

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**Relação de características morfológicas das gemas de cana-de-açúcar
(*Saccharum spp.*) ligadas à resistência ao carvão (*Sporisorium scitamineum*)**

Felipe Brussolo da Silva

Jaboticabal - SP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**Relação de características morfológicas das gemas de cana-de-açúcar
(*Saccharum spp.*) ligadas à resistência ao carvão (*Sporisorium scitamineum*)**

Felipe Brussolo da Silva

**Orientador(a): Prof^a Dr^a Luciana Rossini Pinto
Co-orientador(a): Prof^o Dr^o Tiago Santana Balbuena**

**Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias -
UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.**

**Jaboticabal - SP
2º Semestre/2024**

S912r Silva, Felipe Brussolo da
Relação de características morfológicas das gemas de cana-de-açúcar
(*Saccharum spp.*) ligadas à resistência ao carvão (*Sporisorium scitamineum*) /
Felipe Brussolo da Silva. -- Jaboticabal, 2024
30 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Luciana Rossini Pinto Machado da Silva
Coorientador: Tiago Santana Balbuena

1. Cana-de-açúcar. 2. Pesquisa canavieira. 3. Plantas Resistencia a doenças
e pragas. I. Título.

FELIPE BRUSSOLO DA SILVA

RELAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS GEMAS DE CANA-
DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) LIGADAS À RESISTÊNCIA AO CARVÃO
(*Sporisorium scitamineum*)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Área de Concentração:

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Luciana Rossini Pinto
Coorientador: Prof. Dr. Tiago Santana Balbuena

Data da defesa: 29/08/2024

(X) Aprovado

() Reprovado

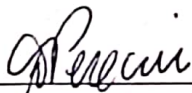
Banca Examinadora:



Prof.^a Dr.^a Luciana Rossini Pinto
Centro de Cana do Instituto Agrônômico – IAC/APTA, Ribeirão Preto, SP.



Dr.^a Luciana Oliveira Souza Anjos
Centro de Cana do Instituto Agrônômico – IAC/APTA, Ribeirão Preto, SP.



Prof. Dr. Dilermando Perecin
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 20/09/2024



Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta
Chefe do Departamento

“Faça as coisas o mais simples que você puder, porém não se restrinja às mais simples”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Daniela, pela disposição e luta diária, e pelo investimento na minha educação, que foi fundamental para chegar até aqui.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Câmpus de Jaboticabal e aos seus professores e funcionários, que me possibilitaram realizar uma graduação excelente, em uma instituição de renome.

Aos “Bambus”, um grupo de amigos que foi essencial durante minha passagem pela faculdade. Agradeço à Milena e à Maria Eduarda, duas pessoas incríveis que tive o prazer de ter lado, com que compartilhei momentos que levarei para a vida toda. Um agradecimento especial à Giovanna, sem dúvidas a pessoa de quem mais me aproximei, tornando os últimos anos da graduação muito mais leves, me motivando, apoiando e fazendo cada dia na faculdade ser mais leve e prazeroso.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Luciana Rossini Pinto, por ter me aceitado como seu orientado, me possibilitando aprender muito durante o estágio e desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dilermando Perecin e À Dr.^a Luciana Oliveira Souza Anjos, por terem aceitado compor a banca avaliadora, corrigindo, fazendo comentários e dando sugestões, tornando este trabalho mais bem elaborado.

Ao Centro de Cana do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC/APTA, onde realizei meu estágio e meu trabalho de conclusão de curso, e a toda sua equipe, por serem extremamente receptivos, companheiros e dedicados.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

| | |
|---|------|
| RESUMO | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 2. OBJETIVOS..... | 12 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 13 |
| 3.1. Obtenção das Plantas | 13 |
| 3.2. Obtenção dos Teliósporos de Carvão | 13 |
| 3.3. Preparo do inóculo e inoculação das gemas | 14 |
| 3.4. Plantio e avaliações..... | 14 |
| 3.4.1. Casa de vegetação | 14 |
| 3.4.2. Campo..... | 15 |
| 3.5. Definição dos grupos e caracterização morfológica das gemas .. | 15 |
| 3.6. Análise estatística..... | 18 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 18 |
| 4.1. Emissão de chicotes..... | 18 |
| 4.2. Caracterização das gemas | 19 |
| 4.3. Análises estatísticas | 21 |
| 4.3.1. Anovas e Testes LSD..... | 21 |
| 4.3.2. MCA | 24 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 28 |
| 6. REFERÊNCIAS | 28 |

RESUMO

O carvão, causado pelo fungo *Sporisorium scitamineum*, é uma das doenças mais danosas que acometem a cana-de-açúcar, podendo reduzir enormemente a produtividade e levar a perdas de produção acentuadas em variedades suscetíveis. Atualmente, a medida de controle mais eficiente para lidar com o carvão é por meio do uso de variedades de cana resistentes. Novos métodos para investigar a reação de novos clones de cana ao carvão estão sendo desenvolvidos e testados, com a finalidade de reduzir o tempo e esforço necessários para tal objetivo. Um método mais rápido para avaliar novos clones é por meio da análise da morfologia das gemas laterais da cana, por onde ocorre a infecção pelo carvão, as quais podem estar relacionadas com a resistência do tipo mecânica, impedindo que a infecção ocorra. Dessa forma, associar determinados tipos morfológicos de gemas à resistência ao carvão seria de grande valia quando se busca a redução das dificuldades e custos para a determinação desta característica. Os resultados obtidos por este estudo revelaram que, das oito características selecionadas, apenas duas, a saliência da gema e a inserção em relação ao anel de crescimento, foram estatisticamente diferentes entre os grupos experimentais, entretanto, a análise de correspondência múltipla revelou que não há relação direta entre grupo experimental e conjunto de características apresentados pelas gemas, indicando que as características selecionadas não demonstraram associação direta com a presença de uma barreira mecânica contra o carvão.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, Pesquisa canavieira, Plantas Resistencia a doenças e pragas

ABSTRACT

Smut, caused by the fungus *Sporisorium scitamineum*, is one of the most harmful diseases affecting sugarcane, potentially reducing productivity significantly and leading to substantial production losses in susceptible varieties. Currently, the most effective control measure for dealing with smut is through the use of resistant sugarcane varieties. New methods to investigate the reaction of new sugarcane clones to smut are being developed and tested, aiming to reduce the time and effort required for this purpose. A simple and quick method to evaluate new clones is through the analysis of the morphology of sugarcane lateral buds, where the smut infection occurs, which may be related to mechanical resistance, preventing infection. Therefore, associating certain morphological types of buds with smut resistance would be of great value when seeking to reduce the difficulties and costs of determining this trait. The results obtained from this study revealed that, out of the eight selected characteristics, only two, bud prominence and insertion in relation to the growth ring, were statistically different among the experimental groups. However, multiple correspondence analysis revealed that there is no direct relationship between the experimental group and the set of characteristics presented by the buds, indicating that the selected characteristics did not demonstrate a direct association with the presence of a mechanical barrier against smut.

Keywords: Sugarcane, Sugarcane research, Plants Disease and pest resistance

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das culturas mais importantes no mercado mundial, podendo ser destinada para diversas finalidades, onde as que apresentam maior destaque são a produção de álcool e açúcar. O Brasil ocupa mundialmente o posto de maior produtor de cana-de-açúcar e exportador de seus subprodutos, tendo produzido mais de 610 milhões de toneladas na safra 2022/23 (Conab, 2023), sendo a cultura que, nacionalmente, ocupou o primeiro lugar em quantidade de produção e o terceiro em valor de produção, ficando atrás apenas do milho e da soja (IBGE, 2023).

Tendo em vista seu grau de importância, há um grande investimento em pesquisas que buscam melhorar ainda mais a produção de cana-de-açúcar, seja visando aumentar a produtividade, a tolerância a fatores ambientais ou a resistência às doenças, sendo esse último um dos objetivos mais desafiadores de se atingir, visto a grande variedade de doenças as quais a cultura está exposta, assim como as individualidades e dificuldades de controle e manejo apresentadas por cada uma delas. No Brasil existem diversas instituições de pesquisas voltadas à cana-de-açúcar, como o Centro de Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) e o Centro de Tecnologia Canavieira, sendo os dois primeiros públicos e o último privado. Uma das doenças mais agressivas que acomete a cultura da cana-de-açúcar é o carvão, que causa perdas enormes de produtividade e qualidade (SIMON, E. D. T. et al., 2016).

O carvão é causado pelo fungo *Sporisorium scitamineum* (Syd.) M. Piepenbr., M. Stoll & Oberw. 2002, doença essa que acomete a planta quando os teliósporos (estruturas reprodutivas do fungo), que são dispersados principalmente pelo vento, entram em contato com tecidos meristemáticos da cana, seja no meristema apical ou nas gemas laterais, onde germinam, e, no caso das gemas laterais, passam a produzir hifas no interior das escamas, dando continuidade ao seu ciclo e se espalhando pela planta até atingir o meristema apical, onde há a formação de uma estrutura alongada coberta por teliósporos, que possuem a aparência de pó de carvão, chamada de “chicote”, sendo essa a característica mais

marcante da doença. Além do chicote, outros sintomas comuns da doença são brotos mais finos e eretos, com folhas também mais finas e a super brotação das gemas laterais. Havendo a formação do chicote, o colmo no qual ele foi formado não se desenvolve mais. Entretanto, mesmo estando infectada, também é possível que não haja a formação do chicote na cana-planta, podendo este apenas ser formado na cana-soca ou re-soca, a depender da presença de condições favoráveis para tal (SUNDAR, A. R., 2012).



Figura 1. Canas-de-açúcar com sintomas de carvão e chicotes apontados pelas setas vermelhas. A: touceira pouco desenvolvida com inúmeros perfilhos apresentando chicote; B: cana em casa de vegetação com emissão de chicote no colmo principal e no perfilho; C: chicote bem desenvolvido, com grande quantidade de teliosporos.

A forma mais eficiente de lidar com o carvão é por meio da utilização de variedades resistentes associadas ao manejo adequado, também há a opção pelo tratamento térmico, que envolve a submersão dos toletes de cana anteriormente

ao plantio em água à 52°C durante 30 minutos (SIMON, E. D. T. et al., 2016), o que pode acarretar um déficit na brotação das gemas. O processo para determinar a resposta de um novo clone ao carvão depende de testes realizados em campo, que, juntamente com o fato de serem muito trabalhosos, demandam muito tempo. Diversos estudos buscam por maneiras mais eficientes de realizar a identificação de clones resistentes de forma mais rápida e menos trabalhosa, como por exemplo métodos baseados em NIR (Near-Infrared Reflectance), que caracteriza os padrões químicos e morfológicos das escamas superficiais da gema da cana-de-açúcar, associando tais padrões à graus de susceptibilidade, como no trabalho de SABATIER D.R. et al., 2013, ou até mesmo usando as respostas fisiológicas da planta mediante a infecção pelo carvão, como realizado no trabalho de MARQUES J.P. et al., 2018. Tais métodos estão se mostrando muito promissores na caracterização do grau de susceptibilidade da cana ao carvão, entretanto demandam tecnologias específicas e análises laboratoriais complexas.

Portanto, este trabalho visa avaliar um método com menor grau de complexidade para a identificação de clones de cana-de-açúcar resistentes ao carvão, sendo este por meio das características morfológicas externas apresentadas pelas gemas da cana, as quais podem conferir resistência mecânica ao carvão, impedindo que a infecção ocorra através das mesmas. O método já foi testado em outros trabalhos, como os de HECTOR E. et al., 1992 e WALLER J. M., 1970, de forma que o segundo, mesmo se tratando de um estudo preliminar, apresentou resultados que mostram que tal método pode ser viável. Contudo, ainda não se tem muitos estudos semelhantes, havendo um déficit de resultados para que haja a comprovação da eficácia do método.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo buscar possíveis relações existentes entre características morfológicas das gemas de cana-de-açúcar com a resistência mecânica à infecção pelo fungo *Sporisorium scitamineum*, causador do carvão da cana-de-açúcar.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Obtenção das Plantas

Todas as plantas utilizadas neste estudo foram adquiridas do Centro de Cana do Instituto Agrônomo – IAC/APTA, na cidade de Ribeirão Preto, São Paulo, onde também foram realizadas todas as etapas deste trabalho. A tabela a seguir contém o conjunto de plantas utilizadas neste estudo.

Tabela 1. Clones e variedades de cana IAC utilizados no experimento. O número e letra entre parênteses à esquerda foi utilizado posteriormente como identificador.

| | | |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| (P1) IAC058137 | (P11) IAC096099 | (P21) IACCTC072361 |
| (P2) IAC072374 | (P12) IAC098047 | (P22) IACCTC077207 |
| (P3) IAC075205 | (P13) IAC098053 | (P23) IACCTC089052 |
| (P4) IAC077078 | (P14) IAC098108 | (P24) IACCTC092254 |
| (P5) IAC092128 | (P15) IAC098109 | (P25) IACCTC096123 |
| (P6) IAC092188 | (P16) IAC114053 | (P26) IACCTC096166 |
| (P7) IAC092212 | (P17) IAC114091 | (P27) IACSP015503 |
| (P8) IAC092238 | (P18) IACCTC055579 | (P28) IACSP021064 |
| (P9) IAC092701 | (P19) IACCTC059561 | (P29) IACSP046007 |
| (P10) IAC093912 | (P20) IACCTC065732 | (P30) IACSP047004 |

3.2. Obtenção dos Teliósporos de Carvão

Os teliósporos de carvão foram obtidos a partir da coleta de chicotes de um campo de produção de carvão, localizado no Centro de Cana do Instituto Agrônomo – IAC/APTA, onde, após coletados, os chicotes foram “descascados” visando a remoção de todas as partes vegetais além do meristema apical, secos em estufa a 37°C por 4 horas, raspados para que os teliósporos se desprendam do chicote, e por fim, o pó resultante foi peneirado com o uso de uma peneira de 200 mesh para a remoção de possíveis impurezas, acondicionado sacos de papel celofane e armazenados em um dissecador com sílica gel, mantido em geladeira. Após o processo de coleta e preparo dos teliósporos, foram realizados testes de viabilidade com os mesmos, pipetando uma alíquota de uma solução de 150µl com 10⁴ teliósporos/ml⁻¹ em lâminas de microscopia com meio de cultivo ágar-água a

1% (p/v), que foram incubadas em B.O.D, no escuro, à 28°C por 7 horas, posteriormente havendo a utilização de um microscópio óptico para contabilizar um total de 100 teliósporos, sendo a viabilidade definida pela porcentagem de teliósporos germinados contabilizados (BHUIYAN, S. A. et al., 2013). Todas as coletas utilizadas no preparo dos inóculos apresentaram taxa de germinação acima de 90%.

3.3. Preparo do inóculo e inoculação das gemas

Os inóculos de carvão foram preparados para a realização de dois métodos de inoculação diferentes, o primeiro deles sendo o método de punctura, que consistiu no preparo de uma solução líquida espessa, contendo 0,2g de teliósporos, 1,5ml de água destilada, e 2 µl de Tween 80® à 10%. Posteriormente a solução foi inoculada nas gemas previamente coletadas, individualizadas seguindo a metodologia de mudas pré-brotadas (MPB) (LANDEL, M. G. A. et al., 2012), por meio de duas perfurações realizadas com agulhas, nas regiões laterais médias das gemas, tomando cuidado para não ferir o embrião (FERREIRA, S.A, E COMSTOCK, J.C, 1989).

O segundo método de inoculação utilizado foi por imersão, no qual foi preparado 50 litros de solução aquosa, adicionando-se 21,8 gramas de teliósporos em 50 litros de água destilada, atingindo a concentração de 5×10^5 teliósporos/ml⁻¹, aquecida para se igualar à temperatura ambiente, na qual os mini toletes foram submersos por 15 minutos. Todas as plantas tiveram 50 mini toletes inoculados por cada método de inoculação, totalizando 100 mini toletes inoculados por planta. Não houve tratamento térmico das gemas anterior às inoculações.

3.4. Plantio e avaliações

3.4.1. Casa de vegetação

Logo após as inoculações, os mini toletes foram plantados em bandejas com 50 células (5x10), preenchidas com substrato. Após o plantio das gemas, as bandejas foram umidificadas e levadas para uma câmara de brotação durante 48 horas, à 30°C, umidade relativa acima de 85% e ausência de iluminação. Passadas

as 48 horas, a temperatura foi elevada, sendo mantida em média à 35°C por uma semana. Após esse período, havendo o início da brotação, as bandejas foram transportadas para a casa de vegetação, onde passaram a ser avaliadas a partir do aparecimento do primeiro chicote, que ocorreu em aproximadamente 60 dias após a inoculação. As avaliações subsequentes ocorreram durante cerca de 6 meses e meio (198 dias), havendo identificação e remoção das plantas que emitiram chicotes durante esse período. A poda, adubação, e aplicação de inseticida foram realizadas conforme necessário.

3.4.2. Campo

Para a realização do plantio em campo, após cerca de 3 semanas (20 dias) do início das avaliações, 4 mudas de cada planta foram retiradas e realocadas para novas bandejas, dispostas no ambiente externo à casa de vegetação para passarem por um período de aclimação antes de serem levadas ao campo, sendo mantido o ciclo de irrigação e corte conforme necessário. Após decorrer aproximadamente 1 mês de aclimação (27 dias), as mudas foram plantadas manualmente com o auxílio de matracas, passando a ser avaliadas 10 dias depois do plantio, visto que já havia aparecimento de chicotes. As avaliações subsequentes ocorreram durante 6 meses, onde, inicialmente, ao haver a identificação de chicotes, a planta em questão era removida da parcela, posteriormente as plantas que vieram a emitir chicotes passaram a ser identificadas com o uso de um faixa tarjada para evitar contagem repetida. Houve aplicação de herbicida conforme necessário.

Os plantios e avaliações, tanto em casa de vegetação quanto no campo, ocorreram concomitantemente e em conjunto com outro experimento, também relacionado ao carvão, assim, o dia de início das avaliações se deu pelo aparecimento do primeiro chicote no outro experimento, que ocorreu 13 dias (duas avaliações) antes do primeiro chicote ser contabilizado para este experimento.

3.5. Definição dos grupos e caracterização morfológica das gemas

Para a caracterização morfológica das gemas, foram selecionadas apenas as plantas que emitiram chicotes, desconsiderando-se a quantidade ou ambiente (casa de vegetação ou campo), totalizando 18 plantas, os quais foram divididos em

dois grupos, sendo o primeiro grupo (1) composto por 10 das 18 plantas, os quais emitiram chicote apenas quando inoculados pelo método de punctura, e o segundo grupo (2) composto pelos 8 plantas restantes, sendo os que emitiram chicote em ambos os métodos de inoculação. As 12 plantas que não emitiram chicote foram desconsideradas para este estudo.

A caracterização morfológica foi realizada coletando uma gema da região central de cada região do colmo (base, meio e topo), de cada uma das 4 touceiras presentes nas parcelas do campo, totalizando 12 gemas, 4 de cada região, a serem caracterizadas por planta. Cada um dos 4 colmos foi coletado em dias diferentes, definindo assim as repetições do experimento. A seleção do colmo foi feita com base em sua altura e na presença de doenças e/ou parasitas, sendo escolhidos aqueles com maior altura e menor presença de doenças/parasitas. Após coletados, cada colmo foi medido e dividido em 3 segmentos de tamanho próximos, cada um representando uma das 3 regiões. Em seguida, as gemas mais centrais de cada segmento foram individualizadas com auxílio de uma guilhotina, seccionado nas regiões logo abaixo e acima do nó, sendo essa segunda definida arbitrariamente para cada corte.



Figura 2. Seleção e individualização das gemas. A: medição do colmo; B: colmo seccionado em 3 partes de tamanhos próximos; C: nó (gema) selecionado de uma seção do colmo sendo individualizado; D: nós individualizados e identificados.

As características avaliadas foram selecionadas com base nos “Descritores mínimos de cana-de-açúcar” propostos pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e nos trabalhos de HECTOR E. *et al.*, 1992 e WALLER, J. M., 1970. Para cada uma das características foi atribuído um valor numérico que representa cada uma das possibilidades, de forma a facilitar as caracterizações, como demonstrado pela tabela 2.

Tabela 2. Conjunto das características apresentadas por cada variável e suas respectivas notas.

| Variáveis | A | B | C | D | E | F | G | H |
|-----------------------|--------------|--------------|-----------|------------|---------------|-------------|--------------|----------------|
| Classificação e Notas | Ausente - 1 | Ausente - 1 | Pouca - 1 | Abaixo - 1 | Apical - 1 | Ausente - 1 | Ausente - 1 | Triangular - 1 |
| | Presente - 2 | Raso - 2 | Média - 2 | Igual - 2 | Subapical - 2 | Base - 2 | Estreita - 2 | Ovalada - 2 |
| | ----- | Mediano - 3 | Muita - 3 | Acima - 3 | ----- | Apice - 3 | Média - 3 | Obovada - 3 |
| | ----- | Profundo - 4 | ----- | ----- | ----- | Torno - 4 | Larga - 4 | Pentagonal - 4 |
| | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | Romboide - 5 |
| | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | Redonda - 6 |
| | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | Oval - 7 |
| | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | Retangular - 8 |
| | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | Bicuda - 9 |

Presença da canaleta (A), profundidade da canaleta (B), saliência da gema (C), inserção da gema em relação ao anel de crescimento (D), posição do poro da gema (E), distribuição de pelos na gema (F), almofada (G), tipo de gema (H).

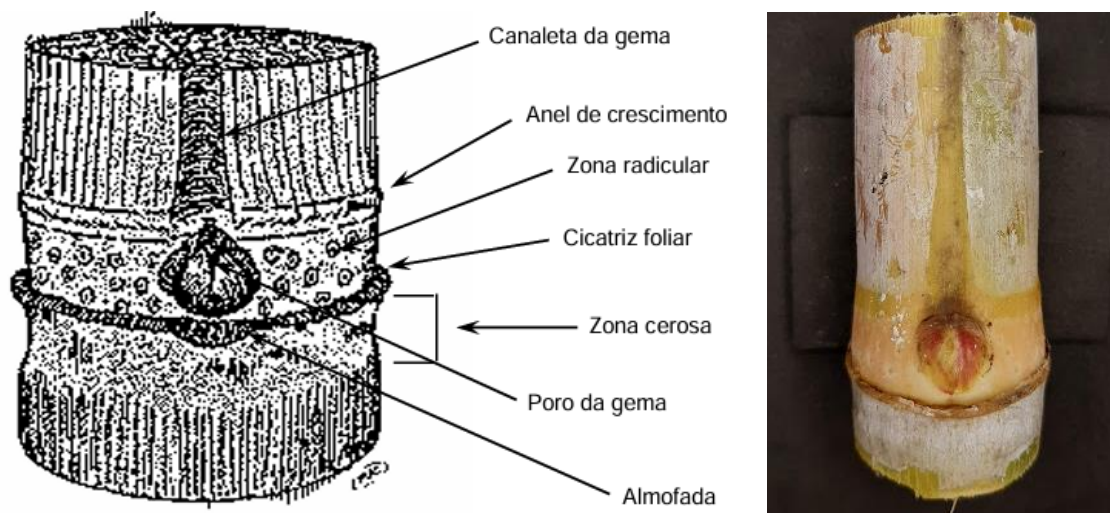


Figura 3. Detalhamento do nó da cana-de-açúcar. Fonte: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1998.

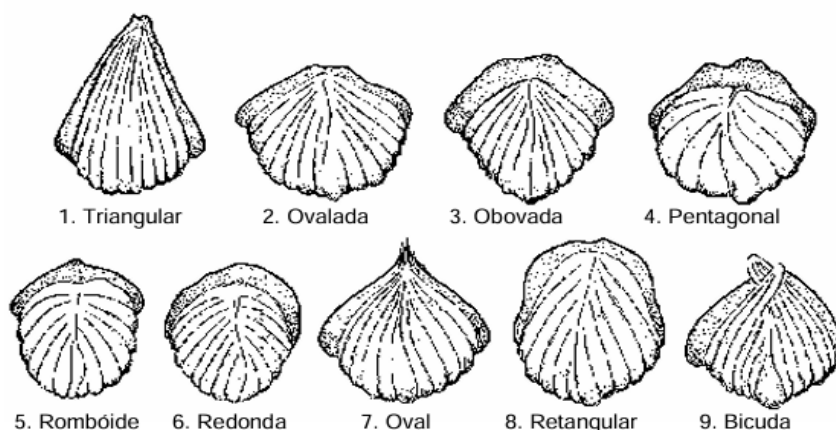


Figura 4. Tipos (formato) de gemas de cana-de-açúcar. Fonte: BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1998.

3.6. Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variância (por medida e conjunta), realizadas individualmente para cada fonte de variação ou interação, a partir do software R, versão 4.2.3. Ainda pelo R, foram realizados testes de média (LSD) e a análise de correspondência múltipla (MCA), com auxílio dos pacotes Agricolae, (v1.3-5) e FactoMineR (v2.9) respectivamente. Para a extração e visualização dos resultados da MCA, foi utilizado o pacote Factoextra (v1.0.7).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Emissão de chicotes

Com os dados referentes à aparição de chicotes, foram feitos gráficos, um para cada grupo, a fim de proporcionar uma melhor visualização e comparação dos resultados, com a contagem de chicotes sendo dividida pelo método de inoculação, assim como por ambiente. Das 30 plantas iniciais, as 18 que apresentaram chicotes foram: IAC058137, IAC075205, IAC077078, IAC092212, IAC092238, IAC092701, IAC093912, IAC096099, IAC098047, IAC098053, IAC114053, IAC114091, IACCTC055579, IACCTC059561, IACCTC065732, IACCTC072361, IACSP046007, IACSP047004.

Gráfico 1. Número de chicotes emitidos por planta do grupo 1 em cada ambiente experimental.

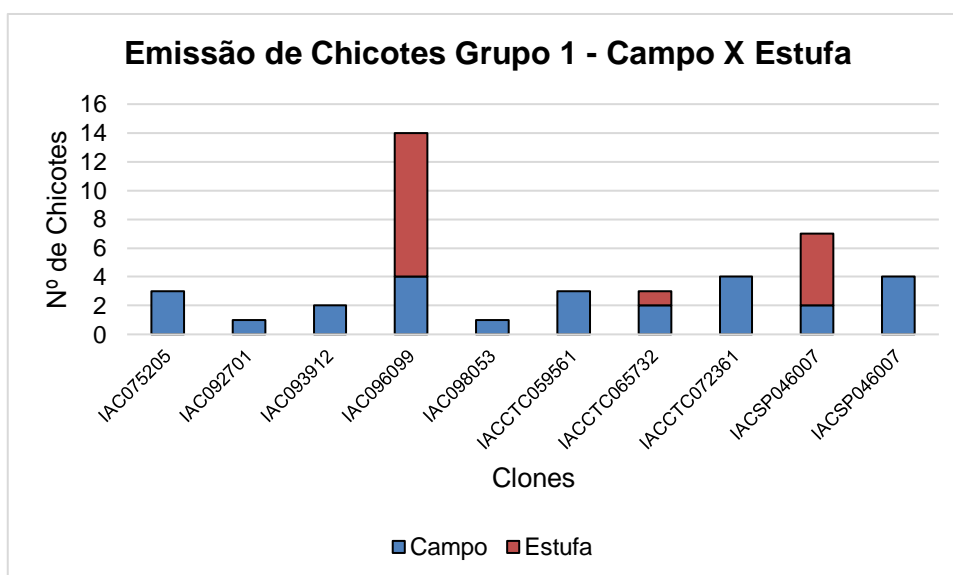
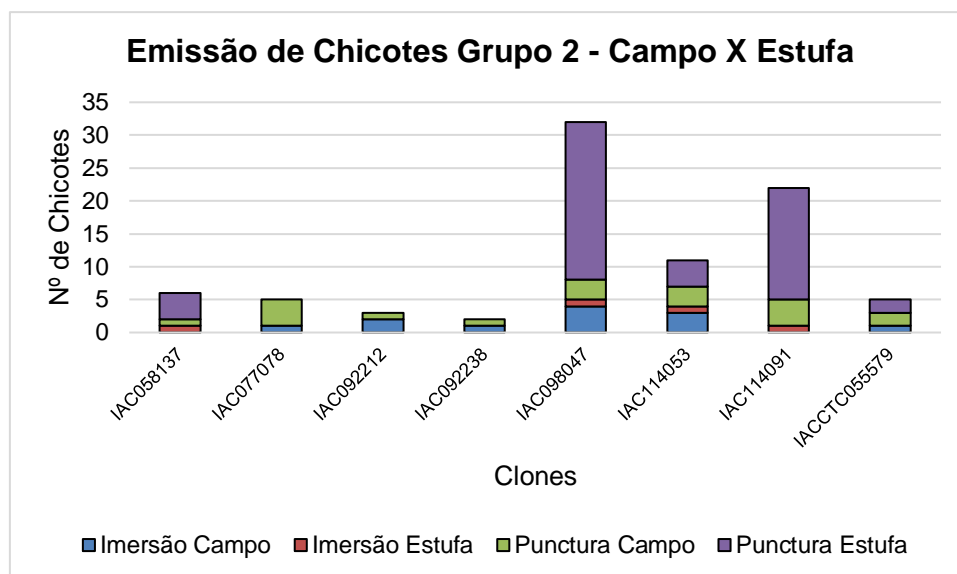


Gráfico 2: Número de chicotes emitidos por planta do grupo 2 em cada ambiente experimental e tipo de inoculação.



Como é possível observar nos gráficos 1 e 2, o número de chicotes emitidos pelas plantas quando inoculadas pelo método de punctura foi superior, tanto em casa de vegetação quanto no campo, do que quando inoculadas pelo método de imersão, havendo apenas uma planta (IAC0922212) que apresentou, no campo, um único chicote a mais na imersão do que na punctura. Isso está relacionado ao fato do método de inoculação por punctura “atravessar” as possíveis barreiras externas existentes na gema, depositando os teliósporos já em seu interior, o que facilita o processo de infecção.

Os gráficos 1 e 2 também revelam a diferença na quantidade de plantas que emitiram chicotes em cada ambiente, de forma que todas as plantas pertencentes aos dois grupos emitiram chicote no campo em pelo menos um dos métodos de inoculação, enquanto 7 das 10 plantas do grupo 1, e 3 das 8 do grupo 2 emitiram chicotes apenas no campo para ambas as inoculações, não havendo nenhuma planta que emitiu chicote apenas em casa de vegetação da mesma forma. Nenhuma planta emitiu chicote quando inoculada apenas pelo método de imersão.

4.2. Caracterização das gemas

A seguir está disposto um compilado dos gráficos mostrando a contagem de gemas com cada característica em cada uma das fontes de variação, separados

em grupo experimental, posição da gema e repetição, a fim de possibilitar uma melhor comparação entre os resultados.

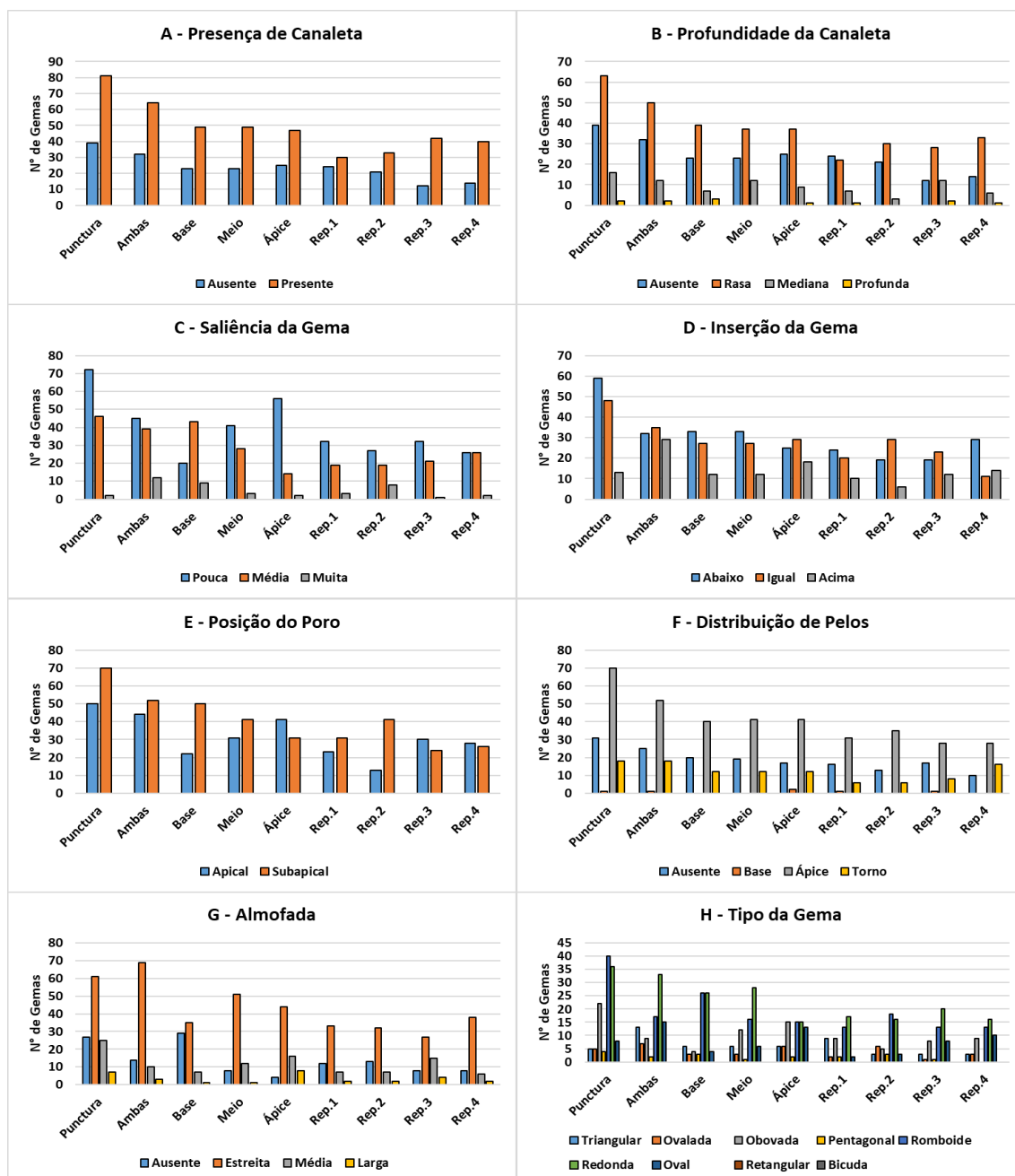


Figura 5. Conjunto de gráficos contendo o número de gemas que apresentou cada característica de acordo com a fonte de variação.

Nos gráficos podemos observar que, no conjunto de gemas avaliadas, há uma predominância na presença de canaletas, assim como canaletas mais rasas. A maioria das gemas são pouco salientes, com um número significativo de gemas com saliência mediana, sendo que o maior número de gemas mais salientes está concentrado na base do colmo, e as menos salientes no ápice, devido à idade das

mesmas. Quanto à inserção da gema, as gemas do grupo 1 (punctura) estão concentradas abaixo ou na mesma linha do anel de crescimento, o que também é válido para as gemas da base e do meio, enquanto as gemas do grupo 2 (ambas) estão mais bem distribuídas, assim como nas gemas do ápice. Os poros das gemas se concentraram mais na região subapical, sendo que apenas nas gemas do ápice a maioria apresentou poros apicais. A distribuição de pelos nas gemas se concentrou majoritariamente no topo das gemas, sendo que quase não houve gemas com pelos na base. Quanto à almofada, a maioria das gemas apresentou uma almofada estreita, sendo que apenas nas gemas da base o número de gemas com almofadas estreitas e sem almofadas foi próximo. Por fim, o tipo de gema foi extremamente variado, com a maioria sendo Obovada, Romboide ou Redonda e um número menor sendo Triangular, Ovalada, Pentagonal ou Oval, sendo que nenhuma foi definida como Retangular ou Bicuda.

4.3. Análises estatísticas

4.3.1. Anovas e Testes LSD

Com as notas dadas a cada característica das gemas, foram realizadas análises de variância, tanto para fontes de variação individuais quanto para a interação das mesmas, com explicado pela coluna “Fontes de variação” na tabela 3.

Por meio das análises de variância e testes LSD, foi possível observar que o conjunto de plantas apresentou variabilidade entre si para todas as variáveis selecionadas, com diferença significativa a <1%, como demonstrado pela tabela 4.

As variáveis A, B e E apresentaram diferenças significativas entre as repetições, com níveis de significância de 5%, 5% e 1% respectivamente. As variáveis C, E e G apresentaram diferenças significativas entre as posições da gema, com níveis de significância a <1%, 1% e <1% respectivamente. As variáveis C e D foram as únicas a apresentar diferenças significativas entre os grupos, com níveis de significância a 1% e <1% respectivamente.

Tabela 3. Resumo das análises de variância por fonte de variação e suas interações

| Fontes de variação | A | B | C | D | E | F | G | H |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Plantas | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** | *** |
| Repetição | * | * | ns | ns | ** | ns | ns | ns |
| Posição | ns | ns | *** | ns | ** | ns | *** | ns |
| Grupo | ns | ns | ** | *** | ns | ns | ns | ns |
| Rep*Posição | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| Rep*Grupo | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |
| Posição*Grupo | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns |

A – presença de canaleta; B – profundidade da canaleta; C – saliência da gema; D – inserção da gema em relação ao anel de crescimento; E – posição do poro da gema; F – distribuição de pelos na gema; G – almofada e H – formato da gema. Os símbolos “ns”, “*”, “**” e “***” significam, respectivamente: não significativa, significativa à 5%, 1% e <1%.

As tabelas 5, 6 e 7 apresentam os resultados dos testes LSD realizados para agrupar as fontes de variação em relação às variáveis que apresentaram diferenças significativas de pelo menos 5%. Para repetições, as variáveis A, B e E apresentaram diferenças significativas, sendo na variável A as terceira e quarta repetições apresentaram as maiores médias, significando uma maior presença de canaletas, enquanto a primeira repetição apresentou o menor valor (menor presença de canaletas), já segunda repetição apresentou um valor mediano. Para a variável B a terceira repetição apresentou a maior média, ou seja, as maiores profundidades de canaleta, seguida pela quarta com um valor mediano, e as primeira e segunda repetições tiveram os menores valores, significando a presença de canaletas menos profundas assim como maior ausência de canaletas. Já na variável E, a segunda repetição foi a única que se diferenciou apresentando uma média maior que as demais, sendo a que apresentou maiores quantidades de poros localizados na região subapical da gema. Tais diferenças podem ser explicadas tanto por individualidades das plantas entre as repetições, quanto por possíveis erros de caracterização.

Em relação às posições, as variáveis C, E e G apresentaram diferenças significativas, de forma que cada uma das posições diferiu das demais. Para C e E, a ordem decrescente das posições, com base nas médias calculadas, foram baixa > média > alta, resultado oposto para a variável G. Tal resultado revela que as

gemas de regiões mais baixas no colmo são mais saliente (C) e apresentam seus poros mais concentrados na região subapical (E), enquanto as gemas de regiões mais altas tendem a serem menos salientes e com poros mais concentrados na região apical, o que é congruente com o fato de que as gemas mais baixas são mais velhas, enquanto as do topo são muito jovens, explicação essa também condizente com os resultados da variável G, com as gemas do topo apresentando mais almofadas, assim como almofadas mais largas quando em relação às gemas da base, devido ao fato de serem mais jovens, menores e menos salientes.

Por fim, as diferenças presentes entre os grupos de estudo foram significantes apenas para as variáveis C e D, de forma que ambas tiveram as gemas do grupo 2 (ambas as inoculações) apresentando maiores valores para tais variáveis em relação ao grupo 1, significando que as gemas das plantas que emitiram chicotes quando inoculadas por ambos os métodos (imersão e punctura) são mais salientes e tendem a se estender mais em relação ao anel de crescimento, de forma geral significando que são gemas maiores e mais salientes, ou com maior superfície de contato do que àquelas provenientes de plantas que emitiram chicotes quando inoculadas apenas pelo método de punctura. Esse resultado é congruente com o resultado de Waller J. M., 1970, que observou a presença de forte correlação entre a susceptibilidade ao carvão e o tamanho da gema.

Tabela 4. Agrupamentos com base nos valores médios de cada planta, para todas as variáveis.

| A | | | B | | | C | | | D | | | E | | | F | | | G | | | H | | |
|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|-------|
| ID | M. | Grp. | ID | M. | Grp. | ID | M. | Grp. | ID | M. | Grp. | ID | M. | Grp. | ID | M. | Grp. | ID | M. | Grp. | ID | M. | Grp. |
| P10 | 2.00 | a | P21 | 2.67 | a | P17 | 2.17 | a | P3 | 2.83 | a | P18 | 2.00 | a | P3 | 3.67 | a | P13 | 3.25 | a | P20 | 6.08 | a |
| P3 | 2.00 | a | P3 | 2.58 | ab | P1 | 2.08 | ab | P1 | 2.83 | a | P13 | 2.00 | a | P8 | 3.42 | ab | P21 | 2.50 | b | P18 | 6.00 | ab |
| P21 | 2.00 | a | P1 | 2.33 | abc | P16 | 1.92 | ab | P8 | 2.42 | ab | P30 | 2.00 | a | P13 | 3.25 | abc | P3 | 2.42 | bc | P16 | 5.75 | abc |
| P30 | 2.00 | a | P30 | 2.25 | abcd | P19 | 1.92 | ab | P7 | 2.33 | bc | P11 | 2.00 | a | P1 | 3.25 | abc | P30 | 2.42 | bc | P12 | 5.42 | abcd |
| P4 | 2.00 | a | P17 | 2.25 | abcd | P21 | 1.67 | bc | P10 | 2.00 | bcd | P4 | 1.92 | ab | P12 | 3.25 | abc | P8 | 2.42 | bc | P11 | 5.17 | abcd |
| P17 | 2.00 | a | P7 | 2.17 | bcd | P30 | 1.67 | bc | P17 | 1.92 | cd | P20 | 1.83 | abc | P18 | 3.00 | bcd | P1 | 2.17 | bcd | P19 | 5.08 | abcd |
| P1 | 1.92 | a | P10 | 2.08 | cd | P4 | 1.67 | bc | P12 | 1.83 | de | P16 | 1.75 | abcd | P11 | 3.00 | bcd | P12 | 2.17 | bcd | P30 | 5.00 | abcde |
| P13 | 1.83 | a | P4 | 2.08 | cd | P7 | 1.42 | cd | P18 | 1.75 | def | P17 | 1.75 | abcd | P20 | 3.00 | bcd | P29 | 2.08 | bcde | P29 | 4.92 | abcde |
| P7 | 1.83 | a | P12 | 2.00 | cd | P12 | 1.42 | cd | P30 | 1.75 | def | P9 | 1.67 | bcd | P9 | 3.00 | bcd | P18 | 2.00 | cdef | P4 | 4.83 | abcde |
| P12 | 1.83 | a | P13 | 1.83 | de | P18 | 1.33 | cd | P9 | 1.58 | defg | P29 | 1.58 | cd | P29 | 3.00 | bcd | P7 | 2.00 | cdef | P21 | 4.75 | bcde |
| P9 | 1.75 | ab | P9 | 1.83 | de | P20 | 1.33 | cd | P19 | 1.58 | defg | P21 | 1.50 | de | P10 | 2.75 | cd | P20 | 1.92 | def | P1 | 4.75 | bcde |
| P8 | 1.50 | bc | P8 | 1.50 | ef | P9 | 1.33 | cd | P16 | 1.42 | efg | P12 | 1.50 | de | P16 | 2.67 | cd | P9 | 1.92 | def | P17 | 4.75 | bcde |
| P20 | 1.42 | cd | P20 | 1.42 | efg | P29 | 1.33 | cd | P13 | 1.42 | efg | P7 | 1.25 | ef | P7 | 2.58 | d | P16 | 1.83 | def | P13 | 4.50 | cdef |
| P29 | 1.42 | cd | P29 | 1.42 | efg | P13 | 1.25 | cd | P21 | 1.33 | fg | P19 | 1.17 | f | P21 | 1.83 | e | P4 | 1.83 | def | P9 | 4.50 | cdef |
| P19 | 1.33 | cde | P19 | 1.33 | fg | P3 | 1.25 | cd | P11 | 1.25 | g | P1 | 1.17 | f | P17 | 1.58 | e | P17 | 1.75 | def | P3 | 4.17 | def |
| P18 | 1.17 | def | P18 | 1.25 | fg | P11 | 1.25 | cd | P20 | 1.25 | g | P3 | 1.08 | f | P4 | 1.50 | e | P10 | 1.67 | efg | P8 | 3.75 | ef |
| P16 | 1.08 | ef | P16 | 1.08 | fg | P8 | 1.25 | cd | P4 | 1.25 | g | P10 | 1.00 | f | P19 | 1.50 | e | P19 | 1.58 | fg | P10 | 3.25 | fg |
| P11 | 1.00 | f | P11 | 1.00 | g | P10 | 1.17 | d | P29 | 1.17 | g | P8 | 1.00 | f | P30 | 1.25 | e | P11 | 1.25 | g | P7 | 2.25 | g |

A – presença de canaleta; B – profundidade da canaleta; C – saliência da gema; D – inserção da gema em relação ao anel de crescimento; E – posição do poro da gema; F – distribuição de pelos na gema; G – almofada e H – formato da gema.

Tabela 5. Agrupamento com base nos valores médios das repetições.

| Repetição | A | B | E |
|-----------|----|----|---|
| 1 | b | b | b |
| 2 | ab | b | a |
| 3 | a | a | b |
| 4 | a | ab | b |

A – presença de canaleta; B – profundidade da canaleta; E – posição do poro da gema.

Tabela 6. Agrupamento com base nos valores médios das posições.

| Posição | C | E | G |
|---------|---|----|---|
| Baixa | a | a | c |
| Meio | b | ab | b |
| Alta | c | b | a |

C – saliência da gema; E – posição do poro da gema; G – almofada.

Tabela 7. Agrupamento com base nos valores médios dos grupos.

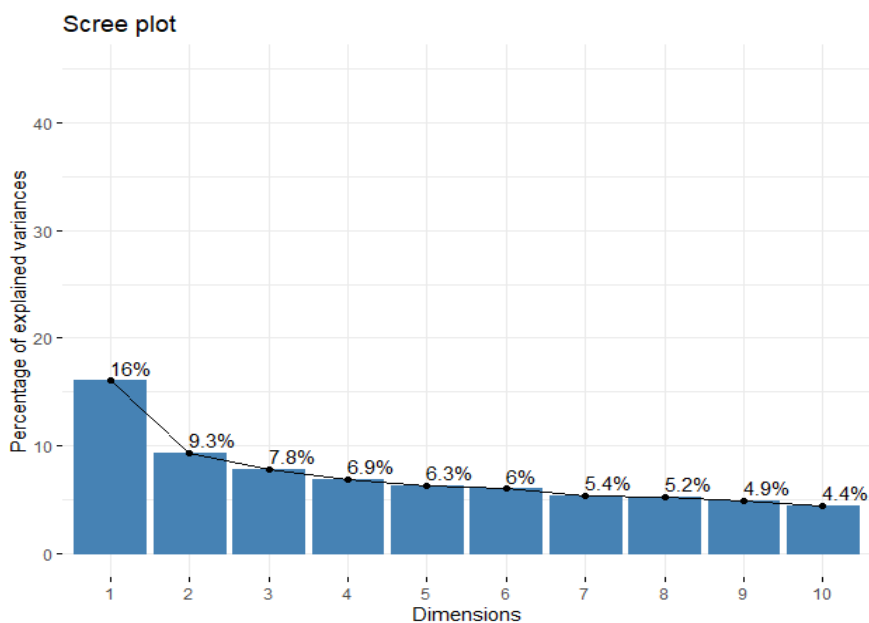
| Grupo | C | D |
|----------|---|---|
| Ambas | a | a |
| Punctura | b | b |

C – saliência da gema; D – inserção da gema em relação ao anel de crescimento.

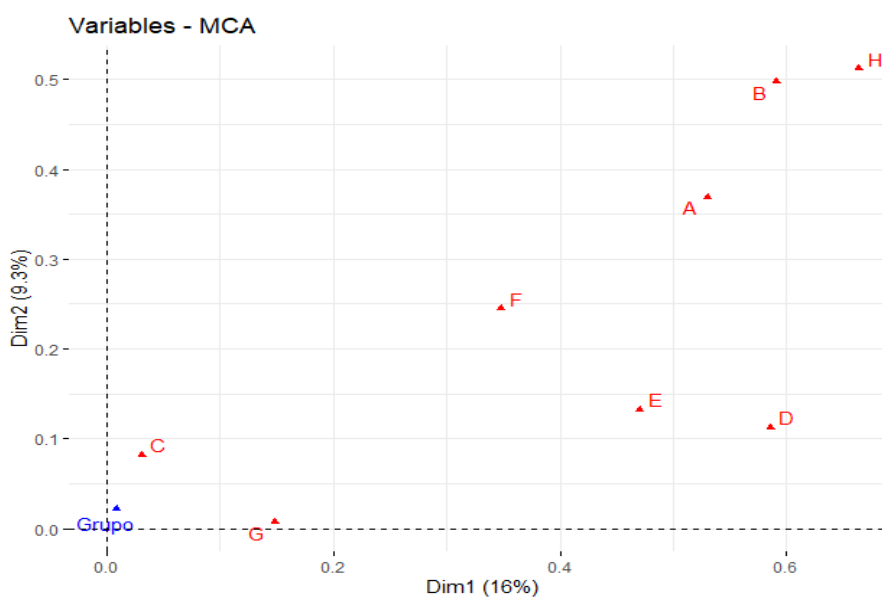
4.3.2. MCA

A análise de correspondência múltipla (MCA), assim como a análise de componentes principais (PCA), é uma variação da análise de correspondência (CA), a qual tem como função avaliar o quanto variáveis categóricas interagem entre si, assim como o quanto os indivíduos do estudo se assemelham (AYELE, D. et al., 2015; ABDI; WILLIAMS, 2010). O gráfico 4 mostra a porcentagem da variabilidade que é explicada por cada dimensão do MCA (até a décima), mostrando que apenas 25.3% da variabilidade é explicada pelas dimensões 1 e 2 (16% e 9.3% respectivamente), atingindo 33.1% ao adicionar a terceira dimensão. A plotagem 1 mostra a correlação de cada uma das 8 variáveis com as dimensões 1 e 2, nele é possível observar que nenhuma das variáveis apresentou alta correlação com as duas primeiras dimensões, com as variáveis H e B tendo uma correlação média com ambas as dimensões e as variáveis A e D tendo uma correlação média com a dimensão 1.

Gráfico 3. Porcentagem da variação explicada pelas dimensões da análise de correspondência múltipla.



Plotagem 1. Correlação das variáveis com a primeira e segunda dimensões da análise de correspondência múltipla.



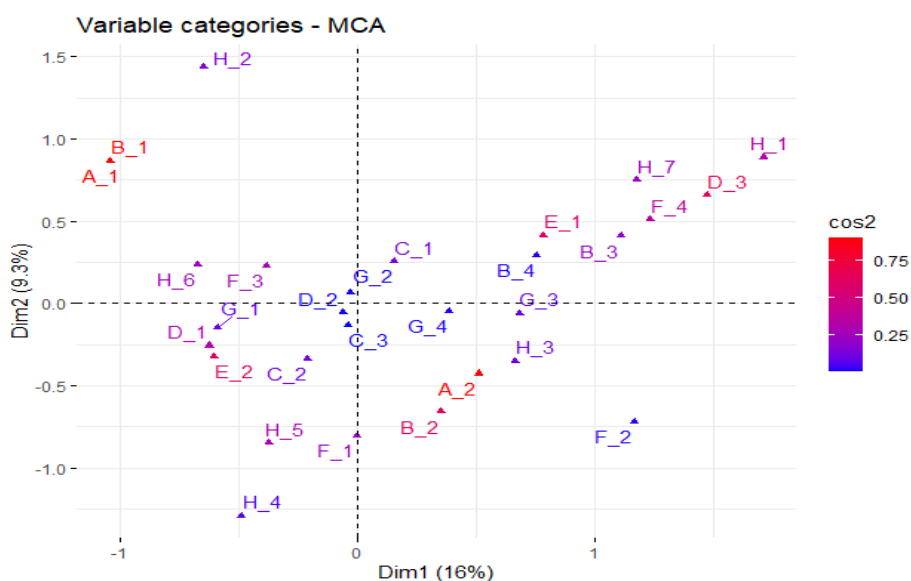
A – presença de canaleta; B – profundidade da canaleta; C – saliência da gema; D – inserção da gema em relação ao anel de crescimento; E – posição do poro da gema; F – distribuição de pelos na gema; G – almofada e H – formato da gema.

Também é possível plotar as variáveis categóricas e os indivíduos em um plano bidimensional, sendo assim mais fácil de observar a relação entre eles, como demonstrado pelas plotagens 2 e 3, além de avaliar o quão bem representado pelas duas primeiras dimensões ele são, por meio dos valores do cosseno quadrado

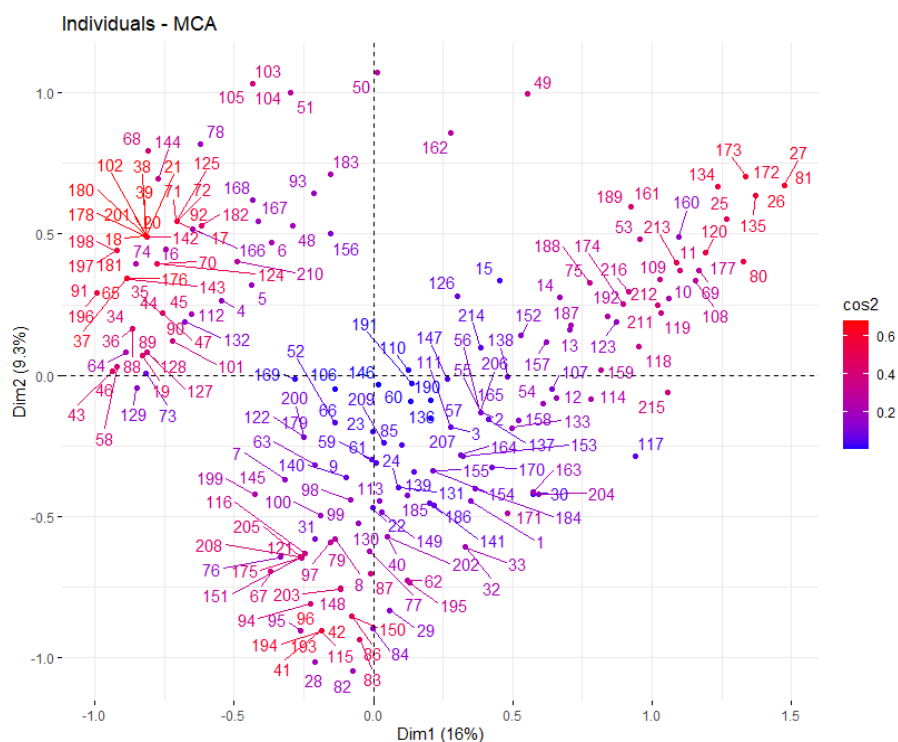
(Cos2) calculados pelo programa. A análise de ambos os mapas pode ser feita de forma semelhante, sendo que para as variáveis categóricas, quanto mais próximas estiverem, mais correlacionadas elas são, e quanto mais distantes, menos, também podendo ter correlação inversa caso estiverem em quadrantes opostos, já para os indivíduos, maior proximidade indica uma maior semelhança entre suas características, e uma maior distância também indica uma maior diferença. Quanto maior o valor de Cos^2 (0-1), ou seja, quanto mais próximo da cor vermelha o ponto estiver, mais bem representado ele estará no mapa, assim, em ambas as plotagens é possível observar que uma pequena parcela das variáveis categóricas e dos indivíduos está bem representado, outra pequena parcela está representada de forma mediana e uma última parcela está mal representada.

Vale ressaltar que na plotagem 3 estão representadas todas as plantas, com suas repetições e separações por posição, ou seja, uma única planta possui 12 repetições no mapa, por exemplo os números 1, 2 e 3 correspondem as gemas da base, meio e ápice da primeira repetição da primeira planta, os números 55, 56 e 57, da segunda repetição, números 109, 110 e 111, da terceira repetição e os números 163, 164 e 165, da quarta repetição. Dessa forma, com cada repetição contendo 54 gemas (18 plantas em 3 posições), basta somar ou subtrair 54 ao número da gema desejada para encontrá-la no mapa. As identificações foram substituídas por números para evitar a poluição visual do mapa.

Plotagem 2. Relação entre as variáveis categóricas (notas) e qualidade da representação.

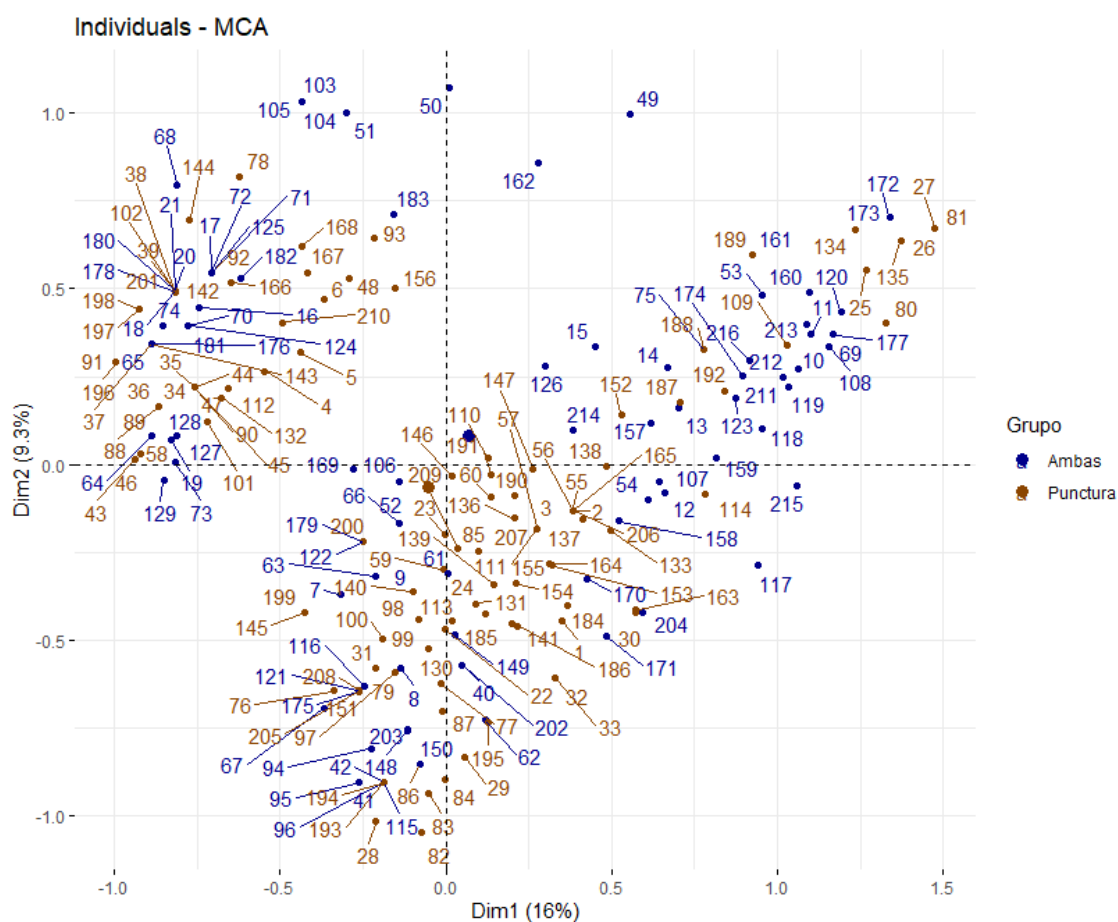


Plotagem 3. Relação entre as gemas avaliadas e qualidade da representação.



Também observando a plotagem 3, é possível observar uma clara divisão das gemas em dois grupos, com o grupo localizado no quadrante superior esquerdo apresentando grande parte de seus indivíduos mais bem representados nas duas primeiras dimensões do que o outro grupo. Mesmo havendo essa divisão dos indivíduos, quando é observado a qual grupo experimental eles pertencem (grupo 1 - Punctura ou grupo 2 - Ambas), nota-se que o fator que atuou agrupando esses indivíduos na análise de correspondência múltipla não foram os grupos experimentais, pois indivíduos de ambos os grupos experimentais compõem os dois grupos observados na plotagem 3, como demonstrado pela plotagem 4. Ao comparar os indivíduos que compõem cada agrupamento, é possível notar que o fator que atuou agrupando-os foi a variável A (canaleta da gema), de forma que o grupo menor no quadrante superior esquerdo é composto pelos indivíduos que não apresentaram canaleta da gema (A - 1), enquanto o outro grupo, maior, é composto pelos indivíduos que apresentaram canaleta da gema (A - 2).

Plotagem 4. Relação entre as gemas e separação por grupo experimental.



5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos não foi possível definir precisamente as relações das características entre si, suas relações com o grupo experimental. Mesmo sendo revelado pela análise de variância que houve diversidade na população de plantas estudadas, um resultado melhor poderia ser obtido com uma população de estudo maior. Outro ponto que poderia auxiliar na precisão dos resultados seria a utilização de plantas determinadas como padrão de resistência e susceptibilidade ao carvão.

6. REFERÊNCIAS

ABDI, H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 4, p. 433–459, 30 jun. 2010.

AYELE, D. et al. Multiple correspondence analysis as a tool for analysis of large health surveys in African settings. **African Health Sciences**, v. 14, n. 4, p. 1036, 16 jan. 2015.

BHUIYAN, S. A. et al. Mechanism of resistance in Australian sugarcane parent clones to smut and the effect of hot water treatment. **Crop and Pasture Science**, v. 64, n. 9, p. 892-900, 2013.

BHUIYAN, S. A. et al. Sugarcane Smut, Caused by *Sporisorium scitamineum*, a Major Disease of Sugarcane: A Contemporary Review. **Phytopathology®**, v. 111, n. 11, p. 1905–1917, nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **DESCRITORES MÍNIMOS DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum sp.*):** Mapa, 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4977-producao-de-cana-chega-a-610-1-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23-com-melhora-na-produtividade-nas-lavouras#:~:text=e%20Promo%C3%A7%C3%A3o%20Institucional->. Acesso em: 25 nov. 2023.

FERREIRA, S.A, E COMSTOCK, J.C (1989) Smut. In: Ricaud, .; Egan, BT .; Gillaspie Jr., AG Hughes, CG., .Diseases of sugarcane – Major disease. Amsterdã: **Elsevier**, p. 211-229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42797-7.50018-1>

HECTOR E. et al. Experimental evidence for the presence of different smut resistance mechanisms in sugarcane. In: Napompeth B, editor. **XXI Congress of the International Society of Sugarcane Technologists**. Bangkok: International Society of Sugarcane Technologists; 1992. p. 565–73.

IBGE. Produção Agropecuária. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 25 nov. 2023.

LANDELL, M. G. A. et al. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2012. 16p. (Documento IAC, n. 109).

MARQUES, J. P. R. et al. (2018) Sugarcane Cell Wall-Associated Defense Responses to Infection by *Sporisorium scitamineum*. **Front. Plant Sci.** 9:698. doi: 10.3389/fpls.2018.00698

R Core Team (2023). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SABATIER, D. R. et al. **Near-infrared reflectance (nir) spectroscopy as a high-throughput screening tool for pest and disease resistance in a sugarcane breeding programme.** 2014.

SIMON, E. D. T. et al. (2016). Doenças da Cana-de-açúcar. **Embrapa Clima Temperado-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E).** Acesso em: 10/01/2024.

SUNDAR, A. R. et al. A mini-review on smut disease of sugarcane caused by *Sporisorium scitamineum*. **Botany**, v. 2014, p. 226, 2012.

SU, Y. et al. Early Selection for Smut Resistance in Sugarcane Using Pathogen Proliferation and Changes in Physiological and Biochemical Indices. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 28 jul. 2016.

WALLER, J. M. **Sugarcane smut (*Ustilago scitaminea*) in Kenya.** v. 54, n. 3, p. 405–414, 1 jun. 1970.