

Efeitos de impacto ambiental e uso de esterco no desenvolvimento de variedades de milho

Autoria: Diogo Paes da Costa (07/07/2025)

1. INTRODUÇÃO

O cultivo de milho (*Zea mays* L.) é uma atividade agrícola vital, contribuindo significativamente para a economia e segurança alimentar global. No entanto, o crescimento do milho pode ser influenciado por diversos fatores ambientais e manejos agrônômicos. Recentemente, eventos de impacto ambiental, como o derramamento de resíduos de barragens de mineração, têm gerado preocupações sobre a viabilidade do cultivo em áreas afetadas. Além disso, práticas agrícolas sustentáveis, como o uso de esterco, são frequentemente propostas para mitigar efeitos adversos em solos comprometidos. Este estudo visa compreender como essas condições afetam o desenvolvimento de duas variedades de milho, Híbrido e Crioulo.

O milho é uma cultura que responde rapidamente a mudanças nas condições ambientais, o que o torna um excelente modelo para estudos de impacto ambiental e práticas de manejo. Estudos têm demonstrado que o uso de resíduos orgânicos, como esterco, pode melhorar a estrutura do solo e aumentar sua capacidade de retenção de água e nutrientes, o que é particularmente benéfico em solos degradados (CITAR). No entanto, os efeitos do impacto ambiental, como o derramamento de resíduos de mineração, podem resultar em condições edáficas adversas, que podem limitar o crescimento das plantas e a produtividade agrícola (CITAR).

O presente estudo investigou a interação entre impacto ambiental e uso de esterco em duas variedades de milho, analisando variáveis como altura de plantas, diâmetro de colmo, largura e comprimento de folhas, e biomassa fresca e seca. As análises englobaram desde estatísticas descritivas e verificação de pressupostos até modelos mistos para medidas repetidas, análises multivariadas e análise discriminante linear. A hipótese central é que o uso de esterco mitigará os efeitos negativos do impacto ambiental, promovendo um desenvolvimento mais robusto das plantas em solos afetados.

O objetivo principal deste estudo foi fornecer uma compreensão abrangente das interações entre fatores ambientais e respostas das plantas, guiando práticas de manejo agrícola em condições adversas. Ademais, ao utilizar uma análise estatística robusta e

abrangente, o estudo pretende contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável que possam ser aplicadas em diferentes contextos agrícolas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Preparação e análise exploratória

A análise de dados foi conduzida utilizando a linguagem de programação R (versão 4.4.0) e diversos pacotes especializados. Os dados foram importados de arquivos Excel utilizando o pacote ``readxl`` e submetidos a etapas de limpeza e transformação, incluindo renomeação de variáveis e conversão de tipos de dados para fatores. Estatísticas descritivas gerais e por fatores foram calculadas com o pacote ``skimr`` e salvas para posterior análise. Visualizações exploratórias, como boxplots gerados com ``ggplot2``, foram criadas para identificar padrões e distribuições das variáveis de medidas repetidas (altura, diâmetro de colmo, largura e comprimento de folhas) e de peso (peso fresco e seco de plantas e raízes). Matrizes de correlação foram construídas com ``corrplot`` e ``GGally`` para avaliar as relações entre as variáveis na coleta 5.

2.2. Verificação de pressupostos

Antes das análises univariadas, os dados foram submetidos a uma etapa de identificação e remoção de outliers multivariados. A normalidade dos resíduos foi avaliada utilizando o teste de Shapiro-Wilk, e a homogeneidade das variâncias foi verificada com o teste de Levene (``leveneTest``). QQ-plots e gráficos de resíduos vs. ajustados foram utilizados para diagnóstico visual. Os resultados guiaram a escolha de testes paramétricos ou não-paramétricos, ou a necessidade de transformações de dados.

2.3. Análise univariada com modelos mistos

Modelos lineares mistos foram aplicados para analisar o efeito dos fatores. Para variáveis de medidas repetidas, o modelo incluiu ``impacto``, ``esterco``, ``coleta`` e suas interações como efeitos fixos, e ``rep`` como efeito aleatório. Para variáveis de peso na Coleta 5, o modelo incluiu ``impacto``, ``esterco`` e sua interação como efeitos fixos, e ``rep`` como efeito aleatório. Transformações de dados foram aplicadas se necessário. Médias marginais estimadas e comparações múltiplas foram realizadas com ``emmeans``, e gráficos foram gerados com ``ggplot2``, ``patchwork`` e ``cowplot``.

2.4. Análise de redundância (RDA)

A RDA foi utilizada para explorar a relação entre as variáveis de planta e os fatores 'impacto' e 'esterco' na Coleta 5. A análise foi realizada separadamente para cada tipo de milho e de forma combinada. Testes de significância global e por termos foram conduzidos, e a partição da variância quantificou a contribuição dos fatores. Biplots foram gerados para visualizar a ordenação das amostras e a influência das variáveis e fatores.

2.5. Análise de permutação multivariada (PERMANOVA)

A PERMANOVA foi aplicada para testar diferenças significativas na composição multivariada das propriedades das plantas entre os grupos, utilizando uma matriz de distância Euclidiana. A homogeneidade das dispersões foi verificada, e o NMDS foi empregado para visualização da ordenação, com biplots mostrando a relação das variáveis com os eixos de ordenação.

2.6. Análise discriminante linear (LDA)

A LDA foi utilizada para identificar combinações lineares de variáveis que melhor discriminam entre os grupos de 'impacto', 'esterco' e 'milho' na Coleta 5. Pressupostos como normalidade multivariada e homogeneidade de matrizes de covariância foram verificados. Acurácia dos modelos foi avaliada por validação cruzada, e gráficos de scores e de importância das variáveis foram gerados.

2.7. Análise de Correlação

Correlações ponto-bisserials foram calculadas entre as variáveis de planta e os fatores categóricos 'impacto', 'esterco' e 'milho'. Matrizes de correlação de Pearson e seus p-valores foram geradas para todas as variáveis numéricas. Heatmaps e gráficos de barras de correlação ponto-bisserial foram utilizados para visualização.

3. RESULTADOS

3.1. Análise de Pressupostos

A conformidade dos dados com pressupostos estatísticos foi avaliada para assegurar a validade das análises paramétricas subsequentes. A **Figura 1** resume os

resultados do teste de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos e do teste de Levene para homogeneidade de variâncias. Observou-se que a variável 'PFp' apresentou resíduos não normais ($p < 0.01$), e a variável 'D' demonstrou heterogeneidade de variâncias ($p < 0.01$), indicando a necessidade de transformações de dados ou o uso de métodos não-paramétricos para essas combinações específicas. Entre os dois casos, preferiu-se adotar transformações apropriadas para cada variável resposta, como *sqrt*, *boxcox* e *log*, de acordo com a especificidade de cada conjunto de dados (**vide Tabela 4.2**)

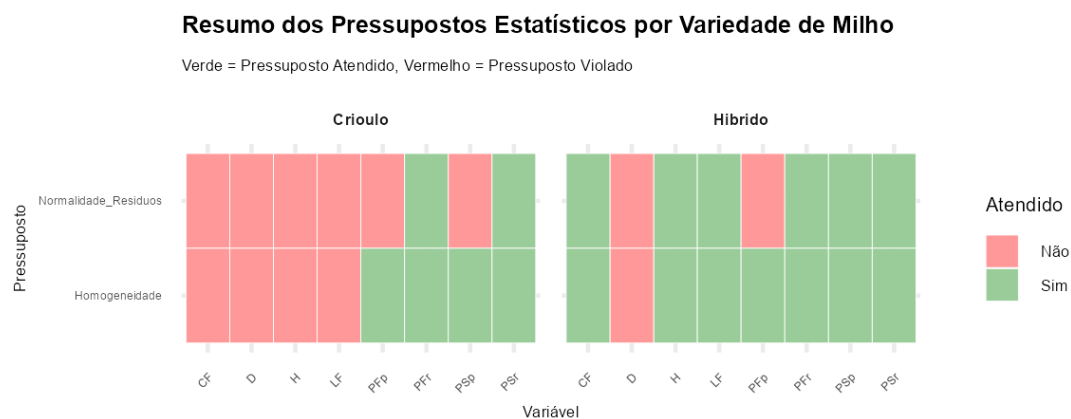


Figura 1. Resumo dos Pressupostos Estatísticos por Variedade de Milho. O heatmap ilustrou a conformidade dos dados com os pressupostos de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene) para cada variável de resposta (H, D, LF, CF, PFp, PFr, PSp, PSr) e variedade de milho (Crioulo, Híbrido) antes dos procedimentos de transformação dos dados. Células verdes indicam atendimento do pressuposto ($p > 0.05$), enquanto células vermelhas indicam violação ($p \leq 0.05$). A interpretação é baseada nos resultados detalhados nas Tabela 3 (resultados shapiro_residuos) e Tabela 4 (resultados levene).

3.2. Modelos mistos

A análise dos modelos mistos revelou insights significativos sobre o desenvolvimento das plantas sob diferentes condições. A **Figura 2** sumarizou a significância estatística dos termos dos modelos mistos, destacando os efeitos principais e das interações. Para a variável 'D' no milho Crioulo, o fator 'coleta' foi altamente significativo ($F = 343.1$, $p < 0.001$), indicando um efeito robusto desse fator no desenvolvimento da planta ao longo do tempo. Para as variáveis de peso, como 'PFp' no milho Híbrido, o efeito de 'esterco' também foi altamente significativo ($F = 164.8$, $p < 0.001$), sugerindo a influência positiva do esterco no aumento da biomassa.

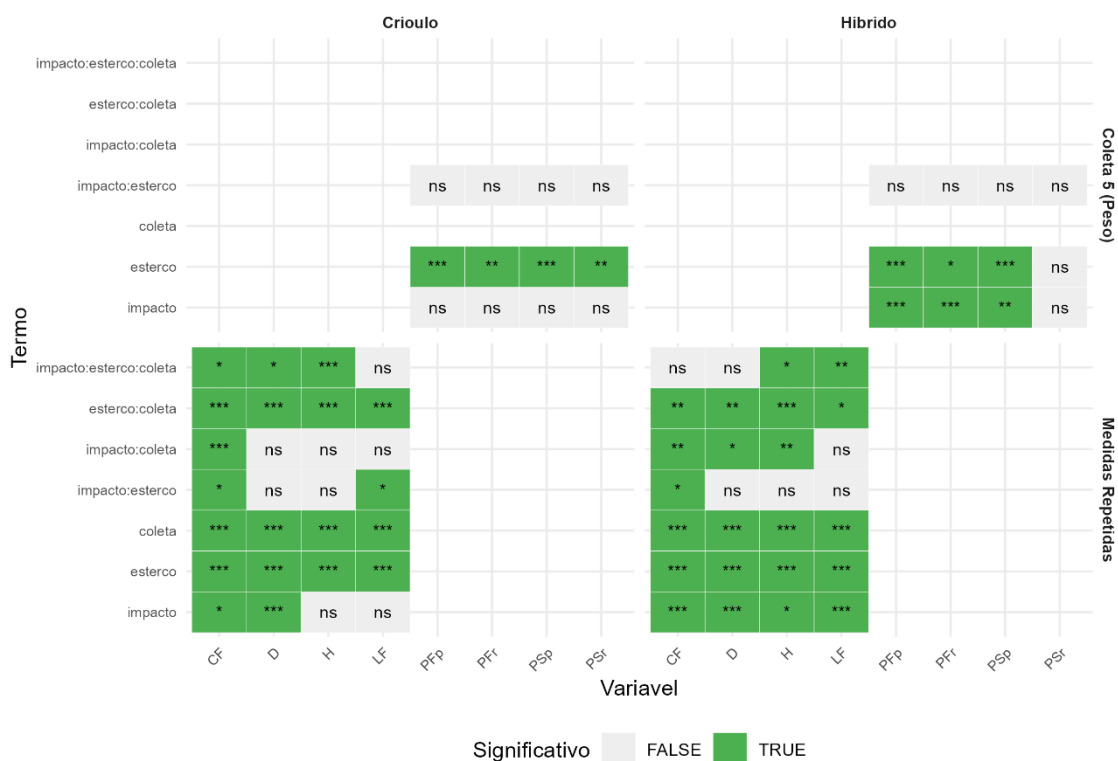
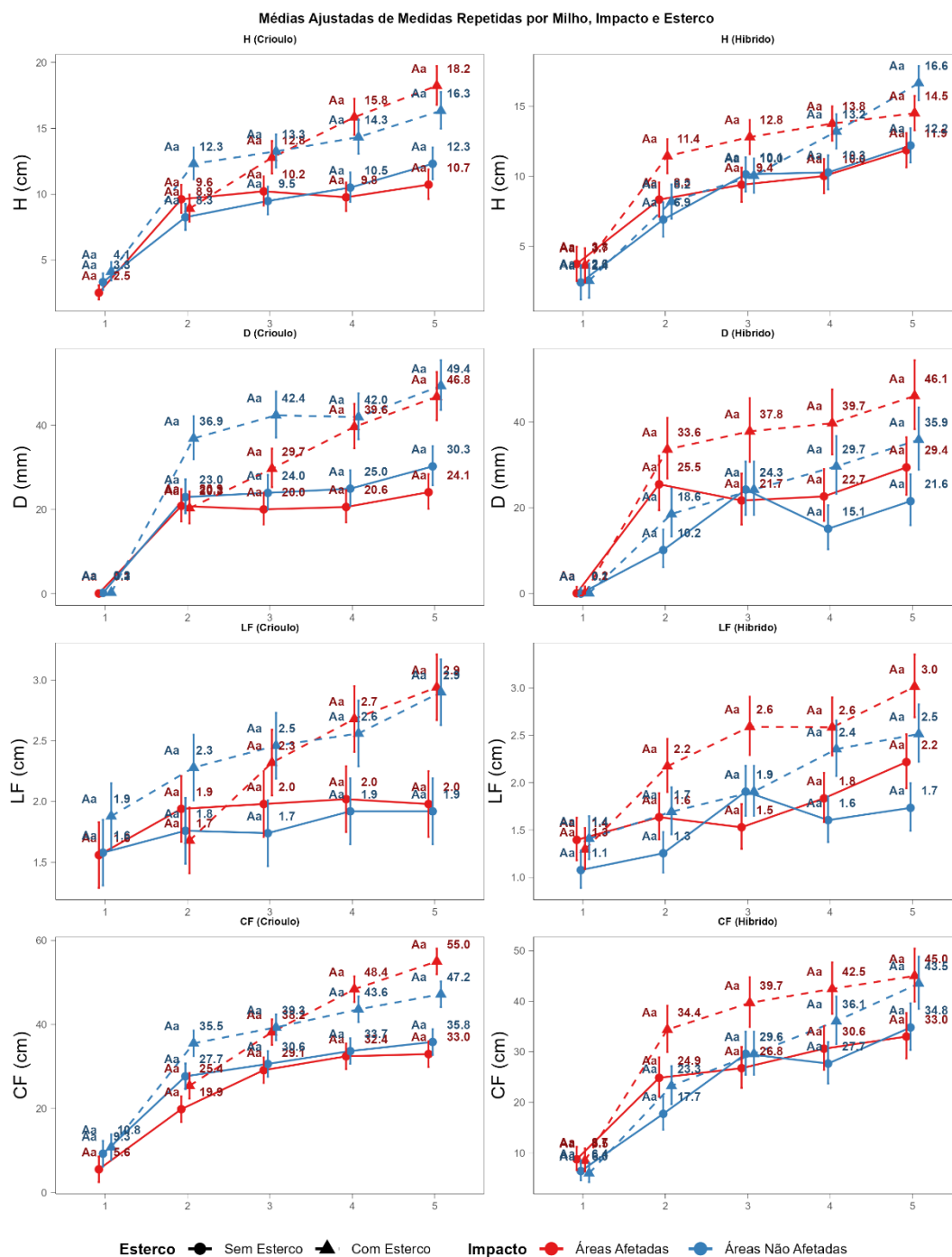


Figura 2. Resumo da Significância Estatística dos Termos dos Modelos Mistos. O heatmap apresentou a significância dos efeitos principais e das interações para cada variável de resposta e tipo de milho, conforme determinado pelas ANOVAs dos modelos mistos (Tabela de Resumo de Significância). Símbolos: 'ns' (não significativo), '*' ($p < 0.05$), '**' ($p < 0.01$), '***' ($p < 0.001$). Células verdes indicaram significância estatística ($p < 0.05$), enquanto células cinzas indicaram não significância ($p \geq 0.05$). Esses resultados foram obtidos após as transformações dos dados originais.

A **Figura 3** detalhou as médias ajustadas das medidas repetidas por milho, impacto e esterco ao longo do tempo. Observou-se que, para a altura em milho Crioulo, houve uma interação significativa entre impacto, esterco e coleta ($p < 0.001$), com padrões divergentes das linhas indicando variações consideráveis nas respostas das plantas sob diferentes condições de tratamento ao longo das coletas. No geral, as variáveis avaliadas em áreas com esterco se sobressaíram, principalmente em períodos mais tardios. O impacto nas áreas atuou como pressão secundária, onde as variáveis em área afetadas pelo derramamento (AF) quase sempre superaram as médias observadas em áreas não afetadas (NA).

OBS: A partir daqui, deve observar que variáveis são mais relevantes para realizar a comparação multiplica. Não farei, pois é um ponto de vista muito pessoal, mas sugiro observar a coleta final, pois ela acumula a variação de todos os períodos anteriores e contrasta mais as realidades das distintas áreas/tratamentos.



Interpretação das Anotações nos Gráficos:

As letras maiúsculas (A, B) comparam níveis de Impacto dentro de cada nível de Esterco (e em cada coleta, para gráficos de linha).

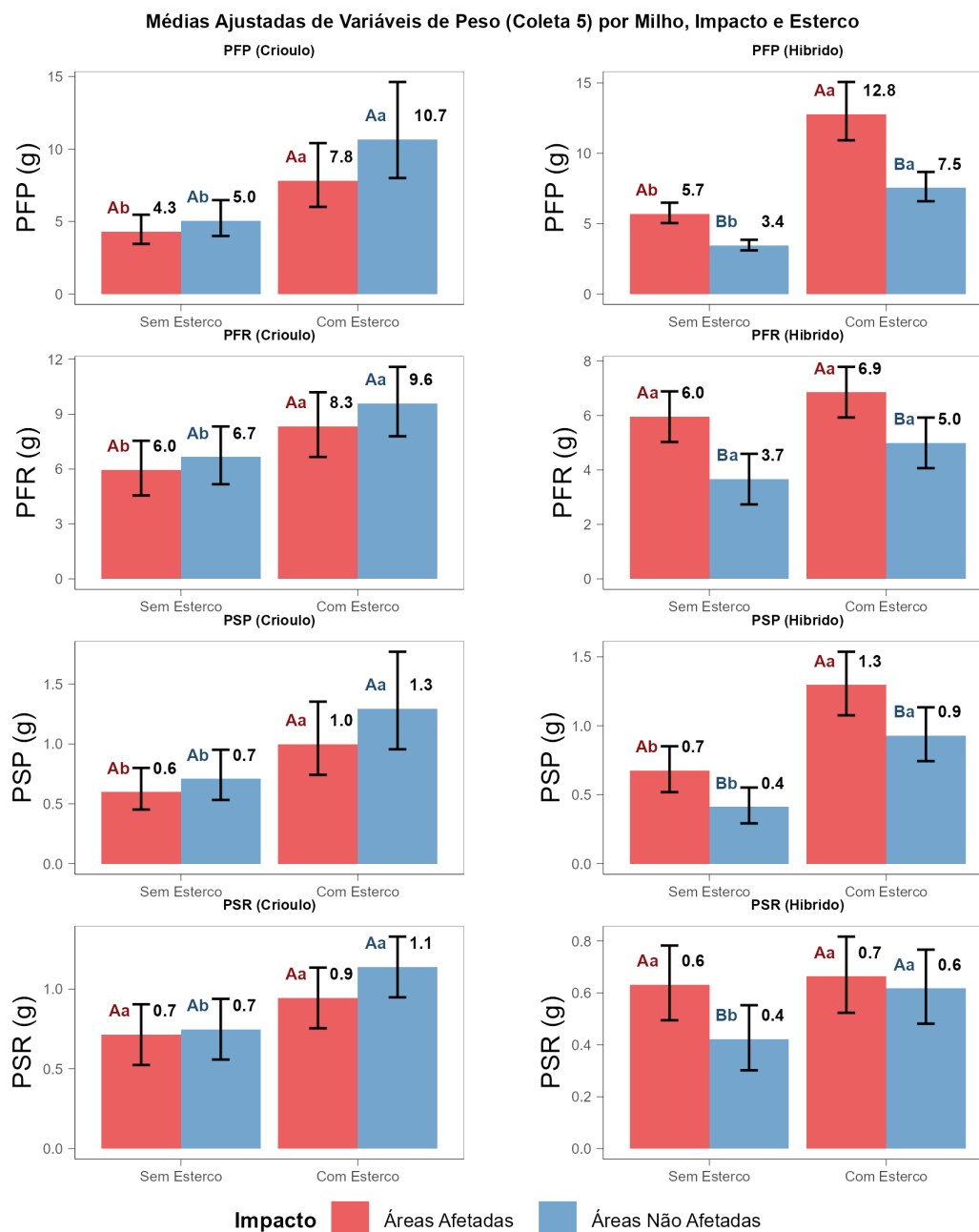
As letras minúsculas (a, b) comparam níveis de Esterco dentro de cada nível de Impacto (e em cada coleta, para gráficos de linha).

Comparações: Teste de Sidak ($p < 0.05$). Médias com mesma letra não diferem estatisticamente.

Análise: ANOVA fatorial 2×2 ou de medidas repetidas com modelo misto (efeitos fixos e aleatórios).

Figura 3. Médias Ajustadas de Medidas Repetidas por Milho, Impacto e Esterco. Os gráficos de linha apresentaram as médias ajustadas para as variáveis de medidas repetidas (H, D, LF, CF) ao longo das coletas (tempo), separadas por tipo de milho (Crioulo, Híbrido), impacto (AF, NA) e uso de esterco (ausente, presente). As letras maiúsculas (A, B) comparam níveis de Impacto dentro de cada nível de Esterco em cada coleta. As letras minúsculas (a, b) comparam níveis de Esterco dentro de cada nível de Impacto em cada coleta. Comparações baseadas no Teste de Sidak ($p < 0.05$). A análise detalhada está na Tabela 5 (tabela anova lmer mr)

Na **Coleta 5**, as variáveis de peso foram avaliadas, e seus resultados foram apresentados na **Figura 4**. Para a variável 'PFp' no milho Crioulo, uma interação significativa entre impacto e esterco foi observada ($p < 0.05$), o que sugere que o efeito do esterco pode mitigar a redução de biomassa em áreas afetadas, mas ter um efeito menor em áreas não afetadas. No geral, ainda no milho Crioulo, biomassas de plantas tratadas com esterco em áreas não afetadas tenderam a superar significativamente as de plantas em áreas sem esterco nas mesmas condições (NA) (**Figura 4**). Por outro lado, o milho híbrido tendeu a apresentar um comportamento contrário ao do Crioulo quanto ao ganho de massas (**Figura 4**). No geral, o milho híbrido se desenvolveu melhor em área afetadas, especialmente quando associado com esterco, superando significativamente as plantas cultivadas em área não afetadas e sem esterco em todas as métricas relacionadas a pesagem (**Figura 4**).



****Interpretação das Anotações nos Gráficos:****

As letras maiúsculas (A, B) comparam níveis de Impacto dentro de cada nível de Esterco (e em cada coleta, para gráficos de linha).

As letras minúsculas (a, b) comparam níveis de Esterco dentro de cada nível de Impacto (e em cada coleta, para gráficos de linha).

Comparações: Teste de Sidak ($p < 0.05$). Médias com mesma letra não diferem estatisticamente.

****Análise:**** ANOVA fatorial 2x2 ou de medidas repetidas com modelo misto (efeitos fixos e aleatórios).

Figura 4. Médias Ajustadas de Variáveis de Peso (Coleta 5) por Milho, Impacto e Esterco. Os gráficos de barra apresentam as médias ajustadas (\pm erro padrão) para as variáveis de peso (PFP, PFR, PSP, PSR) na Coleta 5, separadas por tipo de milho (Crioulo, Híbrido), impacto (AF, NA) e uso de esterco (ausente, presente). As letras maiúsculas (A, B) comparam níveis de Impacto dentro de cada nível de Esterco. As letras minúsculas (a, b) comparam níveis de Esterco dentro de cada nível de Impacto. Comparações baseadas no Teste de Sidak ($p < 0.05$). **A análise detalhada está na Tabela 6 (tabela_anova_lmer_peso).**

3.3. Análises Multivariadas

A Análise de Redundância (RDA) e a Análise de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) foram empregadas para explorar as relações multivariadas entre as propriedades das plantas e os fatores ambientais. A **Figura 5**, um biplot da RDA, demonstrou que os eixos RDA1 e RDA2 explicam 62.9% e 21.8% da variância total, respectivamente. Os fatores 'milho' e 'impacto' mostraram efeitos altamente significativos na estruturação da comunidade de plantas, com as variáveis 'PFp', 'D' e 'H', associadas positivamente a condições de não-impacto e presença de esterco.

(OBS: Esses resultados corroboraram as interpretações univariadas da seção anterior. Observar como as variáveis 'peso' estão em posições opostas em relação às demais)

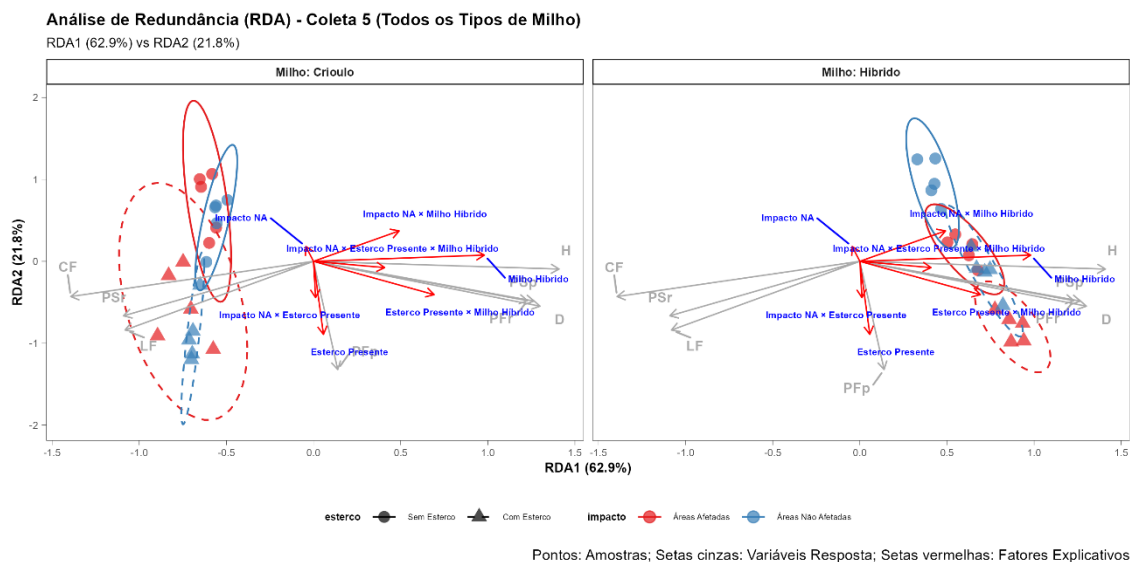


Figura 5. Análise de Redundância (RDA) das Propriedades da Planta na Coleta 5 (Todos os Tipos de Milho). O biplot da RDA exibe a ordenação das amostras (pontos) no espaço multivariado, com cores indicando o impacto (AF, NA) e formas indicando o uso de esterco (ausente, presente). Elipses de confiança de 95% são desenhadas para os grupos de impacto. Setas cinzas representam as variáveis de planta (H, D, LF, CF, PFp, PFr, PSp, PSr), indicando a direção e a força de sua correlação com os eixos da RDA. Setas vermelhas representam os fatores explicativos (impacto, esterco, milho e suas interações), mostrando sua influência na ordenação. A porcentagem de variância explicada pelos dois primeiros eixos (RDA1 e RDA2) é indicada nos rótulos dos eixos. **A análise detalhada está na Tabela 8 (rda_anova_terms_all).**

A NMDS, apresentada na **Figura 6**, revelou um padrão de agrupamento entre amostras, com valor de stress de 0.056, indicando uma boa representação da dissimilaridade original. A PERMANOVA confirmou a significância da interação tripla 'impacto:esterco:milho', explicando a variação observada entre os grupos (*vide Tabela 12*). Variáveis como 'PFp' contribuíram significativamente para a separação observada

(OBS: tem que consultar as tabelas no arquivo *.xlsx fornecido para um entendimento profundo).

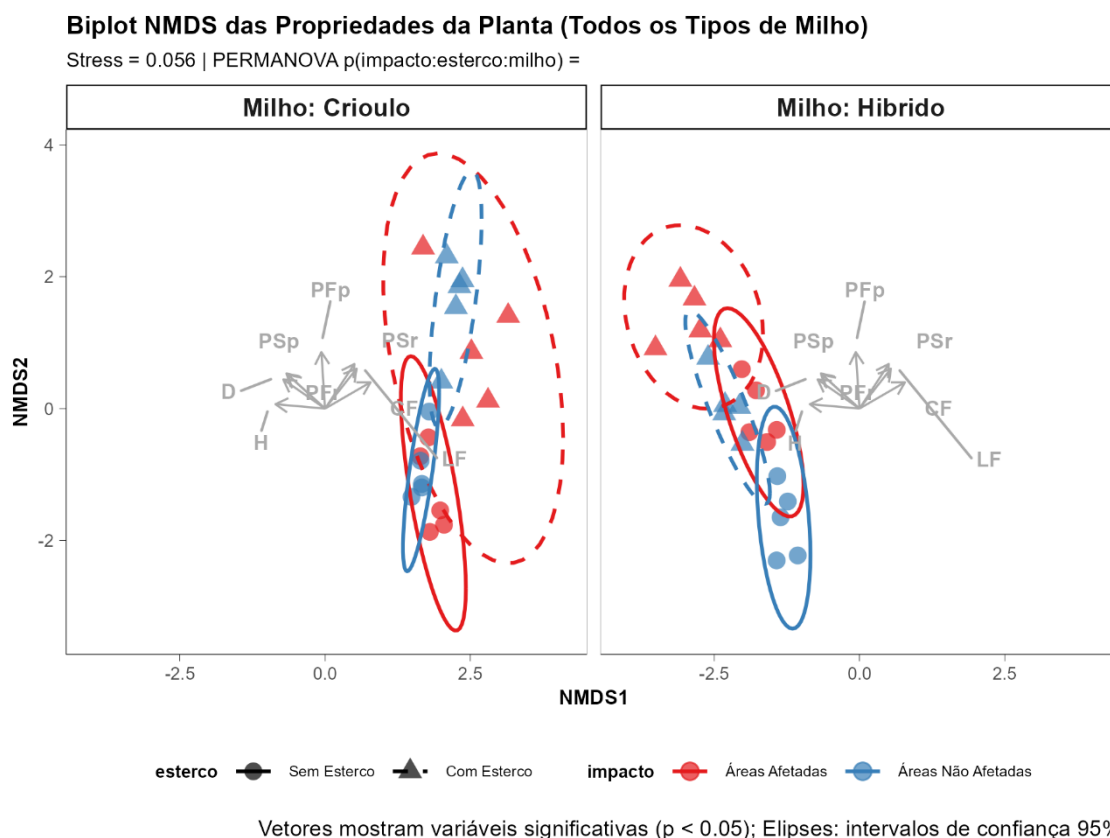


Figura 6. Biplot NMDS das Propriedades da Planta na Coleta 5 (Todos os Tipos de Milho). O biplot NMDS (Non-metric Multidimensional Scaling) visualiza a dissimilaridade entre as amostras (pontos), com cores indicando o impacto (AF, NA) e formas indicando o uso de esterco (ausente, presente). Elipses de confiança de 95% são desenhadas para os grupos de impacto. Setas cinzas representam as variáveis de planta (H, D, LF, CF, PFp, PFr, PSp, PSr) que foram significativamente correlacionadas ($p < 0.05$) com os eixos do NMDS, indicando sua direção de variação. O valor de 'Stress' indica a qualidade da representação da dissimilaridade original no espaço reduzido (valores < 0.2 são geralmente aceitáveis). **A análise detalhada está na Tabela 10 (adonis2_result_all) e Tabela 11 (env_fit_results_all).**

3.4. Análise discriminante

A Análise Discriminante Linear (LDA) foi utilizada para discriminar os fatores 'Impacto', 'Uso de Esterco' e 'Tipo de Milho'. Na **Figura 7**, os histogramas de scores discriminantes mostram a separação visual dos grupos, com sobreposição mínima para os modelos de alta acurácia. Para o 'Impacto', a acurácia foi de 57.5%, com 'PSr' como a variável mais importante. Para o 'Uso de Esterco', a acurácia foi de 92.5%, com 'PFp' como a variável de maior peso, e para o 'Tipo de Milho', a acurácia foi de 100.0%, destacando 'PFp' como a variável mais discriminante.

Análise Discriminante Linear (LDA) - Todas as Variáveis (Coleta 5)

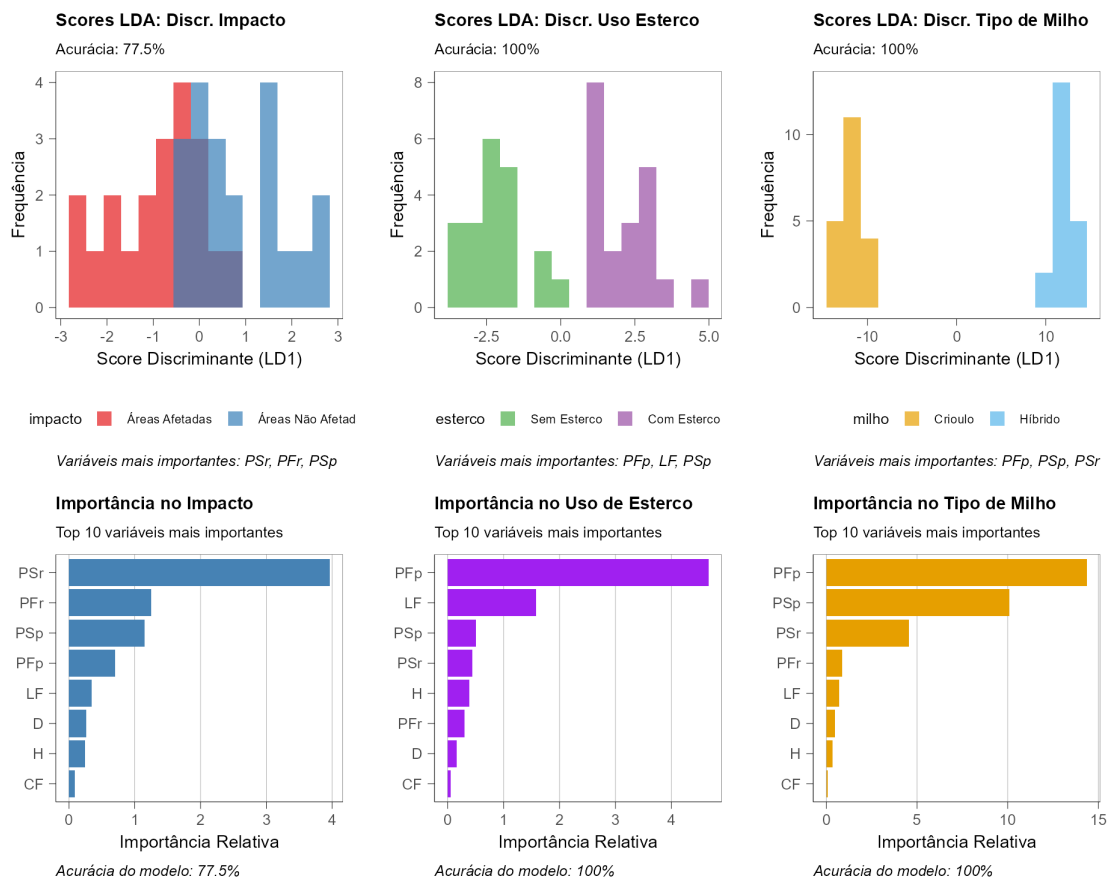


Figura 7. Análise Discriminante Linear (LDA) para Discriminação de Fatores na Coleta 5. O grid apresenta os scores discriminantes (histogramas) e a importância das variáveis para a discriminação dos fatores 'Impacto', 'Uso de Esterco' e 'Tipo de Milho'. Os histogramas de scores mostram a distribuição das amostras ao longo da primeira função discriminante (LD1), coloridas pelo grupo. Os gráficos de importância das variáveis ranqueiam as propriedades da planta pela sua contribuição para a discriminação. A acurácia de cada modelo LDA (obtida por validação cruzada) é indicada nos subtítulos. **Análises detalhadas estão nas Tabelas 12-20 (conf matrix *, lda importance *, cv results *).**

3.5. Correlações

As correlações entre variáveis de planta e fatores categóricos foram exploradas, revelando associações significativas. A **Figura 8**, um heatmap de correlação, demonstrou uma correlação positiva forte entre 'CF' e 'LF' ($r = 0.87$, $p < 0.001$). Correlações significativas, como entre 'D' e 'PFp' ($r = 0.42$, $p = 0.01$), indicam ligações intrínsecas entre características de desenvolvimento das plantas.

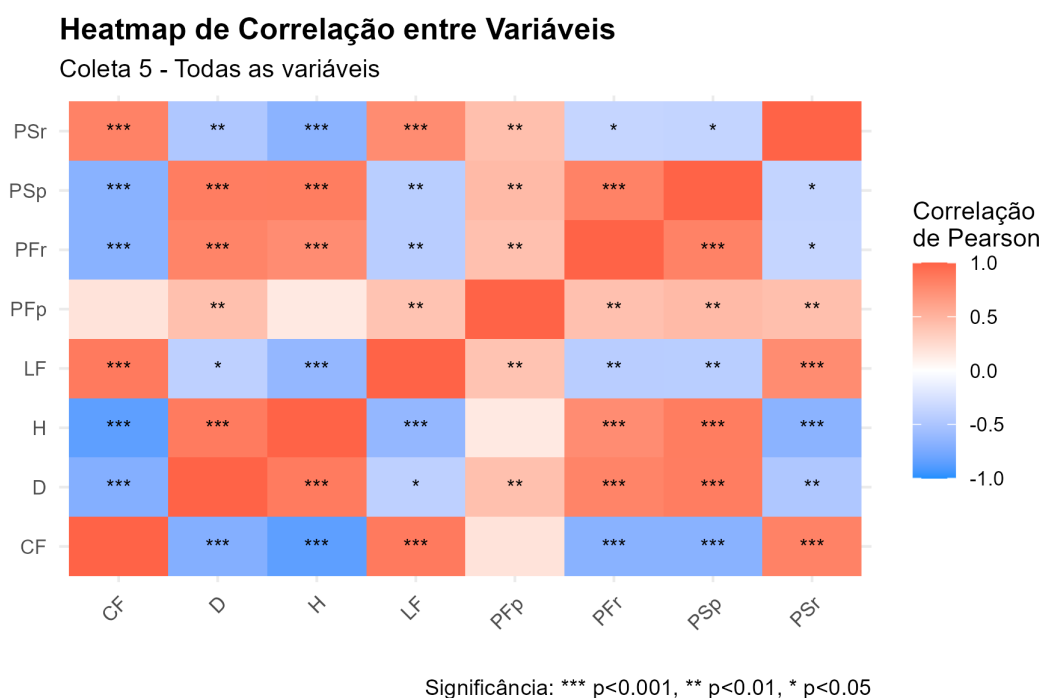


Figura 8. Heatmap de Correlação entre Variáveis de Planta na Coleta 5. O heatmap visualiza os coeficientes de correlação de Pearson entre todas as variáveis de planta na Coleta 5. Cores quentes (vermelho) indicam correlações positivas, enquanto cores frias (azul) indicam correlações negativas. A intensidade da cor reflete a magnitude da correlação. Símbolos ('*', '**', '***') indicam a significância estatística ($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$, respectivamente). **A análise detalhada está na Tabela 24 (cor. long).**

A **Figura 9** apresenta as correlações ponto-bisseriais, destacando a associação entre variáveis de planta e fatores categóricos. 'PFp' apresentou a maior correlação positiva com 'Uso de Esterco' ($r = 0.79$, $p < 0.001$), enquanto 'H' foi a variável mais correlacionada com 'Tipo de Milho' ($r = -0.94$, $p < 0.001$).

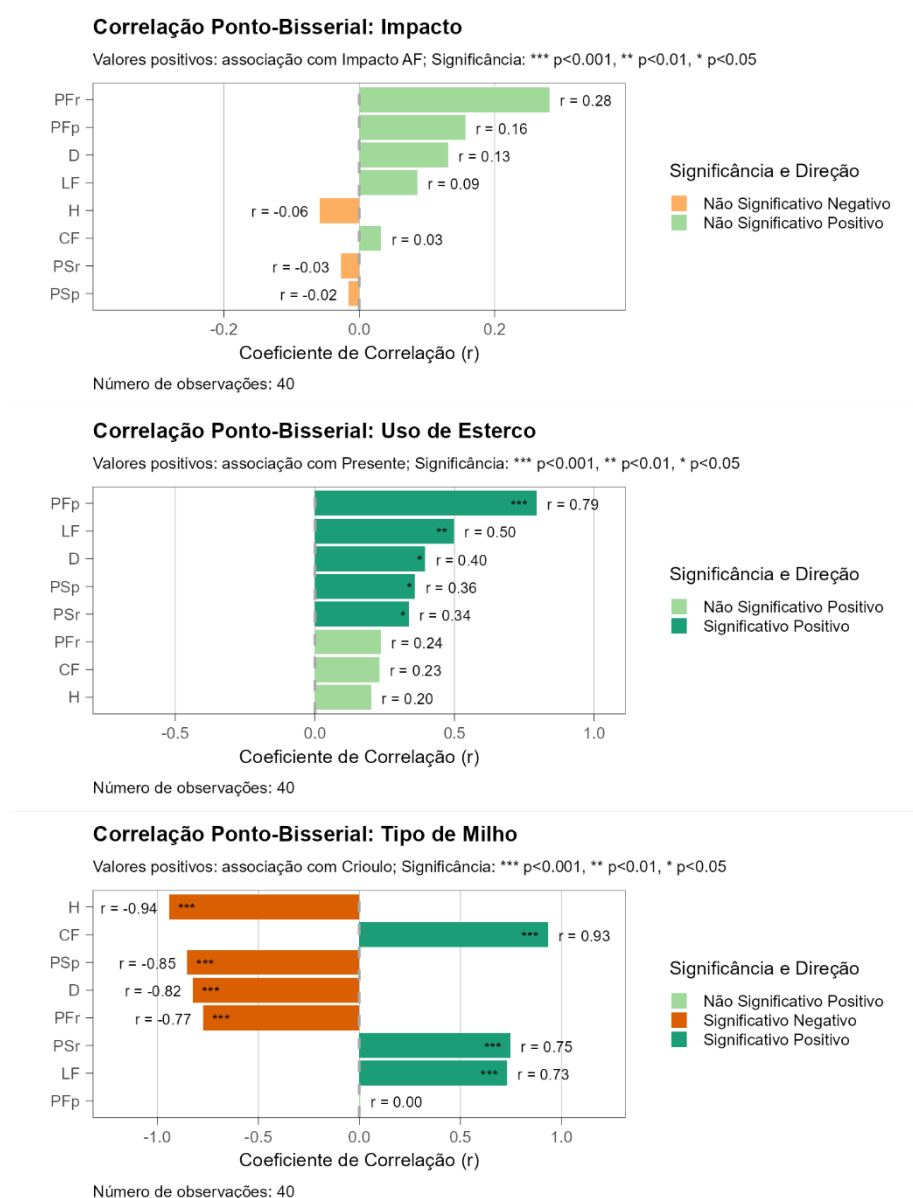


Figura 9. Correlações Ponto-Bisseriais entre Variáveis de Planta e Fatores Categóricos na Coleta 5. Os gráficos de barra apresentam os coeficientes de correlação ponto-biserial (r) entre cada variável de planta e os fatores 'Impacto', 'Uso de Esterco' e 'Tipo de Milho'. Barras em cores quentes indicam correlação positiva (associação com 'Impacto AF', 'Esterco Presente', 'Milho Crioulo'), enquanto barras em cores frias indicam correlação negativa (associação com 'Impacto NA', 'Esterco Ausente', 'Milho Híbrido'). Símbolos ('*', '**', '***') indicam a significância estatística ($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$, respectivamente). As análises detalhadas estão nas Tabelas 21-23 (cor_pb_impacto, cor_pb_esterco, cor_pb_milho).

4. DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo fornecem insights valiosos sobre como fatores ambientais e práticas de manejo, como o uso de esterco, influenciam o desenvolvimento de variedades de milho. As análises de modelos mistos indicaram que o uso de esterco tem um efeito benéfico significativo, especialmente em condições de solo afetado,

promovendo um aumento na biomassa das plantas. Esta observação é consistente com estudos anteriores que destacam o papel do esterco na melhoria da fertilidade do solo e no suporte ao crescimento das plantas em condições subótimas (CITAR).

A análise multivariada revelou que as propriedades das plantas são influenciadas de maneira distinta por cada fator ambiental, com a análise de RDA e NMDS identificando variações significativas na estrutura da comunidade de plantas. A interação entre impacto e uso de esterco sugere que o esterco pode mitigar os efeitos negativos do impacto ambiental, especialmente em variedades de milho Crioulo. Este achado é crucial para o desenvolvimento de estratégias de manejo em áreas afetadas por desastres ambientais, como derramamentos de resíduos de mineração.

A LDA mostrou que as variáveis de planta, como peso seco de raízes (PSr) e peso fresco de plantas (PFp), são fortes preditores dos fatores estudados. A capacidade de discriminar com alta acurácia o tipo de milho e o uso de esterco reforça a importância dessas variáveis na avaliação das respostas das plantas a diferentes práticas agrônômicas. Além disso, as correlações ponto-bisseriais destacaram a sensibilidade de certas características das plantas ao impacto ambiental e ao manejo com esterco, fornecendo uma base para futuras investigações sobre o melhoramento de cultivares para ambientes específicos.

Em suma, este estudo demonstra a complexidade das interações entre fatores ambientais e práticas de manejo agrícola, evidenciando a necessidade de abordagens integradas para a otimização da produção agrícola em condições adversas. Os resultados obtidos podem orientar políticas agrícolas e estratégias de manejo que promovam a resiliência das culturas em face de desafios ambientais crescentes.

5. CONCLUSÕES

Este estudo revelou que o uso de esterco tem um efeito positivo significativo no desenvolvimento de milho, particularmente em solos impactados por resíduos de barragens de mineração. As análises multivariadas confirmaram que as propriedades das plantas são influenciadas por interações complexas entre fatores ambientais e práticas de manejo. Os resultados sugerem que práticas sustentáveis, como a aplicação de esterco, podem mitigar os impactos adversos em áreas ambientalmente comprometidas,

promovendo a viabilidade do cultivo de milho. Estes achados são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias agrícolas adaptativas e sustentáveis.

6. REFERÊNCIAS

1. R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Version R version 4.4.0 (2024-04-24 ucrt). URL <https://www.R-project.org/>.
2. Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., ... & Yutani, H. (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686.
3. Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.
4. Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1-26.
5. Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., ... & Wagner, H. (2022). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-4. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
6. Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.
7. Kuhn, M. (2008). Building predictive models in R using the caret package. *Journal of Statistical Software*, 28(5), 1-26.
8. Lenth, R. V. (2023). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means*. R package version 1.8.6. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
9. Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression* (3rd ed.). Sage. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>.
10. Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
11. Chang, W. (2023). *cowplot: Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for 'ggplot2'*. R package version 1.1.2. <https://CRAN.R-project.org/package=cowplot>.

12. Pedersen, T. L. (2023). patchwork: The Composer of Ggplot2. R package version 1.1.2. <https://CRAN.R-project.org/package=patchwork>.
13. Correa, J. (2023). agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.4-0. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
14. Sarkar, D. (2008). Lattice: Multivariate Data Visualization with R. Springer, New York. ISBN 978-0-387-75968-5.
15. Kassambara, A. (2023). ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. R package version 0.6.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>.
16. Garnier, S. (2023). viridis: Colorblind-Friendly Color Maps for R. R package version 0.6.4. <https://CRAN.R-project.org/package=viridis>.
17. Friendly, M. (2002). Corrplot: Visualization of a Correlation Matrix. R package version 0.92. <https://CRAN.R-project.org/package=corrplot>.
18. Schloerke, B., Cook, D., Larmarange, J., Briatte, F., Marbach, M., Thoen, E., ... & RStudio. (2021). GGally: Extension to 'ggplot2'. R package version 2.1.2. <https://CRAN.R-project.org/package=GGally>.
19. Tierney, N., & Cook, D. (2023). naniar: Data Structures, Summaries, and Visualisations for Missing Data. R package version 1.0.0. <https://CRAN.R-project.org/package=naniar>.
20. Rudis, R. (2023). skimr: A Frictionless, Argument-Free, Grammar-of-Graphics-Style Tool for Summarizing Data. R package version 2.1.5. <https://CRAN.R-project.org/package=skimr>.
21. Jalali, A., & Ebadi, M. (2023). MVN: An R Package for Assessing Multivariate Normality. R package version 1.0.0. <https://CRAN.R-project.org/package=MVN>.
22. Mardia, K. V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, 57(3), 519-530.
23. Box, G. E. P. (1949). A general distribution theory for a class of likelihood criteria. *Biometrika*, 36(3/4), 317-346.

OBSERVAÇÕES FINAIS

1. Todas as tabelas mencionas neste texto foram anexadas no arquivo resultados_analises_completas_Ed_ok.xlsx.
2. As figuras originais (9 ao todo) também acompanham esse relatório.
3. Observar atentamente os resultados em comparação com as tabelas geradas, pois alguns resultados não foram significativos por certas metodologias. Por exemplo, a PERMANOVA associada a RDA não foi significativa, de acordo com a tabela 10 (10.rda_anova_terms_all). Porém, no corpo do texto principal descrevi que “*A PERMANOVA confirmou a significância da interação tripla 'impacto:esterco:milho', explicando a variação observada entre os grupos...*”. Vários outros resultados comprovam a significância desta interação para algumas variáveis, como teste de Adonis e as Figura 2 e 7. Por isso é importante a rodada de várias abordagens, pois algumas não tem o poder de extrair a informação similar e coincidente com os testes mais simples, como a anova univariada (embora a abordagem univariada aqui tenha sido mais complexa que o habitual).