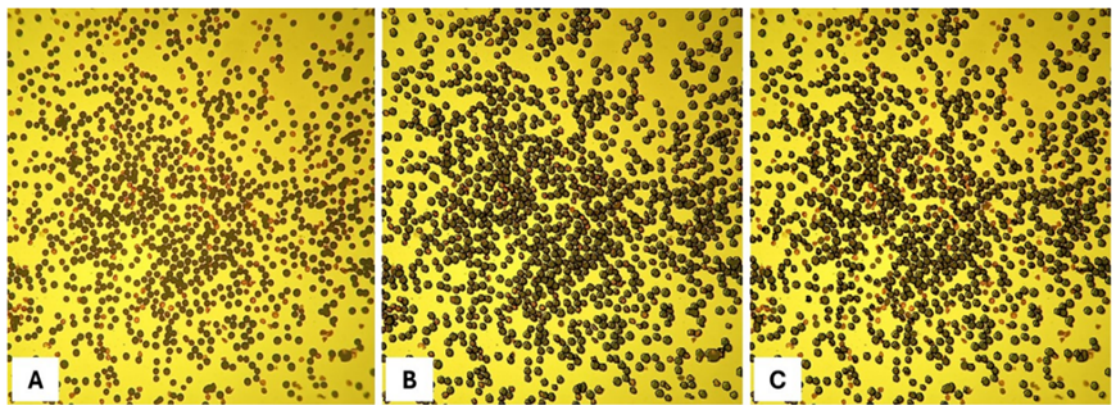


Figura 1 - Exemplo de imagem utilizada para o processamento da contagem de grãos de polens com o uso do programa R. (A) Imagem original, com polens viáveis (coloração roxo escuro) e não viáveis (coloração roxo claro); (B) Imagem processada pelo R, com circulação automática de todos os grãos de polens (viáveis e não viáveis); (C) Imagem processada pelo R com circulação automática de apenas os grãos de polens viáveis.

3. Resultados e Discussão

A análise visual indicou ampla variação na viabilidade polínica entre os genitores avaliados em 2025, com valores que oscilaram de 40% (RB1079) a 90% (RB015871 e RB971755). Essa diversidade de respostas reflete a heterogeneidade sexual característica da espécie e ressalta a importância de identificar corretamente a predominância floral para o direcionamento dos cruzamentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Percentual de pólen viável (%) obtido por avaliação visual e pelo pacote *pliman* no R para 10 genitores de cana-de-açúcar avaliados na Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, 2025.

Genótipo	% Polens Viáveis Visual	% Polens Viáveis-R
RB015871	90,0	88,3

Genótipo	% Polens Viáveis Visual	% Polens Viáveis-R
RB025989	55,0	55,4
RB027046	65,0	74,4
RB034116	50,0	33,5
RB056380	80,0	60,9
RB05836	60,0	77,6
RB1079	40,0	33,4
RB127825	80,0	89,5
RB928064	59,0	38,8
RB971755	90,0	91,9

Na análise automatizada com o pacote *pliman*, observaram-se percentuais semelhantes, embora com pequenas diferenças entre genótipos. Em alguns casos, o método automatizado apresentou estimativas ligeiramente superiores ao visual (RB05836 e RB027046), enquanto em outros os valores foram inferiores (RB034116 e RB928064). Essa variação é esperada, dado que o algoritmo considera parâmetros objetivos de coloração e segmentação, reduzindo a influência da subjetividade do avaliador.

A comparação entre os dois métodos revelou correlação alta ($r=0,84$), confirmando que ambos são consistentes na estimativa da viabilidade de pólen (Figura 2). Apesar das diferenças pontuais entre genitores, a relação linear positiva indica que o *pliman* acompanha adequadamente as tendências observadas no método visual, com potencial para substituir ou complementar a avaliação tradicional em programas de hibridação.

Quando os genótipos foram classificados segundo Gómez (1962), a concordância entre os métodos foi de 70%, com maior consistência nas classes masculino e intermediário (Tabela 2). Essa proporção é considerada satisfatória, uma vez que pequenas divergências tendem a ocorrer em genótipos com valores próximos aos limites de classificação, onde a subjetividade da análise visual exerce maior influência. Os resultados corroboram estudos prévios que destacam a eficiência da análise de imagens na avaliação da fertilidade polínica em diferentes culturas (Ascari et al., 2020; Zhang et al., 2024), reforçando o potencial do *pliman* como ferramenta de apoio à seleção de genitores em cana-de-açúcar.

Table 2 - Matriz de concordância entre classes sexuais (masculino, intermediário e feminino) atribuídas pelos métodos visual e *pliman*, segundo os critérios de Gómez (1962), em 10 genitores de cana-de-açúcar avaliados em 2025.

Classe Visual ↓ / Classe R →	Feminino	Intermediário	Masculino
Feminino	0	0	0
Intermediário	0	3	1
Masculino	0	2	4

Os resultados corroboram estudos recentes que apontam a análise de imagens como recurso promissor para a agricultura de precisão e o melhoramento genético (Padilha et al., 2024; Zhang et al., 2024). Ao reduzir custos e aumentar a precisão, o uso de ferramentas como o *pliman* representa avanço metodológico relevante para os programas de hibridação da cana-de-açúcar.

4. Conclusão

O pacote *pliman* mostrou-se eficiente na determinação do sexo floral em cana-de-açúcar, com alta correlação com a avaliação visual e 70% de concordância. A automação reduziu o tempo de análise e aumentou a padronização, evidenciando seu potencial como ferramenta de apoio em programas de melhoramento.

References

1. Amaral, A. L., Santos, J. M., Camara, T. M. M., & Barbosa, G. V. S. (2012). *Metodologia de conservação de pólen de cana-de-açúcar*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.
2. Ascari, L., Novara, C., Dusio, V., Oddi, L., & Siniscalco, C. (2020). Quantitative methods in microscopy to assess pollen viability in different plant taxa. *Plant Reproduction*, 33(2), 205–219.
3. Ayenan, M. A. T., Danquah, A., Ampomah-Dwamena, C., Hanson, P., & Asante, I. K. (2020). Optimizing PollenCounter for high throughput phenotyping of pollen quality in tomatoes. *MethodsX*, 7, 100977.

4. Cursi, D. E., Benício, M. S., Silva, J. F., Balsalobre, T. W. A., Santos, J. M., & Barbosa, G. V. S. (2022). History and current status of sugarcane breeding, germplasm development, and molecular genetics in Brazil. *Sugar Tech*, 24(1), 112–133.
5. Gómez, F. E. (1962). Estudio de la fertilidad en caña de azúcar. *Agronomía Tropical*, 12(2), 143–156.
6. Machado Jr., J. (1987). *Sexualidade e reprodução em cana-de-açúcar*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.
7. Olivoto, T. (2022). Lights, camera, *pliman!* An R package for plant image analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(4), 789–798.
8. Padilha, K. S. M. A., Silva, M. A., Torres, R. C., & Costa, A. M. (2024). Use of image analysis in the evaluation of radicular nodules in chickpeas. *Caderno Pedagógico*, 21, e7318.
9. R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
10. Zhang, C. J., Liu, H., Yang, R., & Wu, S. (2024). DeepPollenCount: a swin-transformer-YOLOv5-based deep learning method for pollen counting in various plant species. *Aerobiologia*, 40(1), 1–12.