



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



WÉLLIMA TIMÓTEO DE LIMA

**MÉTODO PARA CLASSIFICAÇÃO DA REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE
CANA-DE-AÇÚCAR ÀS FERRUGENS MARROM E ALARANJADA**

ARARAS - 2021



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



WÉLLIMA TIMÓTEO DE LIMA

**MÉTODO PARA CLASSIFICAÇÃO DA REAÇÃO DE GENÓTIPOS DE
CANA-DE-AÇÚCAR ÀS FERRUGENS MARROM E ALARANJADA**

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

Orientador: Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann
Coorientador: Dr. Roberto Giacomini Chapola

ARARAS – 2021

Aos meus pais, por serem exemplos de generosidade, perseverança, luta e honestidade. Apesar da simplicidade, conseguiram passar para seus filhos o quanto a educação é importante.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder o dom da vida, coragem, paciência, sabedoria e por ser meu guia nos momentos de dificuldades;

Ao meu avô, André Timóteo de Lima (*in memoriam*) por todo ensinamento, paciência, amor incondicional e, principalmente, por acreditar no meu potencial;

Aos meus pais, Ernesto Timóteo de Lima e Edna Timóteo de Lima, por sempre acreditarem em mim, pela educação, amor, apoio e por não medirem esforços, sempre fazendo o melhor para me ajudar;

Aos meus irmãos, José Wilson Timóteo de Lima, William Timóteo de Lima e Andréia Timóteo de Lima, por todo companheirismo e por estarem sempre ao meu lado;

À todos os familiares que, de alguma forma me apoiaram e acreditaram em mim, especialmente a minha tia Edjane por todo apoio;

À Gelcyara Raman, Natália Melgueiro e Valdenilson Candelário, pelo convívio, amizade e apoio desde o início dessa caminhada;

À Fernanda Abduche e Nizza Rodrigues, pelo companheirismo, conselhos, risadas e, sobretudo pela grande amizade cultivada durante toda a graduação;

Ao Gustavo Roesle, pela ajuda com a interpretação dos dados estatísticos do meu trabalho;

Às meninas da Pensão que moraram comigo, especialmente a Jamily, Janaine, Gabriela, Paola, Ivana, Sara Raquel, Danielle e Letícia Abati, por todo incentivo, amizade cultivada, carinho, conselhos, choros e boas risadas, sem dúvidas, tornaram minha estadia em Araras mais leve e alegre.

Ao Sr. João de Andrade e Maria Helena, pelo acolhimento, cuidado e carinho enquanto estive longe de casa;

Ao PMGCA/RIDESA/UFSCAR, pela oportunidade de estágio com a cultura da cana-de-açúcar;

Ao Eng. Agrônomo Dr. Roberto Giacomini Chapola, por todo conhecimento transmitido, paciência, confiança e, principalmente por ser um grande mestre;

Ao Prof. Dr. Hermann Paulo Hoffmann, pelos ensinamentos e por toda orientação nesta etapa final da graduação;

Ao Eng. Agrônomo Dr. Antonio Ribeiro Fernandes Júnior, por aceitar fazer parte da banca examinadora do meu TFG;

À todos os estagiários do PMGCA/UFSCar com os quais tive grande prazer de trabalhar em equipe. Especialmente ao Felipe Gomes, pela ajuda com a análise estatística dos dados do meu TFG; Júlio Roquin, Yuri Thierry, Leonardo Henrique, Eduardo Padovan, Aline Gomes, Gabriel Levrero, Gabriel Trapani, Gustavo Jacobassi, Leonardo Henrique Paulosso, Inaara Belmonte e Lucas Porphirio, pelos ensinamentos, trabalho em equipe e pela amizade durante o estágio;

À toda equipe do PMGCA/UFSCar, Luiz Fernando Dias Pereira, Danilo Cursi, Igor Nunes, Flávio Costa, Murillo Perticarari, Carlos Loureiro, Luiz Plínio Zavaglia, José Ciofi, Sandro Ferrarez, Valdir Guedes, José Adalberto da Cruz, Thiago Balsalobre, Maria Stela Scalabrin e Adriana Uccela, por todo ensinamento, conselhos, amizade e um bom convívio diário;

À toda equipe operacional do PMGCA/UFSCar, em especial ao Aparecido Corte, José Geraldo Binatti, Jordélio Silveira e João Albano por toda paciência, amizade e, principalmente pelos ensinamentos sobre a cultura da cana-de-açúcar;

À FAI/UFSCar, pelo suporte financeiro com a bolsa de estágio;

À Universidade Federal de São de Carlos - Campus Araras, meu amado Centro das Ciências Agrárias (CCA), pela oportunidade que transformou minha vida;

À Coordenação de curso de Engenharia Agrônômica, por todo suporte durante a graduação;

À Pedagoga Elaine Maldonado, por todo carinho, acolhimento e suporte desde minha chegada a Universidade;

Ao PET - Indígenas/NEI (Núcleo de Estudos Indígenas – Araras), pela receptividade, acolhimento, troca de conhecimentos e, sobretudo pela amizade cultivada com os demais indígenas presentes no Campus;

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho.

Muito Obrigada!

**“Não há montanha intransponível, crer é ver
a vitória”**

Desconhecido

RESUMO

As ferrugens marrom e alaranjada da cana-de-açúcar são doenças que causam preocupação para o setor sucroenergético, devido à rápida disseminação dos agentes causais e ao potencial de danos à produtividade. O principal método para controle de ambas é o plantio de variedades resistentes, por isso os programas de melhoramento genético devem conduzir ensaios que determinem, com assertividade, a reação dos genótipos a essas doenças. O objetivo desse trabalho foi estabelecer um método para classificar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada, baseado em experimentos conduzidos a campo, em condições naturais de infecção. Entre os anos de 2015 e 2019, cinco experimentos foram conduzidos no município de Araras, SP. As variedades SP89-1115 e RB835486, suscetíveis à ferrugem alaranjada e à ferrugem marrom, respectivamente, foram usadas como linhas infectoras, com o objetivo de aumentar e uniformizar a pressão de inóculo sobre os genótipos a serem avaliados. As oito variedades selecionadas para este trabalho foram comparadas entre si através das variáveis nota máxima de severidade e área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AAPDC). Posteriormente, foi calculada a AAPDC relativa às variedades padrões de suscetibilidade, a fim de classificar os genótipos em resistentes, intermediários ou suscetíveis a cada ferrugem. Considerando a ferrugem marrom, as variedades RB855156, RB92579, SP81-3250 e SP89-1115 foram resistentes, enquanto que a CTC4 e a RB855035 foram suscetíveis, e a SP80-1842 intermediária. Em relação à ferrugem alaranjada, os genótipos CTC4, RB835486, SP80-1842 e RB855035 mostraram resistência, enquanto que as variedades RB855156 e RB92579 apresentaram reação intermediária e a SP81-3250 foi classificada como suscetível. O método utilizado para classificar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens é indicado para experimentos conduzidos em condições semelhantes às do presente estudo, pois foi capaz de diferenciar as variedades avaliadas em resistentes, intermediárias e suscetíveis para ambas as doenças.

Palavras-chave: *Saccharum* spp.; *Puccinia melanocephala*; *Puccinia kuehnii*; severidade; controle genético

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Escala diagramática para avaliação de ferrugem em cana-de-açúcar (AMORIM et al., 1987). As porcentagens abaixo das notas correspondem às respectivas áreas das folhas avaliadas com sintomas de ferrugem.....24
- Figura 2.** Localização da folha +3 em planta de cana-de-açúcar, conforme sistema de Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952).....25
- Figura 3.** Notas máximas de ferrugem marrom, segundo escala de Amorim et al. (1987), em variedades de cana-de-açúcar avaliadas em cinco experimentos.29
- Figura 4.** Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida para ferrugem marrom em variedades de cana-de-açúcar, avaliadas em cinco experimentos.31
- Figura 5.** Notas máximas de ferrugem alaranjada, segundo escala de Amorim et al. (1987), em variedades de cana-de-açúcar avaliadas em cinco experimentos.34
- Figura 6.** Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida para ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar, avaliadas em cinco experimentos....36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de variância para nota máxima ¹ de ferrugem marrom, avaliada em oito variedades de cana-de-açúcar em cinco ensaios.....	27
Tabela 2. Notas máximas ¹ de ferrugem marrom em oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas em cinco experimentos.....	28
Tabela 3. Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AACPDC ¹), obtida para oito variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem marrom em cinco diferentes experimentos.	29
Tabela 4. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AACPDC ¹) obtida para oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem marrom em cinco experimentos.	30
Tabela 5. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AACPDC) relativa à RB835486 (%) ¹ , obtida para oito variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem marrom em cinco experimentos.	31
Tabela 6. Classificação de genótipos de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem marrom, considerando a área abaixo da curva de progresso da doença corrigida relativa à variedade suscetível RB835486.	32
Tabela 7. Análise de variância para nota máxima ¹ de ferrugem alaranjada, avaliada em oito genótipos de cana-de-açúcar em cinco ensaios.....	33
Tabela 8. Notas máximas ¹ de ferrugem alaranjada em oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas em cinco experimentos.....	34
Tabela 9. Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AACPDC ¹), obtida para oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada em cinco experimentos.....	35
Tabela 10. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AACPDC ¹), obtida para oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada em cinco experimentos.....	36
Tabela 11. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AACPDC) relativa à SP89-1115 (%) ¹ , obtida para oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada em cinco experimentos.....	37

Tabela 12. Classificação de genótipos de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem alaranjada, considerando a área abaixo da curva de progresso da doença corrigida relativa à variedade suscetível SP89-1115.....38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. Importância econômica da cultura da cana-de-açúcar.....	13
2.2. Cultivo da cana-de-açúcar	14
2.3. Melhoramento genético da cana-de-açúcar	15
2.4. Ferrugem marrom	17
2.5. Ferrugem alaranjada	18
2.6. Controle das ferrugens da cana-de-açúcar.....	19
3. OBJETIVO	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1. Local	23
4.2. Delineamento experimental.....	23
4.3. Avaliações.....	24
4.4. Escolha das variedades e análise dos dados	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Ferrugem marrom	27
5.2. Ferrugem alaranjada.....	32
6. CONCLUSÃO	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma área cultivada superior a oito milhões de hectares. A cultura possui alto potencial na produção de açúcar, etanol e subprodutos, e é considerada uma das alternativas para o setor de biocombustíveis. Diferente do que ocorre em outros países, a indústria sucroenergética nacional opera numa conjuntura sustentável, buscando aumentar sua eficiência e reduzir seus custos através da cogeração de energia elétrica (CONAB, 2020).

Diversos fatores influenciam diretamente na produção de cana-de-açúcar, dentre eles as doenças, que podem dificultar o crescimento e o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, causar prejuízos para os produtores. Das doenças existentes e que causam danos à cana-de-açúcar, destacam-se as ferrugens marrom e alaranjada, causadas pelos fungos *Puccinia melanocephala* e *P. kuehni*, respectivamente (SANTOS, 2013). Ambas causam lesões nos tecidos foliares, interferindo diretamente no processo de fotossíntese da planta e, por isso, reduzindo a produtividade da cultura.

O método mais eficiente para o controle das ferrugens da cana-de-açúcar é o uso de variedades resistentes. O sucesso e a longevidade dessa resistência passam pela avaliação adequada da reação das variedades. Experimentos em campo com essa finalidade devem ser conduzidos em regiões favoráveis às doenças e com pressão de inóculo suficiente para que os genótipos sejam devidamente desafiados. Outra medida importante é a escolha de variedades adequadas como testemunhas, cujas respostas aos patógenos sejam conhecidas, para que se possa compará-las às reações dos genótipos em estudo. Por fim, deve-se optar por uma variável que permita classificar e diferenciar os genótipos de maneira segura e assertiva, refletindo o que de fato ocorre no campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância econômica da cultura da cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, cultura que apresenta grande importância para o agronegócio brasileiro. Na safra 2019/20, a área cultivada com cana-de-açúcar no país atingiu 8,4 milhões de hectares e a colheita superou 642 milhões de toneladas. A região Centro-Sul produziu acima de 589 milhões de toneladas, o que representa quase 92% do total nacional, enquanto que na região Norte-Nordeste foram colhidas 52,8 milhões de toneladas. O Estado de São Paulo é o maior produtor do país, seguido por Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Paraná (CONAB, 2020).

A produtividade média brasileira de cana-de-açúcar na safra 2019/20 foi de 76,1 t/ha. Do total da matéria-prima industrializada, 34,9% foi destinado à produção de 29,8 milhões de toneladas de açúcar, enquanto que 65,1% foi destinado à produção de 34 bilhões de litros de etanol, sendo 10,12 bilhões de litros de etanol anidro, que é misturado à gasolina, e 23,89 bilhões de litros de etanol hidratado (CONAB, 2020).

Além do açúcar e do etanol, a cana-de-açúcar é fonte de bioeletricidade, que se constitui na quarta fonte mais significativa na matriz elétrica brasileira. A bioeletricidade originada a partir da palha e do bagaço da cana-de-açúcar tem potencial para expandir em mais de 50% até 2027, e é considerada uma energia limpa e renovável. O setor sucroenergético representa cerca de 7% da potência outorgada no Brasil e 76% da fonte geral de biomassa. Cada tonelada de cana-de-açúcar processada na indústria gera aproximadamente 250 kg de bagaço e 200 kg de palha e pontas. O bagaço apresenta alto teor de fibras e, por isso, tem sido bastante utilizado na produção de vapor e energia elétrica; dessa forma, é possível garantir a autossuficiência energética das usinas no decorrer de toda a safra (UNICA, 2020).

2.2. Cultivo da cana-de-açúcar

O cultivo da cana-de-açúcar possui dois ciclos de produção: a cana-planta, que vai do plantio até a primeira colheita, e a cana-soca, que se inicia a cada colheita e se caracteriza pela rebrotação das soqueiras (ANJOS; FIGUEIREDO, 2010). A cana-de-açúcar é considerada semiperene, pois permite, em média, cinco cortes até a reforma do canavial. O ciclo fenológico da planta é constituído pelas fases de brotação, perfilhamento, crescimento e maturação (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2010).

Para que a cana-de-açúcar se desenvolva, três fatores são essenciais: radiação solar, temperatura e água, sendo este último o principal responsável pela variação de produtividade e de qualidade (GOUVÊA, 2008). O cultivo da cana-de-açúcar é favorecido em regiões que apresentam duas estações bem definidas: uma quente e úmida, que favorece a brotação, o perfilhamento e o desenvolvimento vegetativo, e outra estação com temperaturas amenas e com menor volume de chuvas, condições essenciais para o acúmulo de sacarose nos colmos e a maturação (DINARD; SALAN, 2004). A temperatura considerada ideal para o desenvolvimento da cana-de-açúcar situa-se na faixa de 20°C a 35°C, visto que, nessas condições, a planta apresenta seu máximo crescimento (PLANALSUCAR, 1986; CASAGRANDE, 1991). Quanto às condições pluviométricas, uma precipitação anual de aproximadamente 1.000 mm, bem distribuída, é suficiente para a obtenção de boas produtividades (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005). Além das condições climáticas, é importante destacar que o tipo de solo e a sua interação com o clima também são fatores determinantes para o desenvolvimento e a produtividade da cana-de-açúcar.

Na região Centro-Sul do Brasil, o plantio da cana-de-açúcar ocorre, predominantemente, entre setembro e março. Quando realizado entre janeiro e maio, é chamado de plantio de ano e meio; quando ocorre de setembro a dezembro, é denominado plantio de ano. Além dessas modalidades, em locais onde não há limitação térmica e com possibilidade de irrigação, é realizado o plantio de inverno, que ocorre de junho até a primeira quinzena de setembro. Na região Norte-Nordeste, o plantio de ano e meio, também conhecido como plantio de inverno ou sequeiro, ocorre de maio a agosto, enquanto que o plantio de ano, também denominado

plântio de verão ou irrigado, ocorre entre setembro e início de janeiro. Em relação à colheita, a safra se concentra entre os meses de abril e novembro na região Centro-Sul, e de setembro a março no Norte-Nordeste (ANJOS; FIGUEIREDO, 2010).

2.3. Melhoramento genético da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar tem como centro de origem o Sudeste asiático, especificamente a região da Nova Guiné e da Indonésia. No Brasil, a cana-de-açúcar cultivada é um híbrido proveniente do gênero *Saccharum*, o qual possui seis espécies: *S. officinarum*, *S. barberi*, *S. robustum*, *S. spontaneum*, *S. sinensis* e *S. edule*. A espécie *S. officinarum* foi usada como base para o melhoramento genético no país, porque apresenta condições para acumular alto teor de sacarose nos colmos; porém, possui baixa resistência a doenças. Por outro lado, a espécie *S. spontaneum* foi usada para repor os genes de resistência, perfilhamento, vigor e capacidade de rebrota nas novas variedades (SCARPARI; BEAUCLAIR, 2010).

Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar buscam desenvolver variedades geneticamente superiores às que já existem e que combinem o maior número possível de características agroindustriais favoráveis. Algumas das características consideradas na seleção dos genótipos são: resistência a doenças e pragas, produtividade, riqueza em açúcar, perfilhamento, ausência de florescimento e de isoporização, hábito de crescimento ereto, despalha fácil ou natural, brotação de soqueira, tolerância a estresses abióticos e adaptação à mecanização (MORAIS et al., 2015).

Segundo Gazaffi et al. (2010), algumas etapas são essenciais em um programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar, tais como: geração de variabilidade genética, obtida a partir dos cruzamentos; seleção e clonagem nas etapas iniciais, caracterizadas por experimentos com poucas repetições e pequenas parcelas; e seleção nas etapas finais, com número de repetições e locais suficientes para a condução de experimentos que forneçam resultados mais precisos. O processo para obtenção de uma nova variedade demanda um longo período, entre 10 a 15 anos, necessários para selecionar genótipos para várias características de interesse, em diferentes cortes e em diversas condições edafoclimáticas.

No Brasil, existem três programas de melhoramento genético voltados para o desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar: o Instituto Agrônomo de Campinas, que desenvolve genótipos com a sigla IAC; o Centro de Tecnologia Canavieira, que desenvolve genótipos com a sigla CTC e que incorporou o programa das variedades SP, da COPERSUCAR; e a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), que desenvolve variedades com a sigla RB e que se formou a partir do extinto Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR) (MORAIS et al., 2015). A RIDESA é composta por programas de dez Universidades Federais e, atualmente, apresenta uma forte contribuição para a matriz energética do Brasil, uma vez que as variedades RB ocupam aproximadamente 68% da área canavieira do país (DAROS et al., 2015). Além desses três programas, em 2011 foi fundada a GranBio, voltada para a obtenção de variedades de “cana-energia”.

Além dos ganhos de produtividade proporcionados pelas novas variedades, outras contribuições do melhoramento genético para o setor sucroenergético foram: ampliação do período de safra, graças ao desenvolvimento de variedades com precocidade de maturação; expansão da cultura para áreas marginais de produção, com o desenvolvimento de variedades rústicas; aumento dos patamares de produtividade na região Nordeste, com a obtenção de variedades adaptadas a essa região; e, finalmente, segurança fitossanitária, graças à liberação de variedades resistentes às principais doenças da cultura (FIGUEIREDO et al., 2011; CHAPOLA, 2013).

As doenças da cana-de-açúcar estão entre os vários fatores que limitam a produtividade da cultura e se constituem no principal motivo para a substituição de variedades cultivadas (SANTOS, 2004). Dentre as diversas doenças capazes de infectar a cana-de-açúcar e que são alvos dos programas de melhoramento genético, destacam-se duas ferrugens, ambas causadas por fungos do gênero *Puccinia*: a ferrugem marrom (*P. melanocephala*) e a ferrugem alaranjada (*P. kuehni*).

2.4. Ferrugem marrom

A ferrugem marrom da cana-de-açúcar, causada pelo fungo *Puccinia melanocephala*, teve seus primeiros relatos na Ásia e na África (SANGUINO; TOLEDO, 1983). Somente em 1978, quando observada na República Dominicana, a ferrugem marrom se alastrou rapidamente pela América do Norte e Central, Caribe e Norte da América do Sul, causando danos expressivos na produção de açúcar (COPERSUCAR, 1986). Entre 1979 e 1980, a doença foi relatada na Venezuela, Colômbia e Equador (MASUDA et al., 1986), chegando ao Brasil em 1986. Além das reduções de produtividade nas variedades suscetíveis cultivadas na época, a doença impactou os programas de melhoramento, uma vez que vários clones promissores foram descartados devido à alta suscetibilidade (TOKESHI; RAGO, 2005).

Os sintomas da ferrugem marrom são observados nas folhas; no início, manifestam-se como pequenas pontuações cloróticas, que evoluem e formam manchas alongadas e de coloração amarela-pálida, visíveis em ambas as faces da lâmina foliar. Com o passar do tempo, pústulas de 2 a 10 mm de comprimento e de 1 a 3 mm de largura rompem a epiderme da face inferior da lâmina foliar, liberando urediniósporos de cor marrom, sem espessamento apical, ovoides, com ornamentação equinulada e quatro a cinco poros germinativos equatoriais (MOURA et al., 1999). As pústulas apresentam um ligeiro relevo e aumentam de tamanho rapidamente, tomando uma coloração marrom-alaranjada a preta nos estágios mais avançados da doença (COPERSUCAR, 1986; MASUDA et al., 1986). Com a evolução dos sintomas, as lâminas foliares passam a ficar necrosadas, o que dificulta o processo de fotossíntese; conseqüentemente, ocorre a redução do desenvolvimento da planta, gerando quedas de produtividade.

A germinação dos urediniósporos de *P. melanocephala* é favorecida em temperaturas entre 21°C e 26°C e umidade relativa acima de 99%. A presença de água na superfície foliar é um dos fatores primordiais para que ocorra a infecção (CARDOSO; SANGUINO, 1988). Após a germinação dos urediniósporos, o tubo germinativo do fungo é diferenciado em haustórios, que penetram nos tecidos foliares através dos estômatos. Posteriormente, de 10 a 14 dias após a infecção, é possível visualizar as pústulas na face inferior das lâminas foliares, que liberarão

novos urediniósporos, cuja disseminação ocorre principalmente pelo vento (SANGUINO; TOLEDO, 1983). Um estudo realizado no Brasil verificou que o potencial de danos da ferrugem marrom na produtividade de variedades suscetíveis seria de, em média, 10 t/ha (SILVA et al., 2001), devido à redução no desenvolvimento das plantas infectadas pela doença (MOURA, 2004).

2.5. Ferrugem alaranjada

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar é causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, que possui baixa gama de hospedeiros, atacando principalmente plantas do gênero *Saccharum* (SOUZA, 2018). A doença foi relatada causando danos severos na Austrália no início da década de 2000, após um surto na variedade Q124 que, na época, ocupava 45% dos canaviais do país. Em 2007, atingiu a Florida – EUA e Guatemala e, um ano depois, foi identificada na Nicarágua, Costa Rica e Panamá (OLIVEIRA; MENDES, 2008; LIMA et al., 2014). No Brasil, a ferrugem alaranjada foi detectada em dezembro de 2009, no Estado de São Paulo (BARBASSO et al., 2010). No ano seguinte, foi notificada em diversas áreas de cultivo de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Espírito Santo e Mato Grosso do Sul (SOUZA, 2018). Atualmente, a doença já está presente em todas as regiões produtoras do país (CHAVES et al., 2013).

Os sintomas da ferrugem alaranjada são observados nas folhas e se constituem em pequenas pontuações alongadas com halo amarelo, que evoluem para pústulas de coloração alaranjada, conforme ocorre o desenvolvimento e a liberação dos urediniósporos, que são rapidamente disseminados pelo vento (MORENO, 2008). Em condições favoráveis de umidade e temperatura, a evolução dos sintomas é rápida, com coalescência das pústulas e necrose a partir das bordas das folhas. As pústulas podem medir até 4 mm e costumam aparecer agrupadas na face inferior da lâmina foliar, próximas ao ponto de inserção com o colmo (FERRARI et al., 2010).

Em condições de campo, distinguir visualmente os sintomas de ambas as ferrugens da cana-de-açúcar requer conhecimento prático. As características que mais ajudam a diferenciar a ferrugem alaranjada da ferrugem marrom são a coloração e o formato das pústulas e dos urediniósporos. As pústulas de *P. kuehnii*

são menores, ovais e apresentam coloração alaranjada clara, enquanto que as pústulas de *P. melanocephala* são maiores, mais alongadas e de coloração marrom-escura. Em alguns casos, são necessárias análises laboratoriais mais detalhadas, como a observação dos urediniósporos em microscópio; os urediniósporos de *P. kuehnii* possuem um espessamento apical característico, que os diferenciam dos de *P. melanocephala* (CRUZ et al., 2014).

Os urediniósporos de *P. kuehnii* podem germinar e infectar folhas de cana-de-açúcar em uma ampla faixa de temperatura, entre 5°C e 34°C, e umidade relativa acima de 90%; porém, as condições ótimas para germinação são temperaturas entre 19°C e 26°C e umidade relativa a partir de 98% (SOUZA, 2018). Na região Centro-Sul do Brasil, o período entre outubro e abril apresenta as maiores médias diárias de horas favoráveis à ocorrência da ferrugem alaranjada, enquanto que, na região Nordeste, especificamente no litoral, as melhores condições à doença são observadas entre maio e setembro (KLOSOWSKI, 2012).

A ferrugem alaranjada interfere diretamente no processo fotossintético da cana-de-açúcar, comprometendo o desenvolvimento da planta e reduzindo sua produtividade (SOUZA, 2018). Estima-se que a doença possa causar quedas de 20 a 40% na produtividade de colmos e de 15 a 20% no teor de sacarose (CRUZ et al., 2014). Segundo Zuza e Borsato (2013), as quedas de produtividade aumentam a cada corte, ou seja, a ferrugem alaranjada também reduz a longevidade do canavial.

2.6. Controle das ferrugens da cana-de-açúcar

As ferrugens marrom e alaranjada da cana-de-açúcar podem ser controladas através da pulverização de fungicidas ou pela substituição de variedades suscetíveis por resistentes. A ferrugem marrom também pode ser controlada através da época de plantio ou de colheita, de maneira que a fase de maior suscetibilidade das plantas, que ocorre dos dois aos seis meses de idade (TOKESHI; RAGO, 2005), não coincida com o período mais favorável à doença.

O controle químico das ferrugens da cana-de-açúcar é considerado complexo, devido à grande capacidade de disseminação dos patógenos. A pulverização de fungicidas só é economicamente viável em épocas de intenso crescimento da planta, em variedades com alto potencial produtivo e que

apresentem resistência intermediária à doença (SANGUINO; TOLEDO, 1983). Os fungicidas devem ser utilizados de forma preventiva ou no início dos sintomas, quando não for possível substituir as variedades suscetíveis por variedades resistentes em curto prazo (SOUZA, 2018). Estudos relacionados à viabilidade do controle químico da ferrugem alaranjada foram efetuados no Brasil por Collette (2016), que observou que a combinação dos fungicidas fluxapiraxade e piraclostrobina, quando aplicada após o surgimento dos primeiros sintomas da doença, reduziu significativamente a severidade da doença.

Devido às dificuldades relacionadas ao controle químico, o uso de variedades resistentes é considerado o principal método de controle das ferrugens da cana-de-açúcar; tal método, além de menor impacto ambiental, possui menor custo para adoção. Na Austrália, quando a variedade Q124 e outras suscetíveis à ferrugem alaranjada foram substituídas por variedades resistentes, a doença voltou a ter importância secundária no país (MAGAREY et al., 2001; TOKESHI; RAGO, 2005).

A reação de variedades de cana-de-açúcar às ferrugens pode ser identificada através de testes de inoculação artificial, realizados em casa de vegetação (BOMBECINI et al., 2012; CHAPOLA, 2013); por meio de ensaios em condições naturais de infecção, realizados no campo (KLOSOWSKI et al., 2015; ARAÚJO et al., 2013); ou através de marcadores moleculares. Recentemente, diversos estudos têm demonstrado a presença do gene Bru1 na grande maioria dos genótipos de cana-de-açúcar cultivados e utilizados nos programas de melhoramento no Brasil. A presença desse gene está altamente relacionada à resistência à ferrugem marrom; por isso, o desenvolvimento de ferramentas moleculares que auxiliam na seleção de variedades resistentes tem se destacado nos últimos anos (NEUBER, 2017; BARRETO et al., 2017; CRESTE et al., 2008).

O sucesso e a longevidade do uso de variedades de cana-de-açúcar resistentes às ferrugens dependem de vários fatores, como a diversidade do patógeno e a avaliação correta da reação das variedades (MISTURA, 2016). Experimentos em campo para avaliar a resposta de genótipos às ferrugens devem ser conduzidos em regiões favoráveis às doenças e com pressão de inóculo suficiente para que os genótipos sejam devidamente desafiados. Outra medida

importante é a escolha de variedades adequadas como testemunhas, cujas respostas aos patógenos sejam conhecidas, para que se possa compará-las às reações dos genótipos em estudo. Por fim, é fundamental que se opte por uma variável que permita classificar e diferenciar os genótipos de maneira segura e assertiva, refletindo o que de fato ocorre no campo.

3. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo estabelecer um método para classificar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada, baseado em experimentos conduzidos a campo, em condições naturais de infecção.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local

O trabalho foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São Carlos (CCA/UFSCar), localizado em Araras, Estado de São Paulo, como pesquisa para o Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA/UFSCar). O município está situado na latitude 22°18' S, longitude 47°23' W e altitude de 690 m. O clima, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cwa mesotérmico, com verões quentes e úmidos, e invernos secos.

4.2. Delineamento experimental

Entre 2015 e 2019, foram conduzidos cinco experimentos em campo para avaliar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens marrom e alaranjada, em condições naturais de infecção. Os experimentos foram plantados no mês de outubro, exceto em 2017, quando o plantio ocorreu em setembro. Nos dois primeiros anos, o plantio foi manual convencional, utilizando rebolos de três a quatro gemas, a uma densidade de 12 a 15 gemas por metro de sulco. De 2017 a 2019, o plantio foi realizado com plantadeira manual de mudas, utilizando duas mudas pré-brotadas (MPB) por metro de sulco.

O delineamento experimental adotado nos cinco experimentos foi o de blocos casualizados, com três repetições. As parcelas dos experimentos de 2015 e 2016 foram constituídas por dois sulcos de 2 m de comprimento, enquanto que nos demais ensaios as parcelas foram compostas por dois sulcos de 2,5 m. O espaçamento entre sulcos adotado nos cinco experimentos foi de 1,4 m e, nos experimentos de 2017 a 2019, o espaçamento entre plantas foi de 0,5 m. Ao redor das áreas experimentais e entre as repetições, foi plantada a variedade SP89-1115, suscetível à ferrugem alaranjada (CHAPOLA, 2013), e a cada três parcelas foi plantada a variedade RB835486, suscetível à ferrugem marrom (DAROS et al., 2015), ambas como linhas infectoras, com o intuito de aumentar a pressão de inóculo sobre os genótipos a serem avaliados.

4.3. Avaliações

Os sintomas das ferrugens marrom e alaranjada da cana-de-açúcar surgem em forma de lesões na lâmina foliar; por isso, a intensidade de ambas é determinada através da severidade, que consiste na porcentagem de área foliar lesionada em relação à área foliar total (AMORIM; BERGAMIN, 2011). Com auxílio da escala diagramática de Amorim et al. (1987) (Figura 1), estimou-se a severidade de cada ferrugem em dez plantas de cada parcela, a partir das folhas +3 (CHAVARRÍA et al., 2009; KLOSOWSKI et al., 2013), que correspondem à terceira folha expandida, segundo o sistema de Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952), conforme ilustrado na Figura 2.

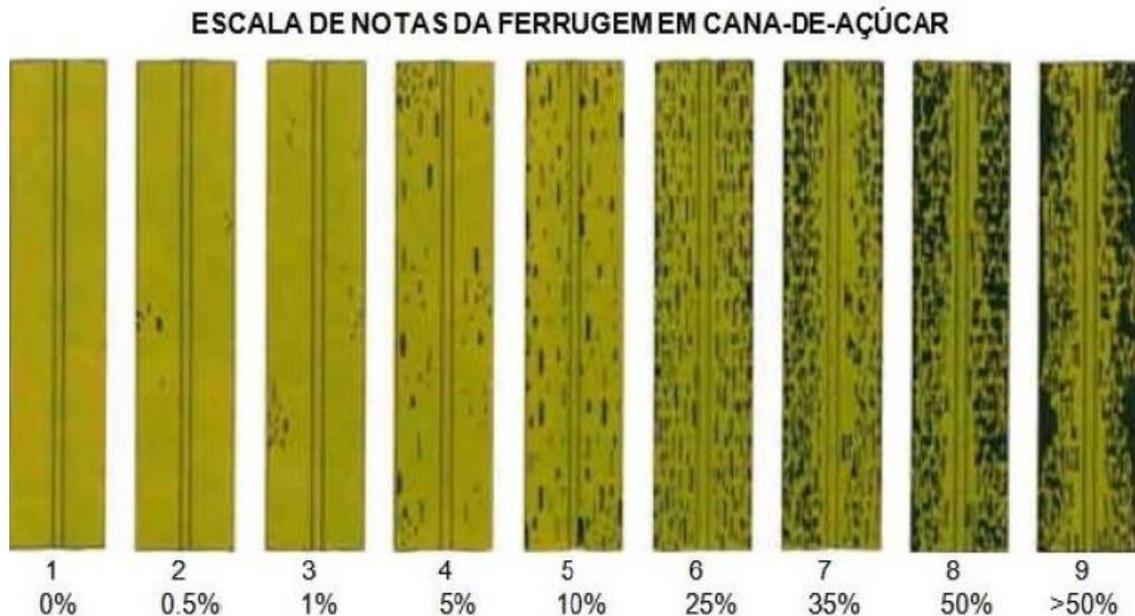


Figura 1. Escala diagramática para avaliação de ferrugem em cana-de-açúcar (AMORIM et al., 1987). As porcentagens abaixo das notas correspondem às respectivas áreas das folhas avaliadas com sintomas de ferrugem.



Figura 2. Localização da folha +3 em planta de cana-de-açúcar, conforme sistema de Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952).

Os experimentos foram avaliados no ciclo de cana-planta. A primeira avaliação foi realizada de três a quatro meses após o plantio, sempre no mês de janeiro. Novas avaliações foram conduzidas a cada 15 dias, até meados de abril ou maio, quando os sintomas das ferrugens marrom e alaranjada se estabilizavam.

A partir dos dados de severidade, foi possível calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada genótipo, tanto para a ferrugem marrom como para a ferrugem alaranjada, utilizando-se a fórmula de Campbell e Madden (1990), mostrada a seguir:

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

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

Em seguida, foi obtida a AACPD corrigida (AACPDC), dividindo-se a AACPD pelo número de avaliações de severidade realizadas; dessa maneira, foi possível comparar as variedades entre os diferentes ensaios, uma vez que os mesmos tiveram quantidades diferentes de avaliações entre eles. Além da AACPDC,

também foi determinada a nota máxima de ferrugem marrom e de ferrugem alaranjada ao longo das avaliações para cada genótipo e em cada experimento.

4.4. Escolha das variedades e análise dos dados

Dentre as variedades utilizadas em cada experimento, foram selecionadas oito para o presente trabalho, adotando-se os seguintes critérios: i) ter sido avaliada nos cinco experimentos (2015 a 2019); e ii) ter apresentado uma das duas ferrugens, tomando-se o cuidado para que as variedades escolhidas tivessem níveis diversos de severidade entre elas. Com base nesses critérios, foram selecionadas as variedades CTC4, RB855035, RB855156, RB92579, SP80-1842 e SP81-3250, além das variedades testemunhas RB835486 e SP89-1115, suscetíveis à ferrugem marrom e à ferrugem alaranjada, respectivamente.

Os dados de AACPDC e de nota máxima foram submetidos à análise de variância, considerando o delineamento de parcelas subdivididas, em que os tratamentos principais foram as oito variedades e os subtratamentos foram os anos em que os experimentos foram montados. Em seguida, as médias das variedades foram comparadas entre si através do teste de Scott-Knott, a 5% de significância. Para as análises estatísticas, foi utilizado o software Sisvar, versão 5.6.

Finalmente, foi calculada a AACPDC relativa (%), dividindo-se a AACPDC de cada variedade pela AACPDC das testemunhas e multiplicando-se o resultado por 100. Dessa maneira, foram obtidos dados de 0 a 100%, com 0% indicando alta resistência e 100% indicando suscetibilidade semelhante à das testemunhas. Com esses dados, buscou-se estabelecer intervalos de AACPDC relativa referentes às seguintes classes de reação para cada ferrugem: resistência, reação intermediária e suscetibilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Ferrugem marrom

A análise de variância dos dados de nota máxima de ferrugem marrom, avaliada em oito variedades de cana-de-açúcar em cinco diferentes ensaios, mostra que houve diferença significativa a 1% de probabilidade para variedades (tratamento principal), ensaios (subtratamento) e para a interação entre variedades e ensaios (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância para nota máxima¹ de ferrugem marrom, avaliada em oito variedades de cana-de-açúcar em cinco ensaios.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr > Fc
Variedade	7	691,73	98,82	2964,57	0,0000**
Erro 1	14	0,47	0,03		
Ensaio	4	16,53	4,13	33,27	0,0000**
Variedade*Ensaio	28	28,27	1,01	8,13	0,0000**
Erro 2	66	8,20	0,12		
Total corrigido	119	745,20			
Cv 1 (%)=	5,53				
Cv 2 (%)=	10,68				
Média geral:	3,30		Número de observações	120	

¹ Segundo escala de Amorim et al. (1987).

**Significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados de nota máxima de ferrugem marrom nas oito variedades em cada um dos cinco experimentos. É possível observar que as variedades RB855156, RB92579, SP81-3250 e SP89-1115 não apresentaram sintomas em nenhum dos experimentos. Por outro lado, as variedades CTC4, RB835486, RB855035 e SP80-1842 mostraram sintomas em diferentes níveis de severidade (Figura 3). A RB835486 mostrou as maiores notas nos cinco experimentos; apenas em 2018 não diferiu significativamente da RB855035. Dentre as que apresentaram sintomas, a SP80-1842 obteve as menores notas, entre 3 e 5; somente em 2015 e 2017 não diferiu estatisticamente das variedades CTC4 e RB855035, respectivamente. Já os genótipos CTC4 e

RB855035, na maioria dos ensaios, apresentaram notas inferiores à RB835486 e superiores à SP80-1842.

Segundo Sordi et al. (1988), a variedade RB835486 apresenta alta suscetibilidade à ferrugem marrom, corroborando os resultados do presente trabalho. Além disso, as altas notas de severidade de ferrugem marrom observadas na RB835486 indicam que o município de Araras está em uma região favorável à doença. Em estudo realizado por Moura (2004), a fim de analisar a herança da resistência à *P. melanocephala* em cana-de-açúcar, o genótipo RB835486 recebeu notas de severidade entre 4 e 6, dados pouco inferiores aos obtidos no presente trabalho; isso pode ser explicado pelo fato de somente uma avaliação ter sido realizada durante a epidemia, provavelmente não correspondendo ao pico de severidade da doença.

Tabela 2. Notas máximas¹ de ferrugem marrom em oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas em cinco experimentos.

Variedades	Experimento				
	2015	2016	2017	2018	2019
CTC4	4,33 Ab	4,67 Ac	6,00 Bc	5,67 Bc	7,33 Cd
RB835486	6,00 Ad	6,00 Ad	7,00 Bd	8,00 Cd	8,33 Ce
RB855035	5,33 Bc	4,67 Ac	4,33 Ab	6,33 Cd	6,33 Cc
RB855156	1,00 Aa				
RB92579	1,00 Aa				
SP80-1842	4,00 Ab	3,67 Ab	4,67 Bb	4,33 Ab	5,00 Bb
SP81-3250	1,00 Aa				
SP89-1115	1,00 Aa				
Média	2,96	2,88	3,25	3,54	3,87

¹ Segundo escala de Amorim et al. (1987).

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Scott-Knott (letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas).

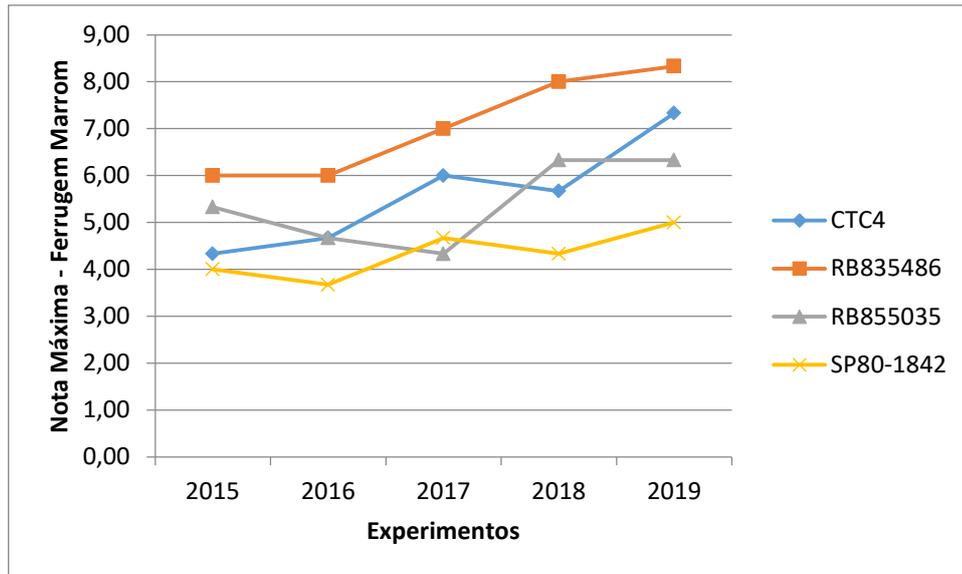


Figura 3. Notas máximas de ferrugem marrom, segundo escala de Amorim et al. (1987), em variedades de cana-de-açúcar avaliadas em cinco experimentos.

A análise de variância para a área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AAPDC) é apresentada na Tabela 3. Assim como ocorreu para a variável nota máxima, houve interação a 1% de significância para variedades, ensaios e para a interação entre variedades e ensaios.

Tabela 3. Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AAPDC¹), obtida para oito variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem marrom em cinco diferentes experimentos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr > Fc
Variedade	7	2677,60	382,51	1009,23	0,0000**
Erro 1	14	5,31	0,38		
Ensaio	4	127,65	31,91	44,11	0,0000**
Variedade*Ensaio	28	209,07	7,47	10,32	0,0000**
Erro 2	66	47,75	0,72		
Total corrigido	119	3067,37			
Cv 1 (%)=	12,16				
Cv 2 (%)=	16,80				
Média geral:	5,06		Número de observações	120	

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

**Significativo a 1% de probabilidade.

A Tabela 4 mostra os resultados de AAPDC para as oito variedades em cada um dos cinco experimentos realizados. Nela, é possível observar que a

AACPDC das variedades RB855156, RB92579, SP81-3250 e SP89-1115 foi igual a 0 em todos os ensaios, o que era esperado, uma vez que as quatro não apresentaram sintomas da doença. Assim como para a variável nota máxima, as variedades CTC4, RB835486, RB855035 e SP80-1842 mostraram diferentes níveis de AACPDC entre elas no decorrer dos cinco ensaios (Figura 4). A RB835486 apresentou a maior AACPDC em todos os experimentos, confirmando sua elevada suscetibilidade à ferrugem marrom. Já a SP80-1842, dentre as variedades que mostraram sintomas da doença, foi a que apresentou os menores valores de AACPDC, diferindo estatisticamente dos genótipos mais resistentes e também da variedade testemunha. Os genótipos CTC4 e RB855035 tiveram, no geral, AACPDC superior à da SP80-1842 e inferior à da RB835486, exceto em 2017, quando a RB855035 não diferiu da SP80-1842.

Tabela 4. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AACPDC¹) obtida para oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem marrom em cinco experimentos.

Variedades	Experimento				
	2015	2016	2017	2018	2019
CTC4	32,94 Ac	39,79 Ac	81,61 Bc	61,35 Bc	191,41 Cd
RB835486	153,18 Ae	120,03 Ad	203,02 Bd	258,77 Ce	333,47 De
RB855035	81,28 Bd	34,35 Ac	36,82 Ab	122,31 Cd	132,31 Cc
RB855156	0,00 Aa				
RB92579	0,00 Aa				
SP80-1842	11,48 Ab	7,09 Ab	36,03 Bb	32,05 Bb	39,13 Bb
SP81-3250	0,00 Aa				
SP89-1115	0,00 Aa				
Média	34,86	25,16	44,68	59,31	87,04

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

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Scott-Knott (letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas).

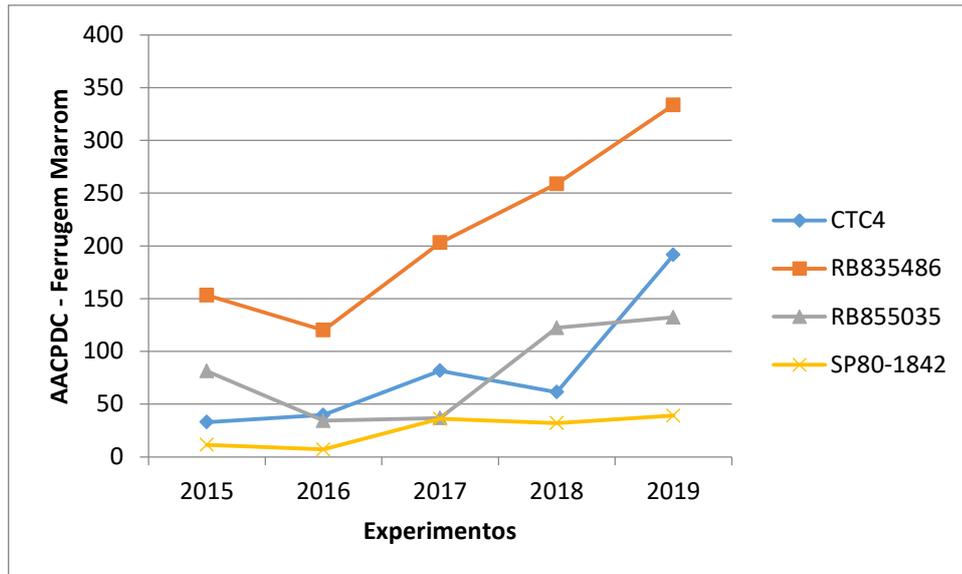


Figura 4. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida para ferrugem marrom em variedades de cana-de-açúcar, avaliadas em cinco experimentos.

Os valores obtidos pelo cálculo da AACPDC relativa à RB835486 nos cinco experimentos estão expostos na Tabela 5. As variedades RB855156, RB92579, SP81-3250 e SP89-1115 apresentaram valores de 0%, o que já era esperado, visto que não apresentaram sintomas de ferrugem marrom durante as avaliações. A SP80-1842, que teve notas máximas e AACPDC superiores às das variedades mais resistentes e inferiores às da RB835486, apresentou AACPDC relativa variando de 5,91% a 17,75%. Já a CTC4 apresentou valores de 21,50% a 57,40%, enquanto que a RB855035 mostrou percentuais de 18,13% a 53,06%.

Tabela 5. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AACPDC) relativa à RB835486 (%)¹, obtida para oito variedades de cana-de-açúcar avaliadas quanto à reação à ferrugem marrom em cinco experimentos.

Variedades	Experimento				
	2015	2016	2017	2018	2019
CTC4	21,50%	33,15%	40,20%	23,71%	57,40%
RB835486	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
RB855035	53,06%	28,61%	18,13%	47,27%	39,68%
RB855156	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RB92579	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SP80-1842	7,49%	5,91%	17,75%	12,39%	11,73%
SP81-3250	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SP89-1115	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

¹Obtida através da divisão da AACPDC de cada variedade pela AACPDC da testemunha RB835486 e multiplicando-se o resultado por 100.

Com os resultados expostos, foi proposta uma classificação para a reação dos genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem marrom baseada na AACPDC relativa, considerando-se a variedade RB835486 como testemunha de suscetibilidade. Como a SP80-1842 foi, dentre as variedades que mostraram sintomas, a que apresentou os menores níveis da doença, considerou-se o intervalo de 0% a 5% para as variedades resistentes, uma vez que o menor valor de AACPDC relativa obtida pela SP80-1842 nos cinco experimentos foi de 5,91%. O intervalo a partir de 5% até 20% foi determinado para as variedades intermediárias, no qual se enquadra a SP80-1842, cujo valor máximo obtido no decorrer dos cinco experimentos foi de 17,75%. Com isso, variedades com valores de AACPDC relativa acima de 20% seriam classificadas como suscetíveis, como a CTC4 e a RB855035 (exceto no experimento de 2017, em que a RB855035 se enquadraria como intermediária). Apesar de ser suscetível à ferrugem marrom, a variedade CTC4 é uma das mais cultivadas na região Centro-Sul do Brasil (CHAPOLA, 2021); isso é possível porque a ferrugem marrom pode ser controlada manejando-se a época de plantio e de colheita, de maneira que a fase de maior suscetibilidade das plantas, que ocorre dos dois aos seis meses de idade (TOKESHI; RAGO, 2005), não coincida com o período mais favorável à doença. A proposta de classificação de variedades de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem marrom, considerando-se a AACPDC relativa, é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Classificação de genótipos de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem marrom, considerando a área abaixo da curva de progresso da doença corrigida relativa à variedade suscetível RB835486.

Intervalos	Classificação
0% a 5%	Resistentes
5% a 20%	Intermediárias
> 20%	Suscetíveis

5.2. Ferrugem alaranjada

Os resultados da análise de variância para nota máxima de ferrugem alaranjada, avaliada em oito variedades de cana-de-açúcar em cinco experimentos, conduzidos em condições naturais de infecção, são mostrados na Tabela 7. É possível observar que houve diferença significativa a 1% de probabilidade para as

variedades (tratamento principal) e para a interação entre variedades e ensaios; para ensaios (subtratamento), houve diferença significativa a 5%.

Tabela 7. Análise de variância para nota máxima¹ de ferrugem alaranjada, avaliada em oito genótipos de cana-de-açúcar em cinco ensaios.

Fonte de variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr > Fc
Variedade	7	537,87	76,84	1217,81	0,0000**
Erro 1	14	0,88	0,06		
Ensaio	4	2,12	0,53	4,13	0,0048*
Variedade*Ensaio	28	21,88	0,78	6,10	0,0000**
Erro 2	66	8,45	0,13		
Total corrigido	119	571,20			
Cv 1 (%)=	7,61				
Cv 2 (%)=	10,84				
Média geral:	3,30	Número de observações		120	

¹ Segundo escala de Amorim et al. (1987).

*Significativo a 5% de probabilidade.

**Significativo a 1% de probabilidade.

Os resultados de nota máxima de severidade de ferrugem alaranjada nas variedades de cana-de-açúcar estudadas nos cinco experimentos são apresentados na Tabela 8. Pode-se observar que as variedades CTC4, RB835486 e SP80-1842 apresentaram baixos níveis ou nenhum sintoma da doença, de maneira que a nota máxima ficasse sempre entre 1 e 2. Os demais genótipos apresentaram níveis variados de nota máxima nos cinco experimentos (Figura 6). A variedade mais suscetível foi a SP89-1115, seguida da SP81-3250. As elevadas notas de severidade de ferrugem alaranjada observadas na SP89-1115 confirmam que o município de Araras se encontra em uma região favorável à doença, o que é validado por Martins (2010). A RB855156, com notas máximas entre 3 e 4 no decorrer dos cinco experimentos, ficou abaixo da SP81-3250, cujas notas máximas variaram entre 5 e 6. O genótipo RB92579, no geral, apresentou notas máximas inferiores ao RB855156, exceto em 2015, quando esses genótipos não diferiram estatisticamente entre si. Já a variedade RB855035 mostrou notas máximas de severidade entre 2 e 4, não diferindo da RB92579 em 2017 e 2018; em 2015 e 2019, apresentou notas inferiores à RB92579, enquanto que, em 2016, foi superior à RB92579 e não diferiu da RB855156.

Tabela 8. Notas máximas¹ de ferrugem alaranjada em oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas em cinco experimentos.

Variedades	Experimento				
	2015	2016	2017	2018	2019
CTC4	1,00 Aa	1,00 Aa	1,00 Aa	2,00 Bb	1,00 Aa
RB835486	1,00 Aa	1,00 Aa	2,00 Bb	2,00 Bb	1,00 Aa
RB855035	2,00 Ab	3,67 Cc	3,00 Bc	2,33 Ab	2,00 Ab
RB855156	4,00 Ac	3,33 Ac	4,00 Ad	3,67 Ac	4,00 Ad
RB92579	4,00 Bc	2,67 Ab	3,00 Ac	2,67 Ab	3,00 Ac
SP80-1842	1,00 Aa	1,00 Aa	2,00 Bb	1,33 Aa	1,00 Aa
SP81-3250	5,67 Bd	6,00 Bd	5,67 Be	5,33 Ad	5,00 Ae
SP89-1115	7,33 Ae	7,00 Ae	7,67 Af	7,33 Ae	8,33 Bf
Média	3,25	3,21	3,54	3,33	3,17

¹ Segundo escala de Amorim et al. (1987).

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Scott-Knott (letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas).

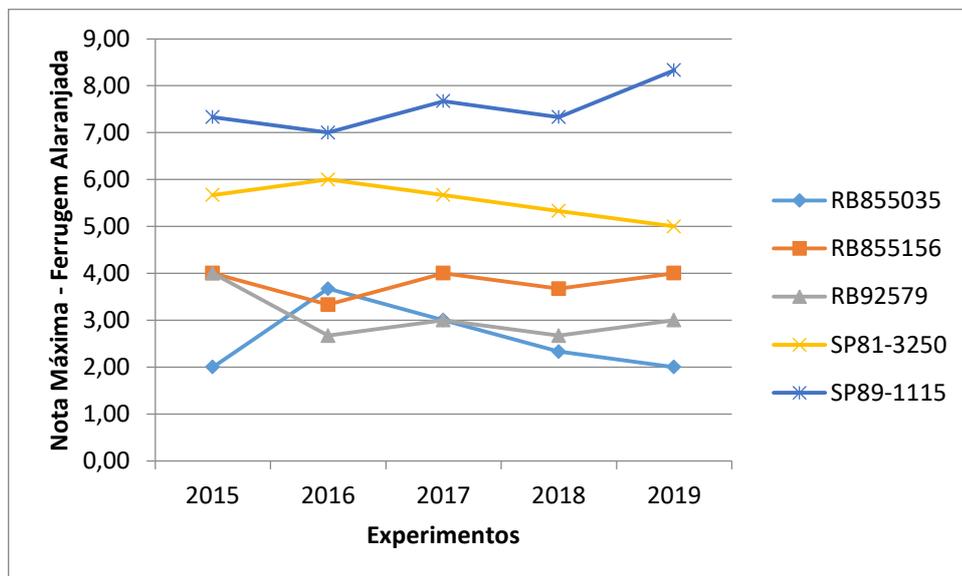


Figura 5. Notas máximas de ferrugem alaranjada, segundo escala de Amorim et al. (1987), em variedades de cana-de-açúcar avaliadas em cinco experimentos.

Na Tabela 9, são mostrados os resultados da análise de variância referente à AACPD, onde é possível observar que houve diferença significativa a 1% para variedades, ensaios e para a interação entre variedades e ensaios.

Tabela 9. Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AAPDC¹), obtida para oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada em cinco experimentos.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F calculado	Pr > Fc
Variedade	7	1488,20	212,60	1258,08	0,0000**
Erro 1	14	2,37	0,17		
Ensaio	4	13,18	3,29	10,65	0,0000**
Variedade*Ensaio	28	79,31	2,83	9,16	0,0000**
Erro 2	66	20,42	0,31		
Total corrigido	119	1603,48			
Cv 1 (%)=	11,01				
Cv 2 (%)=	14,90				
Média geral:	3,73	Número de observações		120	

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

**Significativo a 1% de probabilidade.

Os dados de AAPDC das oito variedades estudadas nos cinco experimentos são expostos na Tabela 10. Assim como ocorreu para nota máxima de severidade, as variedades CTC4, RB835486 e SP80-1842 foram as que apresentaram os menores valores de AAPDC, confirmando a resistência das mesmas à ferrugem alaranjada. Mesmo não tendo sido constatados sintomas expressivos da doença nessas variedades, é recomendável que haja um monitoramento constante das mesmas, pois ao longo do tempo variedades resistentes podem se tornar suscetíveis em função da variabilidade na população do patógeno (ARAÚJO et al., 2013). Os genótipos SP89-1115, SP81-3250, RB855156, RB92579 e RB855035 mostraram níveis variados de AAPDC no decorrer dos cinco ensaios (Figura 7). De maneira semelhante ao que ocorreu para nota máxima de severidade, a variedade SP89-1115 mostrou os maiores valores de AAPDC, confirmando sua alta suscetibilidade à ferrugem alaranjada, também observada em estudos conduzidos por Chapola (2013). Em seguida, a SP81-3250 foi a segunda variedade com maior suscetibilidade, apresentando AAPDC inferior à SP89-1115 e superior às variedades RB855156, RB92579 e RB855035 em todos os ensaios. Já os genótipos RB855035, RB92579 e RB855156 não apresentaram diferenças significativas entre si, exceto em 2015, quando a variedade RB855156 mostrou a maior AAPDC dentre as três e a RB855035 não diferiu das variedades mais resistentes, ficando abaixo da RB92579. Resultados semelhantes para os genótipos

RB855156 e RB92579, considerados intermediários à ferrugem alaranjada, foram obtidos em experimentos conduzidos por Chapola (2013).

Tabela 10. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AAPDC¹), obtida para oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada em cinco experimentos.

Variedades	Experimento				
	2015	2016	2017	2018	2019
CTC4	0,00 Aa	0,00 Aa	0,00 Aa	0,14 Aa	0,00 Aa
RB835486	0,00 Aa	0,00 Aa	0,33 Aa	0,16 Aa	0,00 Aa
RB855035	1,42 Aa	6,83 Ab	3,27 Ab	4,01 Ab	4,10 Ab
RB855156	18,64 Bc	7,35 Ab	7,57 Ab	7,98 Ab	9,78 Ab
RB92579	9,97 Ab	5,53 Ab	4,94 Ab	5,16 Ab	6,16 Ab
SP80-1842	0,00 Aa	0,00 Aa	1,29 Aa	0,03 Aa	0,00 Aa
SP81-3250	81,43 Cd	69,18 Cc	39,96 Bc	30,60 Bc	19,96 Ac
SP89-1115	175,32 Be	106,90 Ad	118,92 Ad	103,00 Ad	201,99 Cd
Média	35,85	24,47	22,04	18,89	30,25

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

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Scott-Knott (letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas).

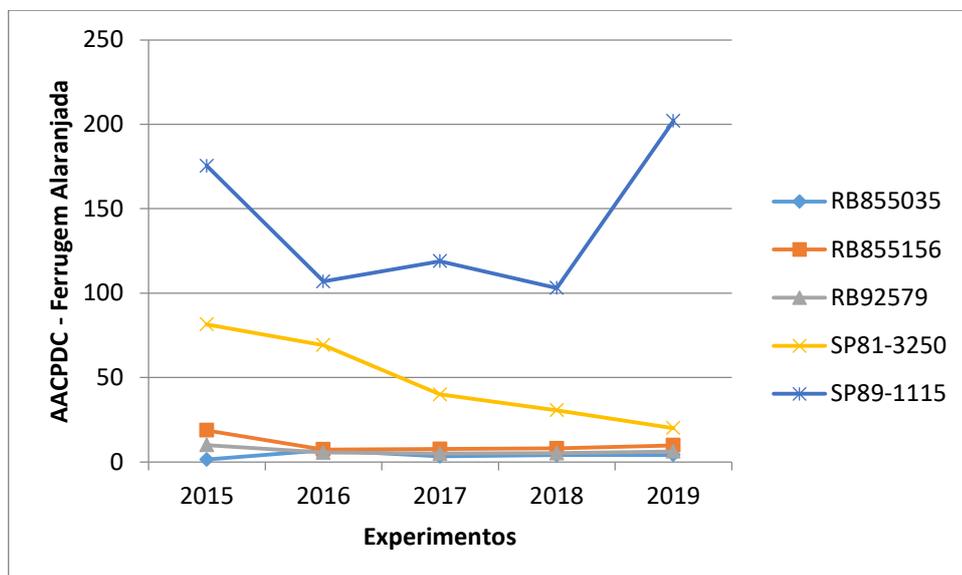


Figura 6. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida para ferrugem alaranjada em variedades de cana-de-açúcar, avaliadas em cinco experimentos.

Na Tabela 11, são apresentados os resultados de AAPDC relativa à SP89-1115 nos cinco experimentos. Como esperado, as variedades CTC4, RB835486 e SP80-1842 apresentaram baixos valores, variando de 0% a 1,08%. A RB855035, primeira acima das variedades mais resistentes, apresentou percentuais

entre 0,81% e 6,39%. Em seguida, o genótipo RB92579 mostrou níveis de AACPDC relativa variando de 3,05% a 5,68%, enquanto que o genótipo RB855156 apresentou valores entre 4,84% e 10,63%. Já a variedade SP81-3250 mostrou percentuais de AACPDC relativa de 9,88% a 64,72%.

Tabela 11. Área abaixo da curva de progresso da doença corrigida (AAPDC) relativa à SP89-1115 (%)¹, obtida para oito variedades de cana-de-açúcar, avaliadas quanto à reação à ferrugem alaranjada em cinco experimentos.

Variedades	Experimento				
	2015	2016	2017	2018	2019
CTC4	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%	0,00%
RB835486	0,00%	0,00%	0,27%	0,15%	0,00%
RB855035	0,81%	6,39%	2,75%	3,89%	2,03%
RB855156	10,63%	6,88%	6,37%	7,75%	4,84%
RB92579	5,68%	5,17%	4,15%	5,01%	3,05%
SP80-1842	0,00%	0,00%	1,08%	0,03%	0,00%
SP81-3250	46,45%	64,72%	33,61%	29,71%	9,88%
SP89-1115	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

¹Obtida através da divisão da AACPDC de cada variedade pela AACPDC da testemunha SP89-1115 e multiplicando-se o resultado por 100.

A partir dos resultados apresentados pelas oito variedades estudadas, propôs-se uma classificação para a reação de genótipos de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada, baseando-se na AACPDC relativa à variedade suscetível SP89-1115. Por ter apresentado notas máximas de severidade e AACPDC inferiores à SP89-1115 e superiores às variedades mais resistentes, a RB855156 foi considerada como variedade padrão de reação intermediária; sendo assim, o intervalo de 4% a 15% de AACPDC relativa foi designado para os genótipos de reação intermediária. Com isso, foi estabelecido o intervalo de 0% a 4% para os genótipos resistentes e, finalmente, determinou-se que os genótipos com AACPDC relativa acima de 15% serão considerados suscetíveis à doença. Pela classificação proposta, as variedades CTC4, RB835486 e SP80-1842 seriam consideradas resistentes. O genótipo RB855035, por sua vez, seria classificado como resistente em quatro dos cinco anos avaliados; em 2016, por apresentar AACPDC relativa de 6,39%, se enquadraria como intermediário à doença. Já a RB92579, ao contrário, seria classificada como intermediária em quatro dos cinco experimentos; em 2019, quando mostrou AACPDC relativa de 3,05%, seria considerada resistente. Finalmente, o genótipo SP81-3250 seria classificado como suscetível à ferrugem

alaranjada, exceto em 2019, quando se enquadraria como intermediário. A proposta de classificação de variedades de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem alaranjada, considerando-se a AACPDC relativa, é apresentada na Tabela 12.

Tabela 12. Classificação de genótipos de cana-de-açúcar quanto à reação à ferrugem alaranjada, considerando a área abaixo da curva de progresso da doença corrigida relativa à variedade suscetível SP89-1115.

Intervalos	Classificação
0% a 4%	Resistentes
4% a 15%	Intermediárias
> 15%	Suscetíveis

6. CONCLUSÃO

A utilização da área abaixo da curva de progresso da doença é a variável mais adequada para comparar a reação de genótipos de cana-de-açúcar às ferrugens, pois seu cálculo considera diversas avaliações de severidade ao longo do ciclo da cultura, demonstrando com maior fidelidade o curso das epidemias.

As classificações sugeridas para a ferrugem marrom e para a ferrugem alaranjada, baseadas na área abaixo da curva de progresso da doença corrigida relativa às variedades padrões de suscetibilidade, são indicadas para experimentos conduzidos em condições semelhantes às do presente estudo, pois foram capazes de diferenciar com assertividade as variedades avaliadas em resistentes, intermediárias e suscetíveis a ambas as doenças.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, L.; BERGAMIN, F. A. Fenologia, Patometria e Quantificação de Danos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. 4 ed. v1: Princípios e Conceitos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 517 – 542.
- AMORIM, L.; BERGAMIN, F. A.; SANGUINO, A.; CARDOSO, C. O. N.; MORAES, V. A.; FERNANDES, C. R. Metodologia de Avaliação de Ferrugem da Cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v.39, p.13-16, 1987.
- ANJOS, I. A.; FIGUEIREDO, P. A. M. de. **Aspectos Fitotécnicos do Plantio**. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico, 2010. 882p.
- 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 a Ocorrência da Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.39, n.4, p.217-275, 2013.
- BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; BRESSIANI, J.; SANGUINO, A. First Report of *Puccinia kuehnii*, Causal Agent of Orange Rust of Sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, v. 94, n. 9, p.1170, 2010.
- BARRETO, F. Z.; BALSALOBRE, T. W. A. CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; CARNEIRO, M. S. Validation of Molecular Markers Associated With Brown Rust Resistance in Sugarcane. **Summa Phytopathologica**, v.43, n.1, p.36-40, 2017.
- BOMBECINI, J.; GONÇALVES, C. R. N.; ASCENCIO, I.; URASHIMA, A. S. Resistance of Sugarcane Varieties to *Puccinia kuehnii* in Brazil. In: APS ANNUAL MEETING, 2012. Providence, Rhode Island. **Abstracts...** Disponível em: http://www.apsnet.org/meetings/Documents/2012_Meeting_Abstracts/aps12abP425.htm. Acesso: 23 abr 2021.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to Plant Disease Epidemiology**. New York; Wiley-Interscience, 1990. 532p.
- CARDOSO, C. O. N.; SANGUINO, A. Ferrugem da Cana-de-açúcar. In: 4º SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA COPERSUCAR, 4., 1988, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: Ave Maria LTDA, 1988. p. 609-625.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de Morfologia e Fisiologia da Cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.

CHAPOLA, R. G. **Reação de Variedades de Cana-de-açúcar à Ferrugem Alaranjada (*Puccinia kuehni*)**. 2013. 77 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

CHAPOLA, R. G. **Censo varietal de cana-de-açúcar dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em 2020**. Canavieiros, ano XIV, n. 178, p. 112-113, maio/junho de 2021.

CHAVARRÍA, E.; BARRANTES, J.; CORRALES, M.; CHAVES, L.; FONSECA, C.; MURILLO, J. P.; NARANJO, P.; SOLÍS, V.; VALVERDE, W. Combate Químico de la roya Naranja. In: CONGRESSO AZUCARERO ATACORI, 17. 2009, San José. **Memorias...** San José: ATACORI, 2009. p. 30.

CHAVES, A.; NETO, D. E. S.; FILHO, J. A. D.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, W. D. L.; PEDROSA, E. M. R.; BORGES, V. J. L.; FRANÇA, P. R. P. Presence of Orange Rust on Sugarcane in the State of Pernambuco, Brazil. **Tropical Plant Pathology**, Recife, v. 38, p. 443-446, 05 out. 2013.

COLLETTE, L. P. **Controle Químico da Ferrugem Alaranjada na Cultura da Cana-de-açúcar**. 2016. 39 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar, safra 2019/2020, quarto levantamento, abril de 2020**. Brasília, 2020, Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/file:///C:/Users/Pc/Downloads/CanaZ4oZlevantamento-5%20\(6\).pdf](http://www.conab.gov.br/file:///C:/Users/Pc/Downloads/CanaZ4oZlevantamento-5%20(6).pdf)>. Acesso em: 16 novembro 2020.

COPERSUCAR. **Ferrugem da Cana-de-açúcar e sua Construção no Município de Capivari**. Edição Especial. Boletim Técnico Copersucar, dezembro de 1986. P. 3-8.

CRESTE, S.; ROSA-JUNIOR, V. E.; PINTO, L. R.; ALBINO, J. C.; FIGUEIRA, A. V. O. **A biotecnologia como Ferramenta para o Melhoramento Genético**. In: DINARDO MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 157-176.

CRUZ, J. C. S.; JERONIMO, E. M.; PERDONA, M. J. Informações sobre a Ferrugem Alaranjada da Cana-de-Açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 11, n. 1, Jan-Jun 2014.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A. de; BARBOSA, G. V. de S. (org.). **45 anos de Variedades RB de Cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**. Curitiba: Graciosa, 2015. 156 p.

DINARD, A. L.; SALAN, R. S. **Impactos Ambientais da Cana-de-açúcar**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET/UNICAMP, 2004. Limeira – SP.

FERRARI, J. T.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R. J.; TERÇARIOL, I. M. L. **Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Biológico, 2010. 8p.

FIGUEIREDO, P.; LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; SCARPARI, M. S.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A. **O instituto Agrônomo (IAC) e Fatos Históricos Relacionados ao Desenvolvimento da Cultura de Cana-de-açúcar até o fim do século XX**. Campinas: IAC, 2011. 47 p.

GAZAFFI, R.; OLIVEIRA, K. M.; SOUZA, A. P. de; GARCIA, A. A. F. Sugarcane: breeding methods and genetic mapping. In: CORTEZ, L. A. B (Coord.). **Bioetanol de Cana-de-açúcar – P&D para Produtividade e Sustentabilidade**. São Paulo: Edgard Blücher. 2010. Disponível em: < http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/openaccess/sugarcane-bioethanol/SUGARCANEETHANOL_33.pdf>. Acesso em: 21 out. 2020.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças Climáticas e a Expectativa de seus Impactos na Cultura da Cana-de-açúcar na Região de Piracicaba, SP**. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water Relations in Sugarcane and Response to Water Deficits. **Field Crps Research**, Amsterdam, v.92, p. 185-202, 2005.

KLOSOWSKI, A. C. **Escala Diagramática, Segregação da Resistência em Progênies de Cana-de-açúcar e Reação de Cultivares à Ferrugem Alaranjada (*Puccinia kuehni*)**. 2012. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

KLOSOWSKI, A. C.; BESPALHOK FILHO, J. C.; RUARO, L.; FRAGOSO, R. B.; MAY DE MIO, L. L. Reação de Cultivares e Época de Avaliação da Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v.31, n.2, p.489-498, 2015.

KLOSOWSKI, A. C.; RUARO, L.; BESPALHOK FILHO, J. C.; MIO, L. L. M. de. Proposta e Validação de Escala para Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 166-171, 2013.

LIMA, L. L.; SCALOPPI, E. A.G.; BARRETO, L. F. Temperaturas e Períodos de Molhamento Foliar no Desenvolvimento da Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar (*Puccinia kuehni*). **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 43, n. 2, p. 132-135, 13 nov. 2014.

MAGAREY, R.; WILLCOX, T.; CROFT, B.; CORDINGLEY, A. Orange rust, a major pathogen affecting crops of Q124 in Queensland in 2000. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONFERENCE, 24., 2001, Brisbane, **Proceedings...** Mackay: ASSCT, 2001. p. 274-28.

MARTINS, T.D. **Aspectos Epidemiológicos da Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar**. 2010. 67p. Tese (Doutorado em Ciências. Área de concentração: Fitopatologia)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MASUDA, Y.; AGUILLERA, M. M.; ASNAGHI, M. S. **A Ferrugem da Cana-de-açúcar no Brasil**. Brasil Açucareiro – Planalsucar, ano LIV – vol. 104, nº 5 e 6. P.6-13, 1986.

MISTURA, T. F. **Fatores que Influenciam no Sucesso e Longevidade do Controle das Ferrugens da Cana-de-açúcar por Variedades Resistentes**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Produção Vegetal e Bioprocessos Associados, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Araras, 2016.

MORAIS, L. K. de; CURSI, D. E.; SANTOS, J. M. dos; SAMPAIO, M.; CÂMARA, T. M. M.; SILVA, P. de A. e; BARBOSA, G. V.; HOFFMANN, H. P.; CHAPOLA, R. G.; FERNANDES JÚNIOR, A. R.; GAZAFFI, R. **Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju. 2015. 38 p. Disponível em: <https://docs.wixstatic.com/ugd/097ffc_fbb2bbed006047cc9c5c15a6d1537623.pdf>. Acesso em: 31 out. 2020.

MORENO, A. **Nova Doença pode Ameaçar Canaviais Brasileiros**. Jornal Cana. Ribeirão Preto- SP. 2008. P. 52.

MOURA, G. L. **Análise da Herança da Resistência à Ferrugem da Cana-de-açúcar *P. melanocephala* H.&P. Syd.** 2004. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Genética, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Carlos, 2004.

MOURA, G. L.; GHELLER, A. C. A.; MATSUOKA, S.; GIGLIOTI, E. A. **The Impacto of rust (*P. melanocephala*) on Sugarcane Production in the State on São Paulo**. In: XXXII Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Curitiba, Brasil. Anais. Fitopatologia Brasileira 24 (supl), 1999, p.279.

NEUBER, A. C. Survey of the Bru1 gene for brown rust resistance in Brazilian local and basic sugarcane germplasm. **Plant Breeding**, v.136, p. 182-187, 2017.

OLIVEIRA, C. S.; MENDES, M. A. S. ***Puccinia kuehnii*, um Risco para a Cultura de Cana-de-açúcar no Brasil**. Comunicado Técnico 184. Brasília- DF. 2008. Disponível em: http://www.cenargen.embrapa.br/publica/trabalhos/ct2008/cot184_1008.pdf.

PLANALSUCAR. **Cultura da Cana-de-açúcar**. Manual de orientação. Piracicaba, 1986. 56p.

SANGUINO, A.; TOLEDO, A. C. D. **Considerações Sobre a Ferrugem da Cana-de-açúcar**. Divisão de Melhoramento. Boletim Técnico Copersucar, São Paulo, v.22, p.25-28, 1983.

SANTOS, A. S. **Doenças Causadas por Fungos e Bactérias em Cana-de-açúcar**. Comunicado Técnico. Campinas: Embrapa, 2004. P. 11-17. Disponível em: http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/santos1_000xf38vwn02wyiv80soht9h8s4br2p.pdf. Acesso em: 09 de out. 2020.

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.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. de. **Anatomia e botânica**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. 882p.

SILVA, M. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; ALMEIDA, A. M.; CAMPANA, M. P.; COELHO, A.; LANDELL, M. G. A.; FIGUEIREDO, P.; PERECIN, D. Danos causados pela ferrugem, *Puccinia melanocephala* a variedades de cana-de-açúcar com diferentes níveis de resistência. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.27, n.1, p.39-43, 2001.

SORDI, R. A.; ARIZONO, H.; MATSUOKA, S. (1988) **Indicadores de Herdabilidade e Avaliação da Resistência de Clones RB à Ferrugem da Cana-de-açúcar**. Brasil Açucareiro 106: 18-23.

SOUZA, B. F. Aspectos gerais da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 5, n. 5, p. 32-47, 08 dez. 2018.

TOKESHI, H.; RAGO, A. Doenças da cana-de-açúcar. In: KIMATI, H. et al (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v.2. cap.21. p.185-196.

UNICA. **A Bioeletricidade da Cana**. Disponível em: <<https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/07/UNICA-Bioeletricidade-julho2019-1.pdf>>. Acesso em: 28 outubro de 2020.

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

ZUZA, J. L. M. F.; BORSATO, L. M. S. L. Análise de Perdas Agrícolas e Econômicas Ocasionalada pela Doença Ferrugem Alaranjada em Canaviais Comerciais de uma Empresa de Bioenergia no Interior de São Paulo. **Anais. XX Congresso Brasileiro de Custos** – Uberlândia, MG, 2013,13p.