



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



LUCAS PORPHIRIO DE ALMEIDA

**IMPACTO DO TAMANHO DE PARCELAS NA RESPOSTA DE
GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR ÀS FERRUGENS MARROM E
ALARANJADA EM EXPERIMENTOS DE CAMPO**

ARARAS - 2022



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



LUCAS PORPHIRIO DE ALMEIDA

**IMPACTO DO TAMANHO DE PARCELAS NA RESPOSTA DE
GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR ÀS FERRUGENS MARROM E
ALARANJADA EM EXPERIMENTOS DE CAMPO**

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann

ARARAS – 2022

Aos meus pais, Francisco e Eunice, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

À toda minha família, em especial aos meus pais, por terem me ajudado e me apoiado em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante todos esses anos e com quem dividi momentos que lembrarei eternamente.

À todos da República Paiol, com quem tive o prazer de conviver e que se tornaram minha segunda família.

Aos professores do Curso de Engenharia Agrônômica do CCA/UFSCar, por todo o conhecimento e ensinamentos que me passaram.

Ao Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann e ao Dr. Roberto Giacomini Chapola, pela orientação e oportunidade.

Ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA/UFSCar) e toda a sua equipe, pelo suporte e por tudo o que me ensinaram durante o período de estágio.

E a todos que participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Muito obrigado!

**“Aprenda com o ontem. Viva o hoje. Tenha
esperança para o amanhã”**

Albert Einstein

RESUMO

Entre as doenças que causam danos à cultura da cana-de-açúcar, duas das mais importantes são a ferrugem marrom, causada pelo fungo *Puccinia melanocephala*, e a ferrugem alaranjada, causada pelo fungo *P. kuehnii*. Ambas afetam o limbo foliar das plantas, reduzindo sua taxa fotossintética, o que pode acarretar em grandes prejuízos se não forem controladas de modo efetivo. A maneira mais eficiente de se controlar as ferrugens da cana-de-açúcar é através do uso de variedades resistentes, obtidas através de pesquisas realizadas pelos programas de melhoramento genético. Este trabalho objetivou avaliar o impacto da redução do tamanho de parcelas na resposta de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada em experimentos de campo. Foram conduzidos dois experimentos no município de Araras, no Estado de São Paulo, sendo as parcelas do Experimento 1 compostas por dois sulcos de 2,5 m de comprimento, enquanto que no Experimento 2 elas foram estabelecidas com um sulco de 2,5 m. Para aumentar a pressão de inóculo nas áreas experimentais, em ambos os ensaios a variedade SP89-1115, suscetível à ferrugem alaranjada, foi plantada como bordadura e entre os blocos, e a variedade RB835486, suscetível à ferrugem marrom, foi plantada como linha infectora a cada seis sulcos. Foi avaliada a severidade de ambas as doenças a cada 15 dias, até a estabilização dos sintomas. Com os dados obtidos, foram calculadas as áreas abaixo das curvas de progresso das doenças e foi determinada a nota máxima de severidade de cada ferrugem em cada genótipo. A reação dos genótipos às ferrugens não foi impactada pela redução do tamanho das parcelas experimentais; assim, é conveniente a diminuição das mesmas, o que permitirá a avaliação de mais genótipos sem aumentar a área experimental, desde que seguido o delineamento utilizado neste estudo.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*; *Puccinia melanocephala*; *Puccinia kuehnii*; delineamento experimental; melhoramento genético.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Escala diagramática para avaliação de ferrugem em cana-de-açúcar, segundo Amorim et al. (1987). As porcentagens abaixo das notas de 1 a 9 correspondem à área foliar afetada pelos sintomas da doença.24
- Figura 2. Esquema de Kuijper para enumerar as folhas de cana-de-açúcar (VAN DILLEWIJN, 1952). Em destaque a folha +3, utilizada para avaliação de severidade das ferrugens alaranjada e marrom.24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais diferenças entre a ferrugem marrom e a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.	16
Tabela 2. Genótipos de cana-de-açúcar avaliados quanto à reação às ferrugens marrom e alaranjada no Experimento 1, com parcelas de dois sulcos de 2,5 m.	22
Tabela 3. Genótipos de cana-de-açúcar avaliados quanto à reação às ferrugens marrom e alaranjada no Experimento 2, com parcelas de um sulco de 2,5 m.	22
Tabela 4. Variedades de cana-de-açúcar utilizadas como padrões nos Experimentos 1 e 2 para avaliar a reação de genótipos às ferrugens alaranjada e marrom.	23
Tabela 5. Análise de variância para nota máxima ¹ de ferrugem marrom, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.	26
Tabela 6. Nota máxima ¹ de severidade de ferrugem marrom, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.	28
Tabela 7. Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença ¹ obtida em 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem marrom em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.	29
Tabela 8. Área abaixo da curva de progresso da doença ¹ obtida para 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem marrom em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.	31
Tabela 9. Análise de variância para nota máxima ¹ de severidade de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.	32
Tabela 10. Nota máxima ¹ de severidade de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.	34
Tabela 11. Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença ¹ obtida em 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem alaranjada em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.	35
Tabela 12. Área abaixo da curva de progresso da doença ¹ obtida para 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem alaranjada em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Panorama geral do setor sucroenergético no Brasil	12
2.2. Importância do melhoramento genético na cultura da cana-de-açúcar	13
2.3. Ferrugem marrom da cana-de-açúcar	14
2.4. Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar	15
2.5. Avaliação de ferrugens em cana-de-açúcar.....	17
3. OBJETIVO	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1. Plantio dos experimentos.....	21
4.2. Genótipos utilizados	21
4.3. Avaliações de severidade.....	23
4.4. Análise de dados	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. Ferrugem marrom	26
5.2. Ferrugem alaranjada	32
6. CONCLUSÃO	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é referência no setor do agronegócio e um dos principais produtores de diversas culturas, como a cana-de-açúcar, da qual o país detém o título de maior produtor mundial. A cana-de-açúcar é utilizada, principalmente, como matéria-prima para o açúcar e o etanol, ficando a critério das usinas direcionar a produção para um ou outro de acordo com o mercado. Nos últimos anos, com as discussões sobre sustentabilidade cada vez mais em alta, chegou-se à conclusão de que a busca por fontes alternativas de energia e de combustíveis é fundamental. Com isso, o etanol, que é uma fonte limpa de energia e um combustível renovável, tem sido considerado uma das soluções para um mundo mais sustentável, o que trouxe um estímulo ainda maior para o crescimento da produção nacional de cana-de-açúcar (UNICA, 2021).

O aumento da produção de cana-de-açúcar através da expansão da área cultivada esbarra, cada vez mais, na disponibilidade limitada de terras agricultáveis; assim, deve-se investir no aumento da produtividade da cultura. Nesse sentido, é fundamental o controle de fatores prejudiciais à cultura, como as doenças. Entre as que causam danos à cana-de-açúcar, duas das mais importantes são a ferrugem marrom, causada pelo fungo *Puccinia melanocephala*, e a ferrugem alaranjada, causada pelo fungo *P. kuehni*. Ambas afetam o limbo foliar das plantas, reduzindo sua taxa fotossintética, o que pode acarretar em grandes prejuízos se não forem controladas de modo efetivo (FERRARI et al., 2010; MORAIS et al., 2015).

A maneira mais eficiente de se controlar as ferrugens da cana-de-açúcar é através do uso de variedades resistentes, obtidas através de pesquisas realizadas pelos programas de melhoramento genético da cultura, que podem ser conduzidas em campo ou em casas de vegetação (FERRARI et al., 2010; MORAIS et al., 2015). Em casas de vegetação, os genótipos estão sob condições controladas e são inoculados com os patógenos artificialmente, permitindo uma avaliação mais rápida e em um espaço reduzido; porém, os custos de instalação e manutenção de casas de vegetação são elevados. No campo, os genótipos geralmente são colocados sob condições naturais de infecção, o que gera uma dependência das condições climáticas serem favoráveis às doenças; por outro lado, é possível realizar avaliações em diferentes ciclos da cultura e durante todos os seus estádios fenológicos (BELTRÃO et al., 2002; GARCIA et al., 2007; CHAPOLA et al., 2016).

Atualmente, o Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal de São Carlos (PMGCA/UFSCar) avalia genótipos quanto à resistência às ferrugens em experimentos de campo, em condições naturais de infecção, nos quais são avaliados 24 genótipos por ano (CHAPOLA, 2013). Este número, para ser maior, exigiria um aumento da área experimental, o que impactaria no planejamento de uso da área disponível para experimentação, além da possibilidade de haver uma redução no rendimento dos avaliadores. Uma alternativa seria reduzir o tamanho das parcelas, de maneira que, em uma mesma área, fosse possível avaliar um número maior de genótipos. Sendo assim, este trabalho objetivou avaliar o impacto da redução do tamanho de parcelas na resposta de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada em experimentos de campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Panorama geral do setor sucroenergético no Brasil

O Brasil detém o título de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo responsável por fornecer alimento e energia sustentável para os demais países. A área ocupada pela cultura representa 1,2% de toda a extensão do território nacional, sendo que sua produção está concentrada nas regiões Centro-Sul e Nordeste. Além disso, a cana-de-açúcar está presente na vida de 70 mil produtores e é responsável por gerar emprego, renda e desenvolvimento a aproximadamente 30% dos municípios brasileiros (UNICA, 2021).

Durante a Conferência do Clima, realizada em 2015 em Paris, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir a emissão de gases de efeito estufa no país. Assim, em 2017 foi criada a nova Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que visa a ampliar a participação dos biocombustíveis dentro da matriz de transportes brasileira, contribuindo com a meta de reduzir em 43% a emissão de gases de efeito estufa no país até 2030, o que serviu como um novo estímulo para o setor sucroenergético (UNICA, 2021).

A cana-de-açúcar se mostra como uma excelente alternativa para o setor de biocombustíveis, dado seu alto potencial de produção de etanol e seus subprodutos. O volume de produção de cana-de-açúcar na safra 2020/21 foi de 654,8 milhões de toneladas, superando a safra 2019/20 em 1,8%, com destaque para os Estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, que juntos representam mais de 80% da produção nacional. Já em relação à área colhida, houve um aumento de 2,1% quando comparada à safra 2019/20, atingindo a marca de 8,62 milhões de hectares, com uma produtividade média nacional de 75,97 toneladas por hectare (CONAB, 2021).

Os dois principais produtos derivados da moagem da cana-de-açúcar são o açúcar e o etanol. Na safra 2020/21, a produção de açúcar teve um crescimento de 38,46% em comparação à safra passada, chegando a 41,25 milhões de toneladas; por outro lado, a produção de etanol de cana-de-açúcar apresentou uma queda de 12,51%, atingindo a marca de 29,7 bilhões de litros (CONAB, 2021).

Além do açúcar e do etanol, com o avanço da tecnologia, novos produtos passaram a ser desenvolvidos a partir da cana-de-açúcar, como o etanol de segunda

geração, obtido a partir da palha e do bagaço, que permite um incremento na produção deste biocombustível sem aumentar a área cultivada. Outros produtos também se destacam, como o biogás produzido a partir da vinhaça, que é usado para a geração de bioeletricidade; o biometano produzido a partir do biogás, que possui uso comercial equivalente ao do gás natural; produção de plástico verde através do etanol, que é muito menos prejudicial ao meio ambiente do que o plástico comum; e a aplicação de componentes extraídos da cana-de-açúcar como base na fabricação de cosméticos (UNICA, 2021).

2.2. Importância do melhoramento genético na cultura da cana-de-açúcar

Pode-se dizer que os primeiros grandes feitos em prol do melhoramento genético da cana-de-açúcar aconteceram em Java e em Barbados, no final do século XIX, quando foram realizados os primeiros cruzamentos entre plantas de cana-de-açúcar, com a obtenção de sementes férteis. A partir disso, foram criados os primeiros programas de melhoramento genético da cultura (CESNIK, 2007).

O Brasil seguiu por muito tempo importando variedades de cana-de-açúcar de outros países; porém, como não havia nenhum tipo de controle fitossanitário, começaram a surgir diversos problemas com a ocorrência de doenças por todo o território nacional. Foi quando, no início do século XX, constatou-se a necessidade de se realizar experimentações dentro do país, a fim de suprir os problemas fitossanitários nas regiões produtoras de cana-de-açúcar. Com isso, foram convocadas as chamadas “conferências açucareiras”, onde foi discutida e concretizada a construção das estações experimentais de cana-de-açúcar no Brasil, que posteriormente dariam origem aos programas nacionais de melhoramento genético (CESNIK, 2007).

Atualmente, os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar que atuam no Brasil são: o Instituto Agrônomo de Campinas, que desenvolve as variedades com a sigla IAC; o Centro de Tecnologia Canavieira, que incorporou as variedades SP desenvolvidas pelo extinto programa da Copersucar, e que hoje desenvolve as variedades com a sigla CTC; e a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), que é responsável pelas variedades de sigla RB (CESNIK, 2007). A RIDESA incorporou todo o acervo técnico, estações experimentais e boa parte dos pesquisadores do programa do Planalsucar,

que havia sido criado em 1971, mas que foi desativado em 1990, com a extinção do Instituto do Açúcar e do Alcool (BARBOSA et al., 2012). É importante destacar também o trabalho que vem sendo realizado pelo programa da GranBio, que entrou em operação em 2014, com o objetivo de desenvolver plantas ricas em celulose e voltadas para a produção de etanol de segunda geração, conhecidas como “cana-energia” (ROSÁRIO et al., 2016).

O desenvolvimento de uma nova variedade de cana-de-açúcar é um processo longo e trabalhoso, que pode levar de 10 até 15 anos, uma vez que durante a seleção dos clones são necessárias diversas avaliações. As principais características avaliadas são: produtividade, riqueza em açúcar, época de maturação, teor de fibra, velocidade de crescimento, perfilhamento, florescimento, adaptabilidade e estabilidade, tolerância a estresses abióticos, hábito de crescimento, capacidade de brotação, longevidade, entre outras. A resistência a doenças é outra importante característica buscada pelos programas de melhoramento, pois reduz a dependência da cultura em relação à aplicação de defensivos, diminuindo os impactos ao meio ambiente e também os custos de produção. Entre as doenças que mais causam danos à cana-de-açúcar e que podem ser controladas com o uso de variedades resistentes estão a ferrugem marrom e a ferrugem alaranjada (MORAIS et al., 2015).

2.3. Ferrugem marrom da cana-de-açúcar

Causada pelo fungo *Puccinia melanocephala*, a ferrugem marrom da cana-de-açúcar se apresenta inicialmente como pequenas manchas cloróticas, observadas tanto na face inferior como superior das folhas e que evoluem até se tornarem lesões alongadas, de coloração marrom-escura. Posteriormente, são formadas pústulas na face inferior do limbo foliar, que se rompem e liberam uma grande quantidade de esporos. Em variedades mais suscetíveis, pode haver a coalescência das pústulas e a formação de grandes áreas necróticas nas folhas (RAID; COMSTOCK, 2000), afetando sua capacidade fotossintética e, conseqüentemente, reduzindo o potencial de produtividade das plantas.

A ferrugem marrom foi reportada no Brasil em 1986, no Estado de São Paulo, tornando-se rapidamente uma doença endêmica devido à sua rápida e eficiente disseminação pelo vento. As condições mais favoráveis para o desenvolvimento da ferrugem marrom são temperaturas amenas, entre 20° e 25°C, e umidade relativa do

ar superior a 90%, enquanto que, em temperaturas acima de 30°C, os esporos perdem a viabilidade e a infecção é desfavorecida. Sendo assim, no Estado de São Paulo, as épocas de maior severidade da doença são durante o outono, no final da primavera e no início do verão. A infecção ocorre nas plantas a partir do terceiro mês após a brotação e a doença afeta principalmente a fase jovem da cultura; conforme as plantas vão se desenvolvendo, sua suscetibilidade à ferrugem marrom tende a diminuir (SANGUINO, 2012; MATSUOKA, 2013).

Em variedades suscetíveis, os danos causados pela ferrugem marrom podem chegar a 60% ou mais da produtividade, o que coloca esta doença como uma das mais importantes da cana-de-açúcar. A forma de controle mais eficiente é o uso de variedades resistentes; porém, em regiões onde as condições climáticas não são favoráveis à doença, podem ser cultivadas variedades que sejam de interesse comercial, mesmo que possuam alguma suscetibilidade. Mesmo assim, é importante que primeiro seja averiguado o histórico do local, para que problemas futuros sejam evitados (MATSUOKA, 2013). Em canaviais já implantados, a aplicação de fungicidas pode ser uma alternativa viável, pois reduz os impactos à produtividade até a substituição da variedade suscetível por uma resistente (KOCH, 2020).

2.4. Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, é uma doença que afeta a ação fotossintética e prejudica o desenvolvimento da planta. A infecção pelo patógeno ocorre em condições de alta umidade relativa e temperaturas amenas e quentes; para a germinação dos esporos, as condições mais favoráveis são temperaturas entre 19°C e 26°C e umidade relativa próxima a 98% (SOUZA et al., 2018).

O vento é um dos fatores que favorecem a dispersão dos esporos, podendo carregá-los por longas distâncias; porém, o próprio homem também pode ser responsável por disseminar os esporos através de roupas ou calçados. Os primeiros sintomas que aparecem são manchas cloróticas nas folhas mais jovens, evoluindo rapidamente para lesões que, ao se romperem, formam as pústulas, observadas principalmente na face inferior das folhas (FERRARI et al., 2010).

No campo, os sintomas da ferrugem alaranjada podem ser confundidos com os da ferrugem marrom, causada por *P. melanocephala*. Em alguns casos, há a

necessidade de se realizar análises laboratoriais para a identificação mais precisa da doença em questão, pois devido à semelhança entre seus sintomas e esporos, muitas vezes a diferenciação entre elas é bastante difícil (CRUZ et al., 2014). A Tabela 1 mostra as principais características utilizadas para diferenciar a ferrugem alaranjada da ferrugem marrom.

Tabela 1. Principais diferenças entre a ferrugem marrom e a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.

Doença	Ferrugem marrom	Ferrugem alaranjada
Patógeno	<i>Puccinia melanocephala</i>	<i>Puccinia kuehnii</i>
Esporos	Coloração marrom escura; parede uniforme, sem espessamento do ápice; presença abundante de paráfises hialinas	Coloração amarelada a castanha clara; ápice mais espesso; não há presença de paráfises
Pústulas	Maiores e mais alongadas; concentradas do centro à ponta das folhas; coloração mais escura; raramente causam necrose nas folhas	Pequenas; geralmente agrupadas próximas ao ponto de inserção da folha ao colmo; comum coalescência e necrose nas folhas

Conteúdo elaborado segundo Ferrari et al. (2010) e Souza et al. (2018).

Por volta de 1890, a ferrugem alaranjada já estava presente nos cultivos de cana-de-açúcar de países asiáticos e também na Oceania. A partir da década de 1990, a variedade Q124, que se destacava por sua riqueza e produtividade, teve sua área de cultivo ampliada em toda a Austrália; entretanto, no começo dos anos 2000, esta variedade passou a apresentar alta suscetibilidade à ferrugem alaranjada. Os canaviais foram severamente afetados pela doença, gerando, naquela época, perdas estimadas entre 150 a 200 milhões de dólares australianos (MAGAREY et al., 2001).

A detecção da ferrugem alaranjada no Brasil se deu somente no final do ano de 2009, no interior do Estado de São Paulo; posteriormente, a doença se espalhou por todas as regiões produtoras do país. Com isso, variedades que eram consolidadas, como a RB72454 e a SP89-1115, que se mostraram altamente suscetíveis, tiveram que ser substituídas por variedades resistentes. Os danos causados pela ferrugem alaranjada podem atingir até 40% da produtividade em

toneladas de colmos por hectare, e de 15 a 20% do teor de sacarose (CRUZ et al., 2014).

A forma mais eficiente e segura de se controlar a ferrugem alaranjada é com o uso de variedades resistentes. A aplicação de fungicidas apenas é recomendada como uma alternativa de controle até que as variedades suscetíveis sejam substituídas por resistentes. Além disso, devem ser realizados mapeamentos climáticos das regiões produtoras, para evitar o plantio de variedades suscetíveis ou intermediárias em regiões favoráveis à doença (FERRARI et al., 2010).

2.5. Avaliação de ferrugens em cana-de-açúcar

A quantificação de doenças em plantas tem como principal objetivo auxiliar no estudo de diferentes métodos de controle, seja através da eficiência de um produto ou na caracterização da resistência varietal. Além disso, também se mostra fundamental para a construção de curvas de progresso de doenças e estimativas de danos. Para a estimativa da quantidade de doença, são utilizados, em geral, métodos que avaliam diretamente os sintomas por meio da incidência, obtida pela porcentagem de plantas ou partes de plantas doentes em uma amostra ou população, ou então por meio da severidade, dada pela porcentagem de área ou de volume de tecido coberto por sintomas. Há também os métodos indiretos de avaliação, que estimam a quantidade de doença através da população do patógeno, sendo estes aplicados principalmente em doenças causadas por vírus e nematoides (MICHEREFF, 2001).

No caso das ferrugens marrom e alaranjada da cana-de-açúcar, os sintomas aparecem em forma de lesões no limbo foliar; sendo assim, o melhor método para realizar a quantificação destas doenças é estimar a sua severidade, dada pela porcentagem de área foliar afetada pelos sintomas. Entretanto, como esta avaliação é feita visualmente, pode ser estimada de maneira subjetiva, variando de um avaliador para outro (KLOSOWSKI et al., 2013). A fim de reduzir esta subjetividade, algumas medidas e estratégias podem ser tomadas visando à quantificação da severidade de doenças com maior acurácia e precisão. Entre as propostas, a que mais se destaca é o uso das escalas diagramáticas, que consistem em uma ilustração representativa dos diferentes níveis de sintomas nas folhas, plantas ou partes de plantas (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996). No caso da cana-de-açúcar, a escala diagramática proposta por Amorim et al. (1987) tem sido a mais utilizada para avaliar a severidade da

ferrugem marrom e da ferrugem alaranjada (KLOSOWSKI et al., 2013); porém, Klosowski et al. (2013) obtiveram resultados satisfatórios na elaboração e validação de uma escala diagramática específica para a ferrugem alaranjada, com a qual seis de um total de oito avaliadores apresentaram um coeficiente de determinação (R^2) superior à 90%, comprovando a eficiência desta escala.

Basicamente, há duas maneiras para avaliar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens. Uma delas consiste em testes realizados no campo, onde as variedades são geralmente submetidas a condições naturais de infecção. A outra é em experimentos conduzidos em casas de vegetação, onde as variedades são inoculadas artificialmente com os patógenos e então mantidas em condições controladas. Ambos os métodos são eficazes quando aplicados adequadamente, ficando a critério do pesquisador a decisão de optar por um ou outro, de acordo com seus objetivos, condições e necessidades. A avaliação em casa de vegetação pode ser uma boa alternativa para a seleção mais rápida de genótipos resistentes e por requerer pouco espaço e mão de obra para ser realizada, porém os custos de instalação e manutenção de uma casa de vegetação são altos. Já a experimentação em campo permite a avaliação das variedades durante todos os estádios fenológicos da planta e em diferentes ciclos da cultura; entretanto, há maior dependência das condições climáticas serem favoráveis às doenças (BELTRÃO et al., 2002; GARCIA et al., 2007; CHAPOLA, 2013; CHAPOLA et al., 2016).

O método descrito por Garcia et al. (2007) para inoculação de esporos de *P. melanocephala* em segmentos de folhas de cana-de-açúcar sob condições ambientais controladas mostrou-se útil para situações nas quais as condições em campo não são favoráveis às epidemias de ferrugem marrom, ou ainda como um método preliminar de avaliação, permitindo que apenas os genótipos mais promissores sejam levados a campo. Urashima et al. (2020) também determinaram que os estudos feitos sob condições controladas são importantes para identificação mais segura de variedades com resistência intermediária à ferrugem alaranjada, pois o ambiente controlado possibilitou uma avaliação mais refinada da reação dos genótipos.

Chapola (2013) analisou a reação de genótipos de cana-de-açúcar à *P. kuehni* em diferentes ciclos da cultura, sob condições naturais de infecção no campo, no município de Araras, Estado de São Paulo, onde os resultados obtidos permitiram distinguir as variedades quanto à resistência à ferrugem alaranjada. Ido et al. (2006)

também obtiveram êxito em diferenciar a reação de genótipos de cana-de-açúcar à *P. melanocephala* em condições de infecção natural no campo, no município de Paranaíba, Estado do Paraná.

O Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal de São Carlos (PMGCA/UFSCar), que integra a RIDESA, realiza as avaliações de genótipos de cana-de-açúcar quanto à resistência às ferrugens marrom e alaranjada em experimentos de campo, sob condições naturais de infecção. No delineamento utilizado atualmente, são avaliados, por experimento, 24 genótipos (CHAPOLA, 2013). Este número, para ser maior, exigiria um aumento da área experimental, o que impactaria no planejamento de uso da área disponível para experimentação, além da possibilidade de haver uma redução no rendimento dos avaliadores. Dessa forma, uma alternativa seria reduzir o tamanho das parcelas, de maneira que fosse possível avaliar um número maior de genótipos sem aumentar a área necessária para a condução do experimento.

3. OBJETIVO

Este trabalho objetivou avaliar o impacto do tamanho de parcelas na resposta de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada em experimentos de campo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Plantio dos experimentos

Para este trabalho, foram conduzidos dois experimentos nas dependências do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos, o qual está localizado no município de Araras, São Paulo, a 22°18' S de latitude, 47°23' W de longitude e 611 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima local é definido como Cwa mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos. Estas condições colocam o município dentro do grupo de regiões favoráveis à ocorrência das ferrugens alaranjada e marrom da cana-de-açúcar, doenças que geralmente ocorrem em épocas distintas, mas que podem estar presentes nos canaviais concomitantemente (MARTINS, 2010; SANTOS, 2013).

Os experimentos foram plantados em setembro de 2020, no delineamento de blocos casualizados, com três repetições. Em ambos os experimentos, o plantio foi feito com mudas pré-brotadas (MPBs) de forma manual, com auxílio de uma plantadeira de mudas. O espaçamento entre plantas foi de 0,5 m, totalizando cinco mudas por sulco.

As parcelas do Experimento 1 foram compostas por dois sulcos de 2,5 m de comprimento, enquanto que no Experimento 2 elas foram estabelecidas com um sulco de 2,5 m; nos dois, o espaçamento entre sulcos foi de 1,4 m. Com o objetivo de aumentar a pressão de inóculo nas áreas experimentais, em ambos os ensaios a variedade SP89-1115, suscetível à ferrugem alaranjada, foi plantada como bordadura e entre os blocos, e a variedade RB835486, suscetível à ferrugem marrom, foi utilizada como linha infectora a cada seis sulcos.

4.2. Genótipos utilizados

Os genótipos utilizados para a realização dos experimentos foram selecionados por se mostrarem promissores para o PMGCA/UFSCar e também com base na porcentagem de participação em áreas de cultivo nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul no ano de 2020 (CHAPOLA, 2021). Nas Tabelas 2 e 3, encontram-se os genótipos avaliados quanto à reação às ferrugens marrom e alaranjada nos Experimentos 1 e 2, respectivamente. Para as análises feitas neste

trabalho, foram utilizados apenas os genótipos da Tabela 2, que estavam presentes em ambos os experimentos, possibilitando a comparação dos resultados dos mesmos genótipos em diferentes tamanhos de parcelas. É possível observar, pela Tabela 3, que o delineamento com parcelas de um sulco possibilitou a avaliação de mais genótipos, sem aumentar a área experimental. As variedades padrões, de reações já conhecidas às ferrugens, estão relacionadas na Tabela 4.

Tabela 2. Genótipos de cana-de-açúcar avaliados quanto à reação às ferrugens marrom e alaranjada no Experimento 1, com parcelas de dois sulcos de 2,5 m.

Genótipos					
CTC4	RB855156	RB025988	RB055464	RB065174	RB075864
CTC15	RB855453	RB026850	RB065084	RB075099	SP80-1842
RB835486	RB92579	RB026958	RB065162	RB075322	SP81-3250
RB855035	RB025584	RB035341	RB065173	RB075859	SP89-1115

Tabela 3. Genótipos de cana-de-açúcar avaliados quanto à reação às ferrugens marrom e alaranjada no Experimento 2, com parcelas de um sulco de 2,5 m.

Genótipos*					
CTC4	RB867515	RB975952	RB025988	RB035159	RB075099
CTC15	RB92579	RB985476	RB026850	RB035341	RB075322
CTC9001	RB965902	RB995198	RB026958	RB045836	RB075859
RB835486	RB966928	RB005014	RB026979	RB055464	RB075864
RB855035	RB975033	RB015177	RB035060	RB065084	SP80-1842
RB855156	RB975201	RB015279	RB035065	RB065162	SP81-3250
RB855453	RB975242	RB015935	RB035115	RB065173	SP83-2847
RB855536	RB975375	RB025584	RB035151	RB065174	SP89-1115

*Em negrito, os genótipos avaliados também no Experimento 1, com parcelas de dois sulcos de 2,5m.

Tabela 4. Variedades de cana-de-açúcar utilizadas como padrões nos Experimentos 1 e 2 para avaliar a reação de genótipos às ferrugens alaranjada e marrom.

Variedades	Ferrugem alaranjada	Ferrugem marrom
CTC4	Resistente	Suscetível
RB835486	Resistente	Suscetível
RB855035	Resistente	Intermediária/Suscetível
RB855156	Intermediária	Resistente
RB92579	Intermediária	Resistente
SP80-1842	Resistente	Intermediária
SP81-3250	Intermediária/Suscetível	Resistente
SP89-1115	Suscetível	Resistente

Tabela elaborada segundo Araújo et al. (2013), Chapola (2013) e Lima (2021).

4.3. Avaliações de severidade

As estimativas de severidade das ferrugens nos genótipos de cana-de-açúcar foram feitas visualmente em campo, baseadas na escala diagramática de Amorim et al. (1987) (Figura 1). A fim de se manter uma padronização entre as avaliações, as estimativas foram feitas nas folhas +3, ou seja, na terceira folha expandida, contando-se de cima para baixo, a partir da primeira folha com “dewlap” visível, conforme sistema de Kuijper, descrito por Van Dillewijn (1952) (Figura 2). No Experimento 1, com parcelas de dois sulcos, foram observadas dez folhas por parcela, sendo cinco folhas por sulco em cada avaliação. No Experimento 2, com parcelas de um sulco, foram observadas cinco folhas por parcela em cada avaliação.

As primeiras avaliações foram realizadas em janeiro de 2021, quatro meses após o transplântio das MPBs, e seguiram sendo feitas a cada duas semanas até junho de 2021, quando os sintomas se estabilizaram. No total, foram conduzidas 12 avaliações no Experimento 1 e 13 avaliações no Experimento 2.

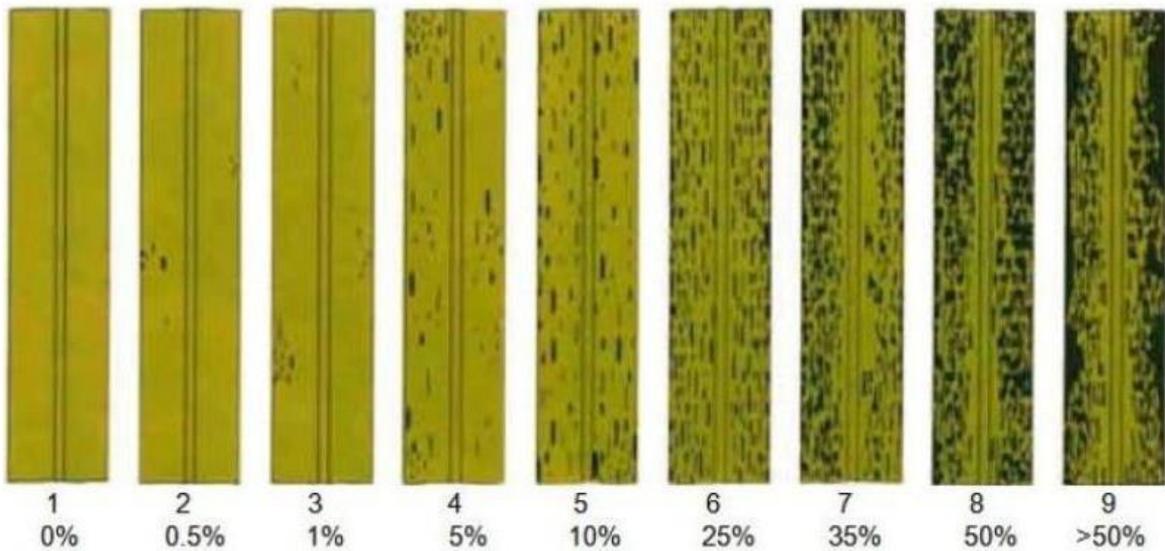


Figura 1. Escala diagramática para avaliação de ferrugem em cana-de-açúcar, segundo Amorim et al. (1987). As porcentagens abaixo das notas de 1 a 9 correspondem à área foliar afetada pelos sintomas da doença.

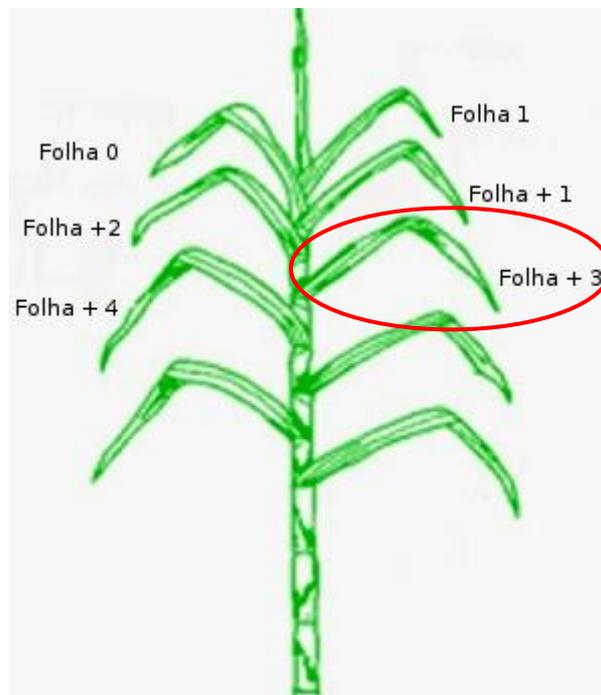


Figura 2. Esquema de Kuijper para enumerar as folhas de cana-de-açúcar (VAN DILLEWIJN, 1952). Em destaque a folha +3, utilizada para avaliação de severidade das ferrugens alaranjada e marrom.

4.4. Análise de dados

Após realizadas as avaliações de severidade da ferrugem alaranjada e da ferrugem marrom, os dados obtidos para cada genótipo foram submetidos ao cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), segundo a equação de Campbell e Madden (1990), apresentada a seguir:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) \times (t_{i+1} - t_i)$$

Na qual: AACPD = área abaixo da curva de progresso da doença; y_i = proporção da doença na i -ésima observação; t_i = tempo na i -ésima observação (em dias); e n = número total de observações.

Outra variável utilizada, além da AACPD, foi a nota máxima de severidade de cada doença em cada genótipo. Tanto os dados de AACPD como os de nota máxima de severidade foram submetidos à análise de variância, e as médias dos genótipos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram feitas com auxílio do software Sisvar (Universidade Federal de Lavras), considerando-se o delineamento de parcelas subdivididas, em que os tratamentos principais foram os 24 genótipos presentes em ambos os experimentos, e os subtratamentos foram os tamanhos das parcelas (dois sulcos no Experimento 1 e um sulco no Experimento 2).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Ferrugem marrom

Na Tabela 5, é apresentada a análise de variância para a nota máxima de ferrugem marrom, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar no Experimento 1, com parcelas de dois sulcos, e no Experimento 2, com parcelas de um sulco. Os resultados mostram que houve diferença significativa a 1% entre os genótipos. Já em relação às parcelas e para a interação não houve diferença significativa, ou seja, a nota máxima de severidade observada nos genótipos não foi influenciada pelo tamanho das parcelas.

Tabela 5. Análise de variância para nota máxima¹ de ferrugem marrom, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	Pr>Fc
Genótipo	23	470,75	20,467	1076,0	0,0000**
Repetição	2	0,125	0,0625	3,286	0,0464
Erro 1	46	0,875	0,0190		
Parcela	1	0,028	0,0278	0,364	0,5493
Parcela*Genótipo	23	2,306	0,1002	1,312	0,2103
Erro 2	48	3,667	0,0764		
Total corrigido	143	477,75			
CV 1 (%) =	7,70				
CV 2 (%) =	15,43				
Média geral:	1,79	Número de		144	
		observações:			

¹Segundo Amorim et al. (1987).

**Significativo a 1% de probabilidade.

CV 1: coeficiente de variação para os genótipos. CV 2: coeficiente de variação para as parcelas.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados do teste de médias para nota máxima de severidade de ferrugem marrom nos 24 genótipos de cana-de-açúcar

avaliados. Em ambos os experimentos, os genótipos foram divididos em quatro grupos. No primeiro grupo ficaram as variedades RB855035 e RB835486, que apresentaram as maiores notas, enquanto que o segundo grupo foi formado apenas com a CTC4 e o terceiro somente com a SP80-1842. No último grupo ficaram os demais genótipos, todos sem apresentar sintomas da doença, exceto o clone RB026958, que mostrou sintomas em apenas uma avaliação do Experimento 1, com parcelas de dois sulcos.

Apesar da interação entre genótipos e tamanhos das parcelas não ter se mostrado significativa, a variedade RB855035 apresentou nota de severidade estatisticamente superior no Experimento 2, com parcelas de um sulco, enquanto que para a CTC4 foi observado o contrário. Entretanto, mesmo as notas máximas de severidade de ambas as variedades diferindo entre um experimento e outro, estas diferenças não foram suficientes para alterar a classificação destes genótipos quanto à reação à ferrugem marrom.

Na Tabela 7 é apresentada a análise de variância para a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) obtida para 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem marrom em ensaios com diferentes tamanhos de parcelas. Pode-se observar que houve diferença significativa a 1% entre os genótipos e para a interação, indicando que alguns genótipos apresentaram diferenças para AACPD dependendo do tamanho das parcelas.

A Tabela 8 apresenta os resultados para AACPD em 24 genótipos de cana-de-açúcar avaliados quanto à reação à ferrugem marrom. No Experimento 1, com parcelas de dois sulcos, a variedade RB835486 apresentou a maior AACPD, seguida da CTC4 e da RB855035. No Experimento 2, com parcelas de um sulco, as variedades RB855035 e RB835486 foram as mais suscetíveis, seguidas pela CTC4. Em ambos os experimentos, o terceiro grupo foi composto somente pela SP80-1842, enquanto que os demais genótipos, que apresentaram maior resistência à doença, formaram o último grupo.

As variedades RB855035 e SP80-1842 apresentaram AACPD estatisticamente superior no Experimento 2, com parcelas de um sulco, enquanto que o contrário foi observado na CTC4. Apesar disso, a classificação destas variedades quanto à reação à ferrugem marrom não foi influenciada, visto que em ambos os experimentos as mesmas mantiveram suas posições no ranqueamento entre os genótipos avaliados.

Tabela 6. Nota máxima¹ de severidade de ferrugem marrom, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.

Genótipo	Experimento 1	Experimento 2
RB835486	6,67 Aa	6,67 Aa
RB855035	6,33 Ba	7,00 Aa
CTC4	6,00 Ab	5,00 Bb
SP80-1842	4,00 Ac	4,00 Ac
RB026958	1,33 Ad	1,00 Ad
RB075859	1,00 Ad	1,00 Ad
RB075864	1,00 Ad	1,00 Ad
RB075322	1,00 Ad	1,00 Ad
RB065174	1,00 Ad	1,00 Ad
RB075099	1,00 Ad	1,00 Ad
SP81-3250	1,00 Ad	1,00 Ad
SP89-1115	1,00 Ad	1,00 Ad
RB92579	1,00 Ad	1,00 Ad
RB855156	1,00 Ad	1,00 Ad
RB855453	1,00 Ad	1,00 Ad
RB065173	1,00 Ad	1,00 Ad
RB026850	1,00 Ad	1,00 Ad
CTC15	1,00 Ad	1,00 Ad
RB025584	1,00 Ad	1,00 Ad
RB025988	1,00 Ad	1,00 Ad
RB055464	1,00 Ad	1,00 Ad
RB065084	1,00 Ad	1,00 Ad
RB065162	1,00 Ad	1,00 Ad
RB035341	1,00 Ad	1,00 Ad
Média geral	1,81	1,78

¹Segundo Amorim et al. (1987).

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam entre si pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas.

Tabela 7. Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença¹ obtida em 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem marrom em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr>Fc calculado
Genótipo	23	172,088	7,482	2622,289	0,0000**
Repetição	2	0,0054	0,0027	0,949	0,3945
Erro 1	46	0,1312	0,0028		
Parcela	1	0,0006	0,0006	0,231	0,6331
Parcela*Genótipo	23	0,184	0,008	2,960	0,0008**
Erro 2	48	0,130	0,0027		
Total corrigido	143	172,5394			
CV 1 (%) =	3,60				
CV 2 (%) =	3,50				
Média geral:	1,49	Número de		144	
		observações:			

¹Dados transformados em $\log(x + 1) + 1$ para realização das análises estatísticas.

**Significativo a 1% de probabilidade.

CV 1: coeficiente de variação para os genótipos. CV 2: coeficiente de variação para as parcelas.

Em ambos os experimentos para avaliar a reação de genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem marrom, as variedades CTC4, RB835486 e RB855035 foram as mais suscetíveis à doença, pois apresentaram as maiores notas de severidade e os maiores valores de AACPD. Por outro lado, as variedades RB855156, RB92579, SP81-3250 e SP89-1115 não apresentaram sintomas da ferrugem marrom, mostrando-se resistentes à doença. A variedade SP80-1842, por apresentar notas de severidade e valores de AACPD inferiores aos das variedades suscetíveis e superiores aos dos genótipos resistentes, pode ser considerada intermediária à doença. Estes resultados também foram encontrados em outros trabalhos, como o realizado por Hoepers et al. (2020), no qual foi avaliada a reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada por inoculação no cartucho foliar, em que as variedades CTC4 e RB835486 foram consideradas suscetíveis à ferrugem marrom. Barreto et al. (2017) validaram marcadores moleculares associados à resistência à ferrugem marrom com os resultados obtidos através de avaliações a

campo, em que as variedades RB855156 e RB92579 foram resistentes à doença, enquanto que a RB835486 se comportou como suscetível. Lima (2021), classificando genótipos de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem marrom, observou que as variedades CTC4 e RB855035 foram suscetíveis, a SP80-1842 foi intermediária e as variedades RB855156, RB92579, SP81-3250 e SP89-1115 foram resistentes à doença.

Tabela 8. Área abaixo da curva de progresso da doença¹ obtida para 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem marrom em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.

Genótipo	Experimento 1	Experimento 2
RB835486	4,27 Aa	4,30 Aa
RB855035	4,10 Bb	4,23 Aa
CTC4	4,03 Ab	3,73 Bb
SP80-1842	3,23 Bc	3,33 Ac
RB026958	1,07 Ad	1,00 Ad
RB075859	1,00 Ad	1,00 Ad
RB075864	1,00 Ad	1,00 Ad
RB075322	1,00 Ad	1,00 Ad
RB065174	1,00 Ad	1,00 Ad
RB075099	1,00 Ad	1,00 Ad
SP81-3250	1,00 Ad	1,00 Ad
SP89-1115	1,00 Ad	1,00 Ad
RB92579	1,00 Ad	1,00 Ad
RB855156	1,00 Ad	1,00 Ad
RB855453	1,00 Ad	1,00 Ad
RB065173	1,00 Ad	1,00 Ad
RB026850	1,00 Ad	1,00 Ad
CTC15	1,00 Ad	1,00 Ad
RB025584	1,00 Ad	1,00 Ad
RB025988	1,00 Ad	1,00 Ad
RB055464	1,00 Ad	1,00 Ad
RB065084	1,00 Ad	1,00 Ad
RB065162	1,00 Ad	1,00 Ad
RB035341	1,00 Ad	1,00 Ad
Média geral	1,49	1,48

¹Dados transformados em $\log(x + 1) + 1$ para realização das análises estatísticas.

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam entre si pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas.

5.2. Ferrugem alaranjada

Na Tabela 9, é apresentada a análise variância para a nota máxima de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois ensaios com diferentes tamanhos de parcelas. Os resultados mostram que houve diferença significativa a 1% entre os genótipos avaliados. Já em relação aos tamanhos das parcelas, os resultados não diferiram significativamente, assim como para a interação, ou seja, a nota máxima de severidade observada nos genótipos não foi influenciada pelo tamanho das parcelas.

Tabela 9. Análise de variância para nota máxima¹ de severidade de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Pr>Fc
					calculado
Genótipo	23	245,972	10,6944	50,964	0,0000**
Repetição	2	0,0139	0,0069	0,033	0,9675
Erro 1	46	9,6528	0,2098		
Parcela	1	0,2500	0,2500	1,714	0,1967
Parcela*Genótipo	23	3,7500	0,1630	1,118	0,3621
Erro 2	48	7,0000	0,1458		
Total corrigido	143	266,6389			
CV 1 (%) =	19,52				
CV 2 (%) =	16,27				
Média geral:	2,35	Número de		144	
		observações:			

¹Segundo Amorim et al. (1987).

**Significativo a 1% de probabilidade.

CV 1: coeficiente de variação para os genótipos. CV 2: coeficiente de variação para as parcelas.

A Tabela 10 apresenta os resultados do teste de médias para nota máxima de severidade da ferrugem alaranjada nos 24 genótipos de cana-de-açúcar avaliados. No Experimento 1, com parcelas de dois sulcos, os genótipos se dividiram em seis grupos. Os três primeiros foram compostos pelas variedades com as maiores notas de severidade: CTC15, SP89-1115 e SP81-3250, respectivamente. No quarto grupo

ficaram os genótipos RB855156, RB855453, RB055464, RB92579 e RB025584 e, no quinto, os genótipos RB075099, RB065174, RB075322, RB075864, RB855035, RB026850, RB025988, RB065084, RB065162 e RB065173. O sexto grupo foi formado pelos genótipos RB035341, RB835486, SP80-1842, CTC4, RB075859 e RB026958, que apresentaram poucos ou nenhum sintoma da doença.

Ainda na Tabela 10, pode-se observar que no Experimento 2, com parcelas de um sulco, os genótipos foram divididos em cinco grupos. O primeiro foi formado somente pela variedade CTC15, que apresentou a maior nota, enquanto que o segundo foi composto pelas variedades SP81-3250 e SP89-1115. No terceiro grupo ficaram os genótipos RB065174, RB855156, RB055464 e RB025584 e, no quarto, os genótipos RB035341, RB075099, RB075322, RB075864, RB855035, RB026850, RB025988, RB065084, RB065162, RB065173, RB855453 e RB92579. No último grupo ficaram os genótipos RB835486, SP80-1842, CTC4, RB075859 e RB026958, que apresentaram poucos ou nenhum sintoma da doença.

Apesar da nota máxima de severidade da ferrugem alaranjada observada nos genótipos de cana-de-açúcar não ter sido influenciada significativamente pelo tamanho das parcelas (Tabela 9), alguns genótipos mostraram diferenças entre as notas obtidas nos dois ensaios. As variedades SP89-1115, RB855453 e RB92579 apresentaram notas estatisticamente superiores no Experimento 1, em parcelas de dois sulcos, enquanto que o contrário ocorreu para os clones RB065174 e RB035341. No entanto, é possível observar na Tabela 10 que estas diferenças não foram suficientes para influenciar de maneira expressiva o ranqueamento destes genótipos quanto à reação à doença.

Na Tabela 11, é apresentada a análise de variância para a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) obtida em 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem alaranjada em experimentos com diferentes tamanhos de parcelas. Houve diferença entre os genótipos a 1% de significância, mas não houve diferença significativa entre os tamanhos das parcelas e nem para a interação, o que significa que a AACPD dos genótipos não foi influenciada pelo tamanho das parcelas.

Tabela 10. Nota máxima¹ de severidade de ferrugem alaranjada, avaliada em 24 genótipos de cana-de-açúcar em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.

Genótipo	Experimento 1	Experimento 2
CTC15	6,67 Aa	6,33 Aa
SP89-1115	5,67 Ab	5,00 Bb
SP81-3250	4,33 Ac	4,33 Ab
RB025584	3,00 Ad	3,00 Ac
RB855453	2,67 Ad	2,00 Bd
RB92579	2,67 Ad	2,00 Bd
RB855156	2,67 Ad	2,67 Ac
RB055464	2,67 Ad	2,67 Ac
RB065173	2,33 Ae	2,00 Ad
RB075099	2,00 Ae	2,00 Ad
RB065174	2,00 Be	2,67 Ac
RB075322	2,00 Ae	2,00 Ad
RB075864	2,00 Ae	2,00 Ad
RB855035	2,00 Ae	2,00 Ad
RB026850	2,00 Ae	2,00 Ad
RB025988	2,00 Ae	2,00 Ad
RB065084	2,00 Ae	2,00 Ad
RB065162	2,00 Ae	2,00 Ad
RB075859	1,33 Af	1,00 Ae
RB026958	1,33 Af	1,00 Ae
RB035341	1,00 Bf	1,67 Ad
RB835486	1,00 Af	1,00 Ae
SP80-1842	1,00 Af	1,00 Ae
CTC4	1,00 Af	1,00 Ae
Média geral	2,38	2,30

¹Segundo Amorim et al. (1987).

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam entre si pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas.

Tabela 11. Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença¹ obtida em 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem alaranjada em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F calculado	Pr>Fc
Genótipo	23	109,243	4,7496	230,019	0,0000**
Repetição	2	0,0668	0,0334	1,618	0,2094
Erro 1	46	0,9498	0,0206		
Parcela	1	0,0044	0,0044	0,249	0,6200
Parcela*Genótipo	23	0,4588	0,0199	1,118	0,3621
Erro 2	48	0,8566	0,0178		
Total corrigido	143	111,5797			
CV 1 (%) =	6,69				
CV 2 (%) =	6,22				
Média geral:	2,15	Número de		144	
		observações:			

¹Dados transformados em $\log(x + 1) + 1$ para realização das análises estatísticas.

**Significativo a 1% de probabilidade.

CV 1: coeficiente de variação para os genótipos. CV 2: coeficiente de variação para as parcelas.

A Tabela 12 apresenta os resultados do teste de médias para AACPD, obtidas para os 24 genótipos de cana-de-açúcar avaliados quanto à reação à ferrugem alaranjada. Em ambos os experimentos, os genótipos foram divididos em nove grupos diferentes, em ordem decrescente de AACPD, sendo que os cinco primeiros foram formados pelos mesmos genótipos. Os três primeiros grupos foram formados pelas variedades CTC15, SP89-1115 e SP81-3250, respectivamente, enquanto que o quarto grupo foi composto pelos genótipos RB92579, RB065173, RB855453, RB855156, RB055464 e RB025584, e, no quinto, ficaram os genótipos RB026850, RB065174, RB855035 e RB075322. No Experimento 1, com parcelas de dois sulcos, ficaram no sexto grupo os clones RB075099 e RB025988, no sétimo os clones RB065084 e RB065162, no oitavo somente o clone RB075864 e, no último, os genótipos RB835486, RB035341, SP80-1842, CTC4, RB075859 e RB026958, que apresentaram os menores valores de AACPD. No Experimento 2, com parcelas de um sulco, no sexto grupo ficou apenas o clone RB075099, no sétimo os clones RB075864, RB065084, RB065162 e RB025988, no oitavo apenas o clone RB035341

e, no nono, os genótipos RB835486, SP80-1842, CTC4, RB075859 e RB026958, que obtiveram os menores valores de AACPD.

Apesar da interação entre os genótipos e os diferentes tamanhos de parcelas não ter sido significativa (Tabela 11), os clones RB025988 e RB035341 apresentaram diferenças entre um experimento e outro (Tabela 12). A AACPD obtida para o clone RB025988 no Experimento 1, em parcelas com dois sulcos, foi estatisticamente superior, porém em ambos os ensaios se manteve abaixo de 2,0. Já o clone RB035341 apresentou poucos sintomas no Experimento 2, com parcelas de um sulco, e nenhum sintoma no Experimento 1, o que fez com que a AACPD obtida no Experimento 2 fosse significativamente superior; porém, esta diferença não alterou de maneira expressiva seu ranqueamento entre os genótipos avaliados.

Nos dois experimentos para avaliação de genótipos de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem alaranjada, as variedades SP89-1115 e SP81-3250 apresentaram as maiores notas de severidade e os maiores valores de AACPD, sendo consideradas suscetíveis à doença. Já as variedades CTC4, RB835486 e SP80-1842 foram resistentes, pois não apresentaram sintomas. Por ter mostrado poucos sintomas ao longo das avaliações, a variedade RB855035 também pode ser considerada resistente à ferrugem alaranjada. Por outro lado, as variedades RB855156 e RB92579 apresentaram reação intermediária, com notas de severidade e valores de AACPD superiores aos de genótipos resistentes e inferiores aos dos suscetíveis.

Os resultados apresentados foram condizentes com os obtidos em outros trabalhos, como o de Araújo et al. (2013), no qual a variedade SP89-1115 se mostrou suscetível à ferrugem alaranjada, enquanto que as variedades RB855156, RB92579 e SP81-3250 apresentaram níveis moderados de resistência, e as variedades CTC4, RB835486, RB855035 e SP80-1842 foram consideradas resistentes. No trabalho realizado por Chapola (2013), no qual foi estudada a reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada em experimentos a campo e em casa de vegetação, a variedade SP89-1115 foi considerada suscetível, enquanto que as variedades RB855156, RB92579 e SP81-3250 apresentaram reação intermediária, e a variedade SP80-1842 foi resistente à doença. No trabalho de Lima (2021), em quatro dos cinco experimentos avaliados a variedade SP81-3250 foi classificada como suscetível à ferrugem alaranjada, assim como neste estudo. A diversidade nos resultados observados na SP81-3250 em diferentes trabalhos pode estar relacionada a fatores

como temperatura e umidade; segundo Matsuoka (2013), variedades com resistência intermediária devem ser evitadas em locais cujas condições climáticas são favoráveis à doença, pois estas podem se comportar como suscetíveis. De acordo com Santos (2013), o município de Araras, onde foram conduzidos os experimentos, está localizado em uma região do Estado de São Paulo tida como favorável à ocorrência da ferrugem alaranjada.

Tabela 12. Área abaixo da curva de progresso da doença¹ obtida para 24 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados quanto à reação à ferrugem alaranjada em dois experimentos com parcelas de tamanhos diferentes – Experimento 1: parcelas de dois sulcos; Experimento 2: parcelas de um sulco.

Genótipo	Experimento 1	Experimento 2
CTC15	4,03 Aa	3,97 Aa
SP89-1115	3,73 Ab	3,63 Ab
SP81-3250	3,17 Ac	3,17 Ac
RB025584	2,80 Ad	2,83 Ad
RB855453	2,77 Ad	2,77 Ad
RB855156	2,77 Ad	2,77 Ad
RB055464	2,77 Ad	2,80 Ad
RB065173	2,73 Ad	2,70 Ad
RB92579	2,70 Ad	2,70 Ad
RB075322	2,57 Ae	2,50 Ae
RB855035	2,47 Ae	2,37 Ae
RB065174	2,40 Ae	2,40 Ae
RB026850	2,30 Ae	2,23 Ae
RB025988	1,97 Af	1,63 Bg
RB075099	1,93 Af	2,03 Af
RB065162	1,67 Ag	1,50 Ag
RB065084	1,53 Ag	1,63 Ag
RB075864	1,33 Ah	1,53 Ag
RB075859	1,03 Ai	1,00 Ai
RB026958	1,03 Ai	1,00 Ai
RB835486	1,00 Ai	1,00 Ai
RB035341	1,00 Bi	1,27 Ah
SP80-1842	1,00 Ai	1,00 Ai
CTC4	1,00 Ai	1,00 Ai
Média geral	2,15	2,14

¹Dados transformados em $\log(x + 1) + 1$ para realização das análises estatísticas.

Médias seguidas da mesma letra não diferenciam entre si pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas.

6. CONCLUSÃO

Como a reação dos genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada não foi impactada pelo tamanho das parcelas experimentais estudadas, é conveniente que se use parcelas de um sulco, desde que respeitado o delineamento utilizado neste trabalho. Isto permitirá ao PMGCA/UFSCar avaliar o dobro de genótipos sem aumentar a área experimental, proporcionando um importante ganho operacional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, L. A.; BERGAMIN-FILHO, A.; CARDOSO, V. A.; MORAES, C. R.; FERNANDES. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v. 39, n. 1, 1987, p. 13-16.
- ARAÚJO, K. L.; CANTERI, M. G.; GILIO, T. A. S.; NEUBAUER, R. A.; SANCHES, P. B.; SUMIDA, C. H.; GIGLIOTI, E. A. Resistência genotípica e monitoramento da favorabilidade para ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Summa Phytopathologica**, v. 39, p. 271-274, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/cwrSt9vVjs4GLHJ3fFBnYQm/abstract/?lang=pt>. Acesso em 22 de nov. 2021.
- BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; DIAS, L. A. D. S.; BARBOSA, G. V. D. S.; OLIVEIRA, R. A. D.; PETERNELLI, L. A.; DAROS, E. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.** Viçosa, v. 12, n. spe, p. 87-98. 2012.
- BARRETO, F. Z.; BALSALOBRE, T. W. A. CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; CARNEIRO, M. S. Validação de marcadores moleculares associados à resistência à ferrugem marrom em cana-de-açúcar. **Summa Phytopathologica**, v. 43, p. 36-40, 2017.
- BELTRÃO, N. E. M.; FIDELIS FILHO, J.; FIGUEIRÊDO, I. C. de M. Uso adequado de casa-de-vegetação e de telados na experimentação agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 547-552, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/78NdyKvHzzPkkVNYDZNd7hb/?lang=pt>. Acesso em 23 de nov. 2021.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. Piracicaba. Agronômica Ceres. 1996.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant diseases epidemiology**. New York: Wiley-Interscience, 1990. 532p.
- CESNIK, R. **Melhoramento da cana-de-açúcar: marco sucro-alcooleiro no Brasil**. p. 1-5. Embrapa Meio Ambiente-Artigo em periódico indexado (ALICE). Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/15939/1/2007AP008.pdf>. Acesso em 12 de out. 2021.
- CHAPOLA, R. G. **Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehni*)**. 2013. 77-78 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.
- CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; MASSOLA, N. S. Reaction of sugarcane varieties to orange rust (*Puccinia kuehni*) and methods for rapid identification of resistant genotypes. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, n. 3, p. 139-146, 2016.

CHAPOLA, R. G. **Censo varietal de cana-de-açúcar dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em 2020**. Revista Canavieiros. Maio/junho, p. 112-113. 2021.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana**: v.7, safra 2020/21, n.4 - Quarto levantamento. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em 7 de out. 2021.

CRUZ, J. C. S.; JERONIMO, E. M.; PERDONÁ, M. J. Informações sobre a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Pesquisa & Tecnologia, São Paulo**, v. 11, n. 1, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Perdona-2/publication/268222047_INFORMACOES SOBRE A FERRUGEM ALARANJADA DA CANA-DE-ACUCAR/links/54661e9f0cf25b85d17f585b/INFORMACOES-SOBRE-A-FERRUGEM-ALARANJADA-DA-CANA-DE-ACUCAR.pdf. Acesso em 19 de out. 2021.

FERRARI, J. T.; HAKAKAVA, R.; DOMINGUES, R. J.; TERÇARIOL, I. M. L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. Documento Técnico 005. p. 1-8. São Paulo, 2010. Disponível em: http://repositoriobiologico.com.br/jspui/bitstream/123456789/77/1/dferrugem_cana.pdf. Acesso em 19 de out. 2021.

GARCIA, E. O.; CASAGRANDE, M. V.; RAGO, A. M.; MASSOLA Jr., N. S. Método para inoculação de ferrugem da cana-de-açúcar em segmentos de folhas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 253-256, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fb/a/mQcLb5BfhmdkyDkJPkXMjmg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 12 de out. 2021.

HOEPERS, L. M. L.; FIORI-TUTIDA, A. C. G.; RUARO, L., CALEGARIO, R. F.; OLIVEIRA, R. A.; DUARTE, H. S. S. Reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada por inoculação no cartucho foliar. **Ciência Rural**, v. 50, n. 7, 2020.

IDO, O. T.; NETO LIMA, V. C.; DAROS, E.; POSSAMAI, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; OLIVEIRA, R. A. Incidência e severidade da ferrugem em clones de cana-de-açúcar no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 3, p. 159-163, 2006.

KLOSOWSKI, A. C.; RUARO, L.; FRAGOSO, R. B.; BESPALHOK FILHO, J. C.; MAY DE MIO, L. L. Proposta e validação de escala para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, p. 166-171, 2013.

KOCH, G. **Eficácia de fungicidas no controle das ferrugens marrom e alaranjada da cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, p. 36-42. Curitiba, 2020.

LIMA, W. T. **Método para classificação da reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada**. Monografia (Trabalho Final de Graduação) – Universidade Federal de São Carlos, p. 27-38. 2021.

MAGAREY, R. C.; CROFT B. J.; WILLCOX, T. G. An epidemic of orange rust on sugarcane in Australia. In: **International Society of Sugar Cane Technologists**. Proceedings of the XXIV Congress, Brisbane, Australia, 17-21 September 2001. Volume 2. Australian Society of Sugar Cane Technologists, 2001. p. 410-416.

MARTINS, T. D. **Aspectos epidemiológicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. 2010. p. 65-67. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2010.

MATSUOKA, S. **Identificação de doenças da cana-de-açúcar e medidas de controle**. In: SANTOS, F.; BORÉM, A. Cana-de-açúcar: do plantio à colheita, p. 89-115, 2013.

MICHEREFF, S. J. **Epidemiologia de doenças de plantas**. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de agronomia–Fitossanidade. Apostila da Disciplina Fitopatologia I, p. 1-9. 2001.

MORAIS, L. K.; CURSI, D. E.; SANTOS, J. M.; CARNEIRO, M. S; CÂMARA, T. M. M.; SILVA, P. A.; BARBOSA, G. V.; HOFFMANN, H. P.; CHAPOLA, R. G.; FERNANDES JÚNIOR, A. R.; GAZZAFI, R. **Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar**. Documentos Embrapa. p. 07-22. 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142119/1/Doc-200.pdf>. Acesso em 16 de out. 2021.

RAID, R. N.; COMSTOCK, J. C. Common rust. **A guide to sugarcane diseases**, p. 85-89, 2000.

ROSÁRIO, F. J. P.; SOUTINHO, L. C.; DA SILVA, N. K. H. A inovação como alternativa para a indústria sucroalcooleira de Alagoas: o caso GranBio. **Revista da FAE**, v. 19, n. 1, p. 130-137, 2016.

SANGUINO, A. As principais doenças da cana-de-açúcar. In: **Curso à Distância Tópicos Da Cultura de Cana-De-Açúcar**. Instituto Agrônômico, 2012.

SANTOS, D. L. **Zoneamento da favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nas principais regiões produtoras do Brasil e da Austrália**. 2013,101p. Dissertação (Mestrado em Ciências, Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba- SP, 2013.

SOUZA, B. F.; TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. Aspectos Gerais da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**. Itapetininga, v. 5, n. 5, p. 32-47, 2018. Disponível em: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/959/966>. Acesso em 19 de out. 2021.

UNICA. União da Indústria de Cana-de-açúcar. 2021. Disponível em: <https://unica.com.br/>. Acesso em 11 de out. 2021.

URASHIMA, A. S.; MISTURA, T. F.; PORTO, L. N. R. Como avaliar reação de

variedades de cana-de-açúcar à *Puccinia kuehni*?. **Summa Phytopathologica**, v. 45, p. 387-392, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/C8ZQhfc55GCVQmpCKDSxNTm/?format=html&lang=pt>. Acesso em 12 de out. 2021.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica Company, 1952. p. 371.

