

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL KOCH

EFICÁCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DAS FERRUGENS MARROM E
ALARANJADA DA CANA-DE-AÇÚCAR

CURITIBA
2020

GABRIEL KOCH

EFICÁCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DAS FERRUGENS MARROM E
ALARANJADA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Henrique da Silva Silveira Duarte

Coorientadoras: Prof^a. Dra. Lucimeris Ruaro e Prof^a. Dra. Renata Faier Calegario

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto de Oliveira

CURITIBA
2020

Koch, Gabriel

Eficácia de fungicidas no controle das ferrugens marrom e alaranjada da cana-de-açúcar. / Gabriel Koch. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Orientador: Henrique da Silva Silveira Duarte.

Coorientadores: Lucimeris Ruaro; Renata Faier Calegario; Ricardo Augusto de Oliveira.

1. Cana-de-açúcar - Doenças e pragas. 2. Fungos-da-ferrugem. 3. Fungicidas. I. Duarte, Henrique da Silva Silveira. II. Ruaro, Lucimeris. III. Calegario, Renata Faier. IV. Oliveira, Ricardo Augusto de. V. Título. VI. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GABRIEL KOCH** intitulada: **EFICÁCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DAS FERRUGENS MARROM E ALARANJADA DA CANA-DE-AÇÚCAR**, sob orientação do Prof. Dr. **HENRIQUE DA SILVA SILVEIRA DUARTE**, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 05 de Março de 2020.

HENRIQUE DA SILVA SILVEIRA DUARTE

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

ROBERTO JACOMINI CHAPOLA

Avaliador Externo (PMGCA/UFSCAR)

LUCIMERIS RUARO

Coordenador - Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter permitido um caminho com saúde e sabedoria.

À minha família, minha mãe Clades Lone Wommer, meu pai Nilson Koch e meus irmãos Daniel e Miguel pelo apoio e incentivo.

À minha namorada, Nathália, pelo amor, carinho e incentivo em todos os momentos durante o mestrado.

Ao meu orientador Prof^o Dr. Henrique da Silva Silveira Duarte, coorientador Prof^o Dr. Ricardo Augusto de Oliveira e coorientadoras Prof^a Dra. Lucimeris Ruaro e Prof^a Dra. Renata Faier Calegario pelos ensinamentos e apoio durante todo mestrado.

Aos meus amigos do laboratório, Evandro, Jhulia, Camilla, Alexandre, Thiago, Juliana, Marlon, Wagner, Danielle, Heloisa, Lívia, Mônica, Brenda, Débora, Giovana, Meira, Carlos, Rafaele e Eliane.

Aos demais amigos, pelo incentivo durante todo mestrado.

Aos técnicos de laboratório Izabel, Virgínia, Simone, Tiago e Maria Emília, pela ajuda, disponibilidade e apoio.

Aos professores da Pós-Graduação pela dedicação e ensinamentos.

À secretaria do PGAPV, Sra. Lucimara Antunes, pela disposição e empenho.

Aos funcionários da Funpar, em especial ao Fábio Vieira e ao Guilherme Berton, pelo esforço e auxílio no desenvolvimento dos experimentos.

Aos funcionários do departamento de Fitotecnia e Fitossanidade pelo auxílio.

Ao Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar – RIDESA pelo financiamento da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder a bolsa de Mestrado.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram com a pesquisa e torceram por mim.

RESUMO

A ferrugem alaranjada (FAL) e a ferrugem marrom (FEM) estão entre as mais importantes da cana-de-açúcar. O uso de fungicidas é uma alternativa para complementar a resistência varietal. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficácia de fungicidas no controle de ambas as ferrugens. Dois experimentos, um para cada ferrugem, foram conduzidos no estado do Paraná, Brasil, em cana planta e em cana soca. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 8 tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram: testemunha (T1), piraclostrobina (T2), piraclostrobina + epoxiconazol (T3), azoxistrobina + ciproconazol (T4), azoxistrobina + tebuconazol (T5), trifloxistrobina + tebuconazol (T6), azoxistrobina + benzovindiflupir (T7) e piraclostrobina + fluxapiroxade (T8). As cultivares RB72454 e RB835486 foram utilizadas para o experimento com a FAL e FEM, respectivamente. Foram realizadas quatro aplicações dos fungicidas, tanto em cana planta quanto em cana soca, com intervalos de 30 dias aproximadamente. Com os dados de severidade ao longo do tempo, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença relativa (AAPDR). Após a colheita, foi estimada a produtividade (TCH) e feitas análises tecnológicas de açúcar total recuperável (ATR), pol%cana (PC), BRIX e toneladas de pol por hectare (TPH). Por meio da AAPDR, os tratamentos T3, T4, T5, e T7 foram os mais eficientes para o controle da FAL e os tratamentos T2, T3, T4, T5, T7 e T8 foram os mais eficientes para o controle da FEM. A produtividade foi afetada pelas doenças apenas em cana-soca. A variável TPH diferiu estatisticamente apenas em cana-soca para FEM, no qual todos fungicidas diferiram da testemunha. As variáveis ATR, PC e BRIX não sofreram influência de ambas as ferrugens.

Palavras-chave: *Puccinia kuehnii*. *Puccinia melanocephala*. *Saccharum spp.* Controle químico.

ABSTRACT

Orange rust (OR) and brown rust (BR) are among the most important diseases of sugarcane. The use of fungicides is an alternative to complement varietal resistance. The objective of the work was to evaluate the efficacy of fungicides in the control of both rusts. Two experiments, one for each rust, were conducted in the state of Paraná, Brazil, in cane-plant and in cane-ratoon. A randomized block design with 8 treatments and three replications was used. The treatments were: control (T1), pyraclostrobin (T2), pyraclostrobin + epoxiconazole (T3), azoxystrobin + cyproconazole (T4), azoxystrobin + tebuconazole (T5), trifloxystrobin + tebuconazole (T6), azoxystrobin + benzovindiflupyr (T7) e pyraclostrobin + fluxapyroxad (T8). The cultivars RB72454 and RB835486 were used for the experiment with OR and BR, respectively. Four applications of fungicides were carried out, both in cane-plant and in cane-ratoon, with intervals of approximately 30 days. With the severity data over time, the relative area under the disease progress curve (RAUDPC) was calculated. After harvest, productivity (tons of cane per hectare - TCH) was estimated and technological analyzes of total recoverable sugar (TRS), pol% cane (PC), BRIX and tons of pol per hectare (TPH) were performed. From RAUDPC results, treatments T3, T4, T5, and T7 were the most efficient for the control of OR and treatments T2, T3, T4, T5, T7 and T8 were the most efficient for controlling BR. Productivity was affected by diseases only in cane-ratoon. The TPH variable differed statistically only in cane-ratoon for OR, in which all fungicides differed from the control. TRS, PC and BRIX variables were not influenced by both rusts.

Keywords: *Puccinia kuehnii*. *Puccinia melanocephala*. *Saccharum* spp. Chemical control.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	CANA-DE-AÇÚCAR	11
2.2	FERRUGENS DA CANA-DE-AÇÚCAR	12
2.2.1	FERRUGEM ALARANJADA	13
2.2.2	FERRUGEM MARROM	16
2.2.3	CONTROLE	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	ASPECTOS GERAIS	24
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	25
3.3	AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE, COLHEITA E ANÁLISE DE DADOS	25
4	RESULTADOS	30
4.1	FERRUGEM ALARANJADA	30
4.2	FERRUGEM MARROM	32
4.3	DADOS METEOROLÓGICOS	33
5	DISCUSSÃO	36
6	CONCLUSÕES	41
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar representa grande importância econômica para o mundo. Além da produção de etanol e açúcar, as unidades produtoras têm visado a sustentabilidade e redução de custos através da geração de energia elétrica por meio da cultura. A cana-de-açúcar foi responsável por uma produção nacional de 642,7 milhões de toneladas em uma área de 8,4 milhões de hectares na safra de 2019/20, o que faz do Brasil o maior produtor mundial da cultura. O Brasil contou com uma produtividade média nacional de aproximadamente 76,3 toneladas por hectare (CONAB, 2020). Entretanto, o cultivo é frequentemente afetado por problemas fitossanitários, gerando um aumento no custo de produção. Dentre esses problemas, doenças como as ferrugens alaranjada e marrom podem limitar o desenvolvimento da cultura, podendo causar redução da produção da cultura.

A ferrugem marrom, causada pelo fungo *Puccinia melanocephala*, foi identificada pela primeira vez em 1978, na República Dominicana. Logo após, em 1981 e 1982, causou prejuízos de mais de 50% na produção no México (PURDY et al., 1983; COMSTOCK et al., 1992). A doença rapidamente se disseminou e o primeiro relato no Brasil ocorreu em 1986, em Capivari/SP (SANGUINO et al., 1987; SORDI et al., 1988).

Em 2009 ocorreu o primeiro relato da ferrugem alaranjada, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii* no Brasil, em Araraquara/SP (BARBASSO et al., 2010). Essa doença teve seu primeiro relato em 1914, quando Butler encontrou o primeiro teliósporo do fungo causador (RYAN e EGAN, 1989). Na Austrália, em 2000, essa doença acarretou uma queda na produção de 24%, causando prejuízos de 210 milhões de dólares australianos (MAGAREY et al., 2001).

O principal método de controle das ferrugens alaranjada e marrom é o controle genético, por meio da utilização de cultivares resistentes. No entanto, cultivares que apresentavam excelente potencial de produtividade deixaram de ser utilizadas pela alta suscetibilidade a essas doenças. A aplicação de fungicidas é recomendada quando a substituição de cultivares suscetíveis pelas resistentes não for possível em curto tempo (CHAPOLA, 2013). Além disso, cultivares que são consideradas resistentes em um determinado local e época,

podem apresentar outro comportamento com as mudanças dessas condições (SANTOS, 2010). O controle químico poderá ser utilizado também em situações onde ocorreu a suplantação da resistência do hospedeiro pelo patógeno e ainda se deseja utilizar essas cultivares por possuírem características agronômicas interessantes.

Nos últimos anos, tem aumentado o número de fungicidas registrados para o controle das ferrugens da cana-de-açúcar. Atualmente, os grupos químicos registrados para a cultura em ação sistêmica no Brasil são: estrobilurinas, triazóis, carboxamidas, fenilpirrol, acilalaninato, a mistura entre eles, cada um desses grupos com mecanismos de ação distintos (AGROFIT, 2020). As estrobilurinas atuam na inibição da respiração mitocondrial, por meio da inibição da quinona oxidase. Os triazóis atuam na parede celular das hifas dos fungos verdadeiros, inibindo a biossíntese de esteróis. Assim como as estrobilurinas, as carboxamidas também atuam na respiração mitocondrial, inibindo a enzima succinato desidrogenase. Os fungicidas cujo grupo químico é o fenilpirrol atuam na transdução do sinal osmótico. O acilalaninato atua na RNA polimerase (FRAC, 2020). O objetivo desse trabalho foi o de avaliar a eficácia de fungicidas de ação sistêmica no controle das ferrugens alaranjada e marrom da cana-de-açúcar e seu efeito na produtividade e em caracteres tecnológicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar representa grande importância econômica para o Brasil. Além da produção de etanol e açúcar, as unidades produtoras têm visado a sustentabilidade e redução de custos através da geração de energia elétrica por meio da combustão do bagaço da cana, representado pelo resíduo fibroso da cana. O etanol é uma válida alternativa ao esgotamento das jazidas petrolíferas e ao alto custo da extração do petróleo (CONAB, 2020).

A cana é produzida em 121 países, sendo 88% de toda produção mundial concentrada nos 15 maiores produtores. O Brasil é o maior produtor mundial da cana-de-açúcar com uma produção de aproximadamente 642,7 milhões de toneladas, plantados em cerca de 8,4 milhões de hectares em 2019 (CONAB, 2020). O segundo maior produtor mundial é a Índia (306,0 milhões de toneladas), seguida da China (104,4 milhões de toneladas), Tailândia (102,9 milhões de toneladas) Paquistão (73,4 milhões de toneladas) e México (56,9 milhões de toneladas) (FAO, 2019). Além disso, São Paulo é o estado brasileiro que possui a maior produção, sendo responsável por 53,3% de toda produção nacional. Nesse cenário, o Estado do Paraná figura na quinta posição atrás também de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, sendo responsável por 5,3% da produção nacional (CONAB, 2020). A produtividade média no Brasil na safra 2019/2020 foi de 76,1 toneladas por hectare, aproximadamente 1,1 tonelada a mais do estimado para a safra 2020/2021. Com isso, houve uma produção de cerca de 29,7 milhões de toneladas de quilos de açúcar e aproximadamente 34 bilhões de litros de etanol advindos da cana-de-açúcar (CONAB, 2020).

A cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, pertence à família Poaceae. Seu centro de origem é desconhecido, no entanto, a teoria mais aceita é a de que a cana seja originária da Nova Guiné e ilhas vizinhas, sendo, posteriormente, levada para o sul da Ásia (FAUCONNIER e BASSEREAU, 1975). Trata-se de uma planta herbácea, de grande porte e que possui um ciclo semi-perene, permitindo, dessa forma, a colheita em mais de um corte da mesma planta. O ciclo da cana plantada pela primeira vez oriunda de muda e que recebe o

primeiro corte chama-se cana-planta. Após a colheita da cana-planta inicia-se o ciclo de cana-soca, e esse ciclo continua até a reforma da área, podendo chegar, em média, a quatro a cinco colheitas (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011).

A cana é cultivada desde a latitude 35°N até 35°S e, além disso, a cultura vem enfrentando grandes desafios tecnológicos que visam atender programas de energia renovável e bioenergia. Diante disso, é de suma importância a caracterização das suas exigências climáticas (BRUNINI, 2008). Apesar de sua alta adaptação, os principais fatores que determinam o sucesso da cultura são a temperatura do ar e a precipitação pluvial. Em temperaturas abaixo de 25°C o crescimento da cana é lento, entre 30 e 34°C é máximo e acima de 35°C o crescimento volta a ser lento (FAUCONNIER e BASSEREAU, 1975). Ao mesmo tempo, períodos de baixa temperatura e déficit hídrico favorecem a maturação da planta (ANJOS e FIGUEIREDO, 2008).

As épocas de plantio e de colheita são intimamente relacionadas às condições climáticas de cada região. Por isso, no Brasil, a cana é cultivada em dois períodos distintos: de abril a dezembro na região Centro-Sul e de setembro a março nas regiões Norte e Nordeste. A temperatura média do ar e a precipitação pluviométrica devem ser consideradas na escolha da época de plantio, para que se evite um baixo desenvolvimento inicial (CHAPOLA, 2013).

A produtividade da cana é influenciada por fatores edafoclimáticos, bem como fatores biológicos. Dentro desses últimos estão as doenças, que se constituem em uma variável avaliada em programas de melhoramento, visto que as mesmas podem causar grandes prejuízos na produção (WALKER, 1987).

2.2 FERRUGENS DA CANA-DE-AÇÚCAR

Do preparo do solo à colheita, há uma série de fatores que podem afetar a produtividade da cana-de-açúcar, dentre eles, destacam-se a ocorrência e a severidade das doenças, que se constituem na principal justificativa para a substituição de cultivares (SANTOS, 2004).

A ferrugem marrom, causada por *Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd. e a ferrugem alaranjada, causada por *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E.J. Butler são as duas ferrugens que podem acometer a cultura da cana-de-açúcar e que

já foram relatadas no Brasil. As diferenças entre ambas são poucas, mas podem ser encontradas tanto na visualização dos sintomas e época de ocorrência, quanto na morfologia das estruturas do agente causal (MAGAREY, 2000; VIRTUDAZO, NOJIMA e KAKISHIMA, 2001; INFANTE et al., 2009). Além disso, elas podem ser diferenciadas através de análises moleculares, via reação de *polymerase chain reaction* (PCR). Já foram desenvolvidos protocolos de PCR e PCR em tempo real para detectar ambas as ferrugens antes mesmo do desenvolvimento dos sintomas (GLYNN et al., 2010).

No Brasil, a ferrugem marrom foi pela primeira vez relatada no ano de 1986, enquanto que a ferrugem alaranjada foi encontrada pela primeira vez em 2009. Além delas, outra ferrugem que ataca a cana-de-açúcar é a *Tawny rust* (ferrugem africana), causada por *Macruropyxis fulva*. É uma doença que foi primeiramente relatada na Suazilândia e que não se encontra no Brasil até o momento, e se distingue das ferrugens marrom e alaranjada em cor, tamanho e forma dos urediniósporos (MARTIN et al., 2017).

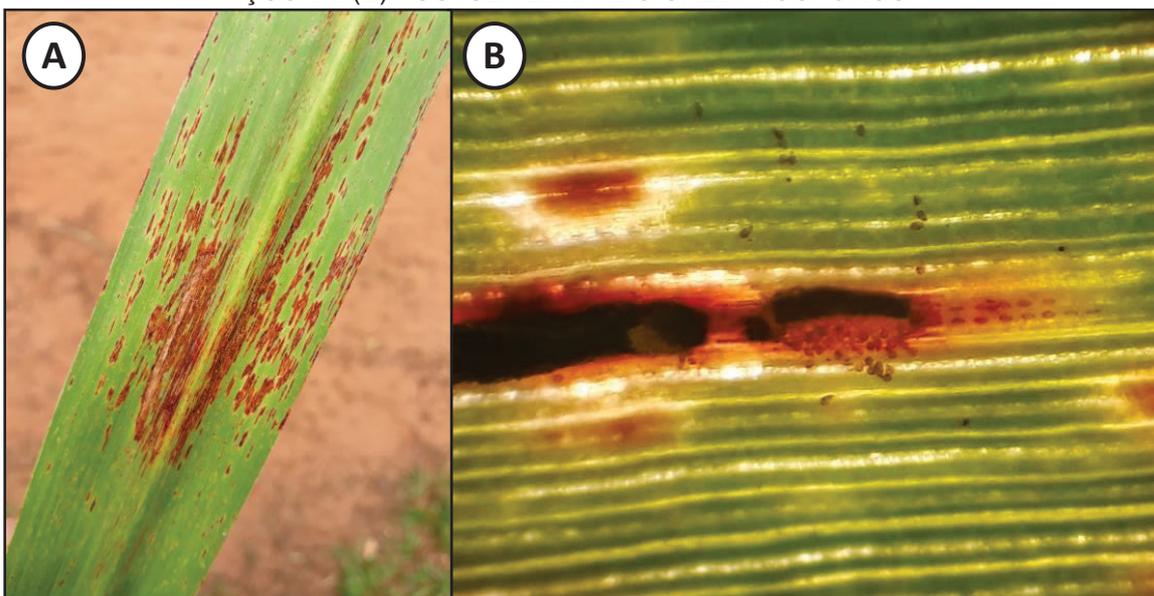
2.2.1 FERRUGEM ALARANJADA

A ferrugem alaranjada é causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, um basidiomiceto, que pertence à Classe Pucciniomycetes, Ordem Pucciniales, Família Pucciniaceae (INDEX FUNGORUM, 2020). Trata-se de um organismo biotrófico e, portanto, que não pode ser cultivado em meio de cultura. Entretanto, possui uma baixa gama de hospedeiros, atacando principalmente plantas do gênero *Saccharum*, ao qual pertence a cana-de-açúcar, sendo hospedeiras deste fungo as espécies *S. arundinaceum*, *S. bangalense*, *S. cultivar*, *S. edule*, *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. ravannae*, *S. sp.*, *S. munja*, além de *Sclerostachya fusca* e *Erianthus ravennae*, totalizando 12 diferentes espécies (United States Department Of Agriculture - USDA, 2019).

Trata-se de uma doença que ataca as folhas da cana e, assim sendo, reduz a capacidade fotossintética e, conseqüentemente, a produção de sacarose. Os primeiros sintomas aparecem como pequenas pontuações cloróticas, denominadas “flecks”. Essas pontuações acarretam no rompimento da epiderme das folhas, formando as pústulas, encontradas principalmente na

face abaxial da folha (FIGURA 1). As pústulas da ferrugem alaranjada se manifestam na cor laranja a castanho-alaranjada (ZHAO et al., 2011). São mais frequentes na base e meio das folhas, e o terço apical apresenta poucos sintomas (MINCHIO, CANTERI e ROCHA, 2011). Com o tempo, essas pústulas se abrem, liberando os esporos, chamados urediniósporos, que são unicelulares, ovoides a piriformes ou elipsoides, de coloração amarela a castanha-clara, com a espessura da parede de 1 a 2,3 μm , apresentando espessamento no ápice (CHAPOLA, 2013). Em condições ambientais adequadas, juntamente com cultivares suscetíveis, a evolução do sintoma ocorre de forma muito rápida (FERRARI et al., 2010).

FIGURA 1 – (A) SINTOMAS DA FERRUGEM ALARANJADA EM FOLHA DA CANA-DE-AÇÚCAR. (B) PÚSTULA EXIBINDO UREDINIÓSPOROS.



FONTE: O autor (2019).

O primeiro registro da doença foi feito em 1890, na Ilha de Java, por Krüger. No entanto, foi em 1914 quando Butler encontrou o primeiro teliósporo do fungo causador da ferrugem alaranjada e que o agente foi denominado como *Puccinia kuehnii* (RYAN e EGAN, 1989). A ferrugem alaranjada não era considerada uma doença importante, pois não causava grandes danos econômicos. Porém, no ano 2000, acredita-se que uma nova raça do patógeno desenvolveu-se nos canaviais da Austrália, atingindo uma cultivar anteriormente considerada resistente e que representava cerca de 45% da área plantada

naquele país. Tal evento ocasionou uma queda na produção de 24% e gerou prejuízos de 210 milhões de dólares australianos (MAGAREY et al., 2001).

Assim como todas as ferrugens, a disseminação da ferrugem alaranjada da cana é muito rápida, bem como seu estabelecimento em novo local. Após o evento na Austrália, ocorrências foram registradas nos Estados Unidos (Flórida) (COMSTOCK et al., 2008), Costa Rica, Nicarágua (CHAVARRIA et al., 2009) e Guatemala (OVALLE et al., 2008) em 2007 e Panamá, El Salvador e México em 2009 (FLORES et al., 2009).

Antes da doença chegar ao Brasil, algumas cultivares brasileiras foram testadas na Austrália, com o intuito de identificar a resistência e a suscetibilidade e, nesses testes, a cultivar RB72454 apresentou-se como suscetível à ferrugem alaranjada (MAGAREY, 2007). Esse resultado trouxe grande preocupação, pois tratava-se de uma cultivar com área plantada bastante representativa no Brasil e, além disso, a mesma foi utilizada como genitora em muitos cruzamentos (RIDESA, 2010). Em 2009, na cidade de Araraquara, em São Paulo, houve o primeiro relato da doença no Brasil (BARBASSO et al., 2010). No estado do Paraná, a primeira informação da doença, ocorreu na cidade de Paranacity em 2010 (Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar – Universidade Federal do Paraná - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético, 2011). Atualmente, a ferrugem alaranjada já se encontra disseminada nas principais regiões produtoras do país (CHAPOLA, 2013; CHAVES et al., 2013).

A ferrugem alaranjada tem sua severidade maior em plantas de porte adulto e ocorre, predominantemente, durante o verão úmido (MAGAREY, 2000 e FRAGOSO et al., 2011) e alternância de calor e frio no outono (MAGAREY, 2000); além disso, a alta pluviosidade favorece o seu desenvolvimento (CROFT, MAGAREY e WHITTLE, 2000). O início da infecção se dá com a penetração e, no caso da *P. kuehni*, ela ocorre com o crescimento do tubo germinativo a partir dos urediniosporos depositados acima ou abaixo das folhas do hospedeiro e posterior desenvolvimento do apressório, responsável justamente pela fixação e penetração do fungo. O período de incubação e o período de latência estão diretamente relacionados com período de molhamento foliar e pela temperatura (MARTINS, 2010). Em seu trabalho, Martins (2010) observou que o período de incubação variou entre 11 e 16 dias, assim como o período de latência, ou seja,

as lesões visualizadas iniciavam-se já esporulantes. Os esporos possuem condições para germinar em uma faixa de temperatura de 10 a 34°C e umidade relativa acima de 90% (HSIEH e FANG, 1983). Magarey et al. (2004) consideraram como condições ótimas para a germinação temperaturas entre 22 e 24°C e umidade relativa entre 98% e 99%.

As ferrugens possuem um ciclo de vida complexo, com até cinco diferentes estágios: pícnio, com formação de hifas receptivas e espermásias; écio, com produção de eciósporos; urédia, com formação de urediniósporos; télia, com produção de teliósporos; e basídio, com formação de basidiósporos (PEREIRA e SOARES., 2012). Entretanto, *P. kuehnii* trata-se de um fungo que tem apenas o estado assexual conhecido. Os teliósporos são raramente encontrados e nenhum relato ainda foi feito no Brasil. Estruturas do écio e espermogônio ainda são desconhecidas (RYAN e EGAN, 1989).

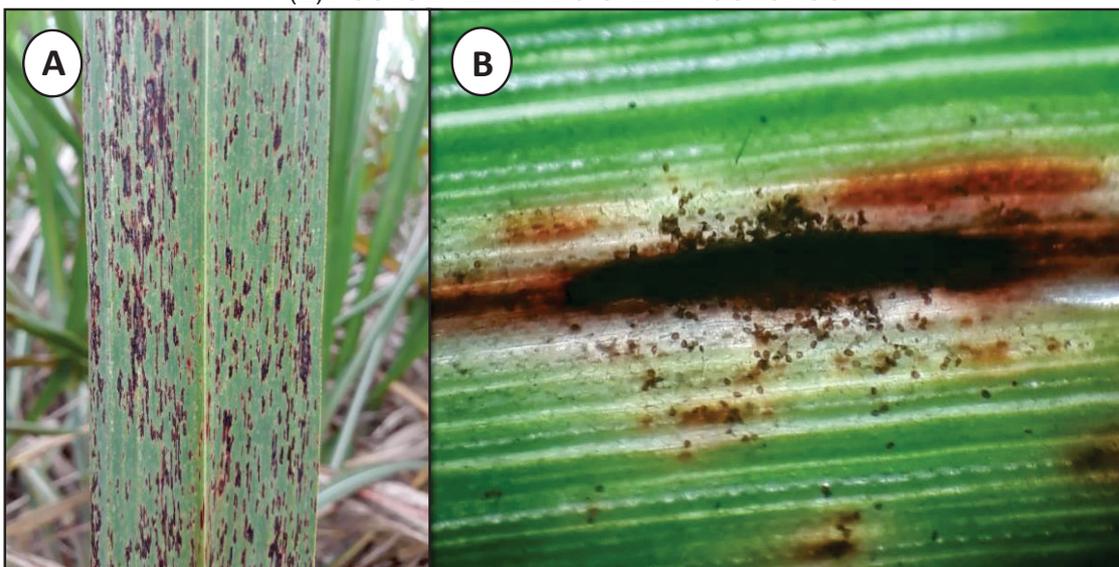
2.2.2 FERRUGEM MARROM

A ferrugem marrom é causada pelo fungo *Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd. Trata-se de um basidiomiceto, Ordem Pucciniales e Família Pucciniaceae (INDEX FUNGORUM, 2020). Assim como a ferrugem alaranjada, é um organismo biotrófico e, portanto, não cresce em meio de cultura. Entretanto, nesse caso, a gama de hospedeiros possui 23 espécies diferentes de plantas, sendo elas: *Aquilegia fragrans*, *Aquilegia pubiflora*, *Bambusa sp.*, *Bambusa vulgaris*, *Bambuseae*, *Erianthus fulvus*, *Erianthus ravennae*, *Erianthus rufipilus*, *Erianthus sp.*, *Miscanthus floridulus*, *Miscanthus sacchariflorus*, *Miscanthus sinensis*, *Miscanthus sp.*, *Narenga porphyrocoma*, *Phyllostachys aurea*, *Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys glauca*, *Phyllostachys puberula*, *Phyllostachys sp.*, *Saccharum officinarum*, *Saccharum sp.*, *Saccharum spontaneum* e *Sinarundinaria sp.* (USDA, 2019).

Os sintomas manifestam-se através de pústulas marrom escuras, maiores que as da ferrugem alaranjada e com um formato alongado (FIGURA 2). As pústulas presentes na face abaxial das folhas medem de 2 a 7 mm de comprimento por 1 mm de largura (TOKESHI & RAGO, 2005). Além disso, as lesões formadas possuem distribuição aleatória, porém com maior frequência do

meio para as pontas das folhas (FIGURA 2) (MAGAREY, 2000). Os urediniósporos produzidos são marrom-escuros, ovoides a elipsoides. Os teliósporos podem se formar isoladamente ou em pústulas urediniais; esses são capazes de germinar, mas não infectam folhas da cana-de-açúcar, mostrando que *Puccinia melanocephala* não é autotécio e deve possuir hospedeiro alternativo (TOKESHI e RAGO, 2005). A disseminação ocorre basicamente através do vento e, em distâncias longas, através de folhas aderidas aos toletes contaminadas. Urediniósporos, teliósporos e basidiósporos foram encontrados e relatados na cana-de-açúcar, porém os urediniósporos são os mais comuns. Os basidiósporos já foram encontrados, porém não possuem capacidade de iniciar uma infecção na planta (PURDY et al., 1983).

FIGURA 2 – (A) SINTOMAS DA FERRUGEM MARROM NA FOLHA DA CANA-DE-AÇÚCAR. (B) PÚSTULA EXIBINDO UREDINIÓSPOROS.



FONTE: O autor (2019).

O primeiro relato da doença foi realizado em 1907, em *Erianthus ravennae*, na Índia (CUMMINS, 1953 e SATHE, 1971). Na cana-de-açúcar, foi observada pela primeira vez no ano de 1949, mas foi classificada como *Puccinia sacchari* (PATEL et al., 1950). A ferrugem marrom foi identificada em 1978 na República Dominicana e isso representou o início da epidemia nas Américas. Existem relatos de perdas na produção chegando a mais de 50% no México em 1981 e 1982 (PURDY et al. 1983; COMSTOCK et al., 1992). No trabalho de Silva

et al. (2001), houve relato de reduções na produtividade de dez toneladas por hectare nas cultivares SP71-799 e SP70-1284. Antes disso, nas décadas de 50 e 60 na Índia, registros de epidemias da ferrugem marrom foram feitos nas cultivares Co475, CoS51 e Co876, que foram descartadas do plantio comercial (PURDY et al. 1983; COMSTOCK et al., 1992).

A ferrugem marrom chegou ao Brasil no ano de 1986, sendo relatada pela primeira vez no município de Capivari/SP e rapidamente encontrada também nos estados de Pernambuco e Alagoas (SANGUINO et al., 1987; SORDI et al., 1988). Entretanto, *P. melanocephala* não causou grandes prejuízos pelo fato de cerca de 90% das cultivares plantadas no país possuírem resistência (TOKESHI e RAGO, 2005). Atualmente a doença causa problemas de suplantação da resistência de cultivares. Por isso, os programas de melhoramento genético devem buscar manter no campo as cultivares economicamente viáveis.

A ocorrência da ferrugem marrom é mais intensa em temperaturas amenas e nas épocas de maior umidade relativa do ar, e a maior suscetibilidade da cultura ocorre na primeira metade de seu ciclo vegetativo, especificamente entre dois e oito meses de idade, ou seja, é uma doença que ataca a planta jovem (IDO et al., 2006). As condições de temperatura para o desenvolvimento da ferrugem marrom, estão no intervalo de 17 a 30°C e umidade relativa acima dos 70% (SANTOS, 2013). Sanjel et al. (2018) mostraram que epidemias de ferrugem marrom começaram em temperaturas noturnas mais baixas (16.7 - 22.2°C). Entretanto, diferentemente da ferrugem alaranjada, a ferrugem marrom é desfavorecida na presença de chuvas (CROFT, MAGAREY e WHITTLE, 2000).

2.2.3 CONTROLE

O controle que tem apresentado a maior eficiência e viabilidade econômica para os dois tipos de ferrugens é a utilização de cultivares resistentes (MAGAREY, 2000). Mas também não se pode extrapolar informações de cultivares resistentes à ferrugem marrom para a ferrugem alaranjada e vice-versa, visto que vários casos já foram encontrados em campo que comprovam tal fato. A cultivar RB72454, por exemplo, é resistente à ferrugem marrom

(RIDESA, 2010), mas apresenta alta suscetibilidade à ferrugem alaranjada (MAPA, 2010). Para o controle de doenças em canaviais, é recomendado que não se tenha mais de 15% de uma mesma cultivar plantada (MAPA, 2010). Portanto, é importante sempre manter uma boa diversidade de cultivares nos canaviais e viveiros. Além disso, são necessários estudos periódicos para avaliação quanto à resistência das cultivares nacionais atuais, pois, de acordo com Magarey et al., (2001) pode ocorrer variabilidade da população do patógeno.

Tal fato pôde ser comprovado através de um estudo realizado em 2009 por Braithwaite et al. (2009), em que foram comparados 28 isolados de *P. kuehni* vindos de campos comerciais, selvagens e de jardins da Austrália, Papua Nova Guiné, Indonésia e China. Nesse trabalho, foram encontrados três grupos filogenéticos compatíveis a *P. kuehni*: os isolados provenientes dos campos comerciais ficaram no Grupo I, enquanto que os demais, selvagens e de jardins, ficaram nos grupos II e III, respectivamente. Esse resultado sugere que existe uma variabilidade entre isolados da ferrugem alaranjada. Outro trabalho que chegou à essa conclusão foi realizado em 2010 por Glynn et al. (2010), onde foram encontrados dois alelos, 183A e 183G, em análises de polimorfismo na região ITS1 do DNA de *P. kuehni*. Em um estudo realizado no Estado de São Paulo, em uma coleção de 39 isolados de *P. kuehni*, foram detectadas três raças através de 10 marcadores microssatélites (MISTURA, 2016).

Essa variabilidade também foi verificada em *P. melanocephala* no mesmo trabalho, onde em uma coleção de 31 isolados, duas raças foram detectadas (MISTURA, 2016). Além disso, um estudo na Flórida sugeriu a existência de quatro raças de *P. melanocephala* patogênicas e que essas surgem nas regiões produtoras de cana-de-açúcar (SHINE et al., 2005).

A utilização do controle químico para a cultura da cana-de-açúcar é recente. Nos últimos anos, o número de fungicidas liberados para a cultura aumentou, sendo uma alternativa interessante para a proteção e combate das doenças na cultura. De modo geral, as estrobilurinas compõem atualmente um dos principais grupos de fungicidas agrícolas. Entretanto, a década de 2000 foi marcada pelo desenvolvimento e expansão do consumo de misturas de produtos dos grupos QoI + DMI (SILVA JUNIOR e BEHLAU, 2018).

Na Flórida, outro estudo foi realizado em que, em condições de alta pressão de *P. kuehni*, a utilização de fungicidas foi eficiente no controle da

doença (RAID e COMSTOCK, 2013). Atualmente, no Brasil, existem 12 ingredientes ativos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, para o controle da ferrugem marrom e 25 fungicidas registrados para o combate da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (AGROFIT, 2019), como mostra a TABELA 1. Entretanto, no Paraná, existem apenas quatro fungicidas liberados (alguns com restrições de uso) para *P. melanocephala* e 19 para o controle de *P. kuehni*, também com algumas restrições de uso decorrentes de determinações estaduais (Agência de Defesa Agropecuária do Paraná – ADAPAR, 2019).

TABELA 1 – LISTA DOS FUNGICIDAS REGISTRADOS PARA FERRUGEM ALARANJADA E FERRUGEM MARROM DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.

(continua)

Ingrediente ativo	Grupos químicos	Doença	Produto comercial
Epoxiconazol + piraclostrobina	Triazol e estrobilurina	Ferrugem marrom e alaranjada	Abacus HC® **
Azoxistrobina + mancozeb	Estrobilurina e ditiocarbamato	Ferrugem alaranjada	Agria®
Ciproconazol + picoxistrobina	Triazol e estrobilurina	Ferrugem alaranjada	Aproach Prima®
Azoxistrobina + flutriafol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem alaranjada	Authority® *
Azoxistrobina + tebuconazol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem alaranjada	Azimut® *
Oxicloreto de cobre	Inorgânico	Ferrugem alaranjada	Copsuper® *
Fluxapirroxade + piraclostrobina	Carboxamida e estrobilurina	Ferrugem marrom e alaranjada	Cuantiva®
Azoxistrobina + benzovindiflupir	Estrobilurina e carboxamida	Ferrugem alaranjada	Desali®
Oxicloreto de cobre	Inorgânico	Ferrugem alaranjada	Difere® *
Azoxistrobina + benzovindiflupir	Estrobilurina e carboxamida	Ferrugem alaranjada	Elatius® *

(conclusão)

Azoxistrobina + flutriafol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem marrom e alaranjada	Evos® **
Metominostrobin + tebuconazol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem alaranjada	Fusão® *
Azoxistrobina + ciproconazol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem marrom e alaranjada	Galixid® *
Azoxistrobina + tebuconazol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem alaranjada	Helmstar Plus® *
Azoxistrobina + ciproconazol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem marrom e alaranjada	Invict®
Azoxistrobina + ciproconazol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem marrom e alaranjada	Monaris® *
Tebuconazol + trifloxistrobina	Triazol e estrobilurina	Ferrugem alaranjada	Nativo® *
Epoxiconazol + piraclostrobina	Triazol e estrobilurina	Ferrugem marrom e alaranjada	Opera® **
Fluxapiroxade + Piraclostrobina	Carboxamida e estrobilurina	Ferrugem marrom e alaranjada	Orkestra SC® **
Azoxistrobina + ciproconazol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem marrom e alaranjada	Priori Xtra® *
Oxicloreto de cobre	Inorgânico	Ferrugem alaranjada	Status® *
Azoxistrobina + tebuconazol	Estrobilurina e triazol	Ferrugem alaranjada	Tamiz® *
Azoxistrobina + mancozeb	Estrobilurina e ditiocarbamato	Ferrugem alaranjada	Unizeb Glory® *
Fluxapiroxade + piraclostrobina	Carboxamida e estrobilurina	Ferrugem marrom e alaranjada	Veldara®
Benzovindiflupir + picoxistrobina	Carboxamida e estrobilurina	Ferrugem alaranjada	Vessarya® *
Piraclostrobina	Estrobilurina	Ferrugem marrom	Comet®
Azoxistrobina + fludioxonil + metalaxil	Estrobilurina, fenilpirrol e acilalaninato	Ferrugem marrom	Dynasty®

 FONTE: Adaptado de Agrofit (2020).

LEGENDA: *Produto liberado no Paraná para *Puccinia kuehnii*. **Produto liberado no Paraná para *Puccinia kuehnii* e para *Puccinia melanocephala*.

Dos 25 fungicidas liberados para ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, 14 são misturas de fungicidas inibidores da quinona oxidase (QoI), as estrobilurinas, e fungicidas inibidores da desmetilação (DMI), os triazóis; seis são misturas de QoIs com fungicidas inibidores da succinato desidrogenase (SDHI); três são produtos à base de cobre (inorgânicos) e dois são misturas de QoIs com fungicidas multissítios, os ditiocarbamatos. Para ferrugem marrom, os 12 fungicidas liberados são divididos em: sete misturas de QoIs com DMIs, três misturas de QoIs com SDHIs, um fungicida cujo ingrediente ativo é apenas um QoI e um fungicida recomendado para o tratamento industrial de propágulos vegetativos, que mistura um QoI com um fungicida que afeta a transdução de sinais osmóticos, os fungicidas em que o fenilpirrol está na composição e outro que afeta a polimerase de RNA, os acilalaninatos.

O grupo de fungicidas inibidores da quinona oxidase (QoI) pertencem ao grupo C3 e possuem as estrobilurinas como principal representante (FRAC, 2019). Os QoI's atuam no complexo III da cadeia transportadora de elétrons na mitocôndria, impedindo a produção de energia. Foram descobertos de um metabólito secundário produzido por fungos, *Strobilurus tennacelus*, e bactérias (SILVA JUNIOR e BEHLAU, 2018). Possuem amplo espectro, atuando em ascomicetos, oomicetos e o grupo em que as ferrugens se encontram, os basidiomicetos. Azoxistrobina, trifloxistrobina, piraclostrobinina e cresoxim-metílico são exemplos de importantes QoIs.

As misturas de QoIs com DMIs são bastante comuns no mercado mundial de fungicidas. Os inibidores da desmetilação de esteróis (DMI) atuam na parede celular dos fungos verdadeiros, por meio da inibição da síntese de esteróis. Devido a isso, são fungicidas que não atuam sobre oomicetos, como *Pythium* e *Phytophthora*, visto que esses não sintetizam esteróis. A classe dos triazóis é a mais importante dentro dos DMIs, os quais abrangem compostos como pirimidinas, imidazóis e piperazinas. Como exemplos de ingredientes ativos de triazóis temos: ciproconazol, tebuconazol e epoxiconazol (SILVA JUNIOR e BEHLAU, 2018).

No grupo dos fungicidas inibidores da enzima succinato desidrogenase

(SDHI) ou complexo Q, tem-se os primeiros fungicidas sistêmicos disponíveis no mercado. Os SDHIs possuem como principal classe representante as carboxamidas. Além das carboxamidas, carboxanilidas e anilidas também fazem parte desse importante grupo de fungicidas, que atuam no complexo II da cadeia transportadora de elétrons, interferindo na respiração mitocondrial e produção de energia – ATP. São exemplos de carboxamidas: benzovindiflupir e fluxapirroxade. As carboxamidas passaram a ser importantes visto que seu uso é realizado normalmente em mistura com Qols e DMIs (SILVA JUNIOR e BEHLAU, 2018).

Os fungicidas cúpricos atuam como biocidas de amplo espectro com múltiplos sítios de ação e, por isso, possuem um baixo risco de resistência pelos fungos. São fungicidas de contato que, em concentrações altas, tornam-se nocivos por sua interação com ácidos nucleicos, causando a desintegração das membranas celulares (SILVA JUNIOR e BEHLAU, 2018). Devido à atividade em múltiplos sítios, os fungicidas cúpricos são recomendados pela FRAC para sua utilização em programas de pulverizações, a fim de reduzir o surgimento de raças resistentes.

De importância reduzida, os fungicidas nos quais o grupo químico é o fenilpirrol possuem ação na transdução do sinal osmótico. O grupo químico acilalaninato atua na RNA polimerase (MAPA, 2017).

A suplantação da resistência das cultivares às ferrugens, o adiamento da substituição de cultivares no campo e o fato de cultivares com características agrônomicas desejáveis deixarem de ser utilizadas servem como um sinal de alerta e leva à necessidade de um estudo mais aprofundado em relação à eficiência do uso de fungicidas na cultura da cana-de-açúcar.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ASPECTOS GERAIS

Dois experimentos foram conduzidos na Estação Experimental do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA), pertencente à Universidade Federal do Paraná, no município de Paranaíba/PR (22°58'41.7" S, 52°28'03" O e altitude de 470 m). Como preparo do solo para o plantio, foi realizada a calagem, com aplicação de 1,8 ton.ha⁻¹ de calcário dolomítico. A adubação foi feita utilizando 800 kg.ha⁻¹ da fórmula 10-20-20 (N-P-K) no sulco de plantio. O plantio foi realizado em julho de 2017, com espaçamento de 1,5 metros entre linhas e aproximadamente 18 gemas de colmos por metro, de forma “pé com ponta”, com 3,0 metros de carreador entre as parcelas.

Para o experimento que avaliou a eficácia dos fungicidas à ferrugem alaranjada, a cultivar utilizada foi a RB72454, cujos aspectos são touceiramento médio, colmos eretos, ampla adaptabilidade e alta estabilidade, e alta produtividade agrícola (RIDESA, 2010). A escolha dessa cultivar se deu pela sua alta suscetibilidade à ferrugem alaranjada e resistência total, ou seja, com ausência de sintomas da ferrugem marrom (CHAPOLA, 2013). Além disso, a RB72454 possui grande potencial produtivo e foi genitora de muitas outras cultivares desenvolvidas em programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar.

Para o experimento com ferrugem marrom, foi utilizada a cultivar RB835486. Trata-se de uma cultivar resistente, sem a presença de sintomas de ferrugem alaranjada e suscetível à ferrugem marrom (ARAÚJO et al., 2013). É uma cultivar com características de touceiramento ralo, de fácil despalha e, assim como a anterior, de ampla adaptabilidade e altíssima riqueza (RIDESA, 2010).

Para a obtenção de dados diários de temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm), foi utilizada uma estação meteorológica automática, modelo Davis Vantage PRO2 situada no talhão experimental.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Dois experimentos, um para cada ferrugem, foram conduzidos por dois anos (cana planta e cana soca). O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 8 tratamentos e três repetições. Cada repetição consistiu de três linhas de 10 metros. Os tratamentos foram: testemunha onde não houve a aplicação de fungicidas (T1); piraclostrobina (250 g de i.a. L⁻¹) na dose de 0,5 L.ha⁻¹ (T2); piraclostrobina + epoxiconazol (133+50 g de i.a. L⁻¹) na dose de 1,0 L.ha⁻¹ (T3); azoxistrobina + ciproconazol (200+80 g de i.a. L⁻¹) na dose de 0,5 L.ha⁻¹ (T4); azoxitrobina + tebuconazol (120+200 g de i.a. L⁻¹) na dose de 1,0 L.ha⁻¹ (T5); trifloxistrobina + tebuconazol (100+200 g de i.a. L⁻¹) na dose de 1,0 L.ha⁻¹ (T6); azoxistrobina + benzovindiflupir (300+150 g de i.a. kg⁻¹) na dose de 200 g.ha⁻¹ (T7) e piraclostrobina + fluxapirroxade (333+167 g de i.a. l⁻¹) na dose de 0,4 L.ha⁻¹ (T8). Foi acrescido óleo mineral a 0,5% do volume de calda em todos os tratamentos.

O volume de calda utilizado foi de 150 L.ha⁻¹ e as pulverizações foram realizadas com o auxílio de um pulverizador costal pressurizado a CO₂, contendo uma barra de 2 metros de comprimento, com bicos do tipo leque. Entre parcelas, foram colocadas lonas de proteção para evitar deriva. As pulverizações foram realizadas quatro vezes, com periodicidade mensal, tanto na cana planta, como na cana soca e se iniciaram ao surgirem os primeiros sintomas nas plantas, que eram observadas quinzenalmente até o aparecimento dos mesmos. As aplicações em cana-planta foram realizadas nos meses de dezembro de 2017, janeiro, fevereiro e março de 2018. Na cana-soca as aplicações na RB835486 foram feitas em novembro e dezembro de 2018 e janeiro e fevereiro de 2019 e na cultivar RB72454, as aplicações foram feitas em dezembro de 2018, janeiro, fevereiro e março de 2019.

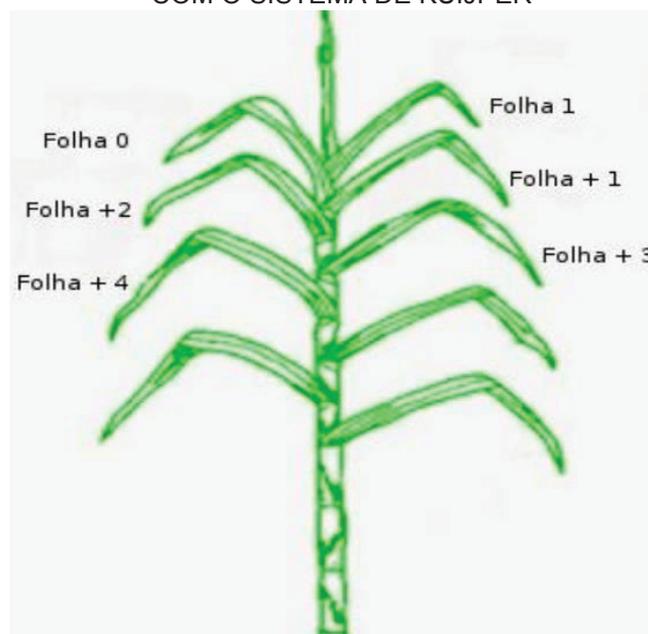
3.3 AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE, COLHEITA E ANÁLISE DE DADOS

As avaliações foram realizadas a partir do aparecimento dos primeiros sintomas, com intervalos mensais, com início na primeira aplicação de fungicidas até a colheita. Foram sete avaliações em cana-planta e oito em cana-soca. Nos

meses onde coincidiu avaliação com aplicação, a avaliação era realizada antes das pulverizações com fungicidas.

A severidade das ferrugens foi quantificada por meio da área foliar com sintomas da doença. Para a realização das avaliações, a folha +3 foi utilizada, por ser a folha adequada para avaliação dos componentes monocíclicos da ferrugem alaranjada (KLOSOWSKI, 2013). Para identificação da folha +3, foi considerada a primeira folha com “dewlap” ou aurícula visível, como sendo a folha +1, de acordo com classificação descrita por Kuijper, conforme mostra a FIGURA 3 (DILLEWIJN, 1952). Foram escolhidas aleatoriamente e avaliadas 15 folhas por parcela, dentro dos 7 metros centrais da linha central de cada uma das parcelas. Na folha avaliada, foram selecionados os 30 centímetros onde se encontrava a maior parte dos sintomas para realizar a avaliação.

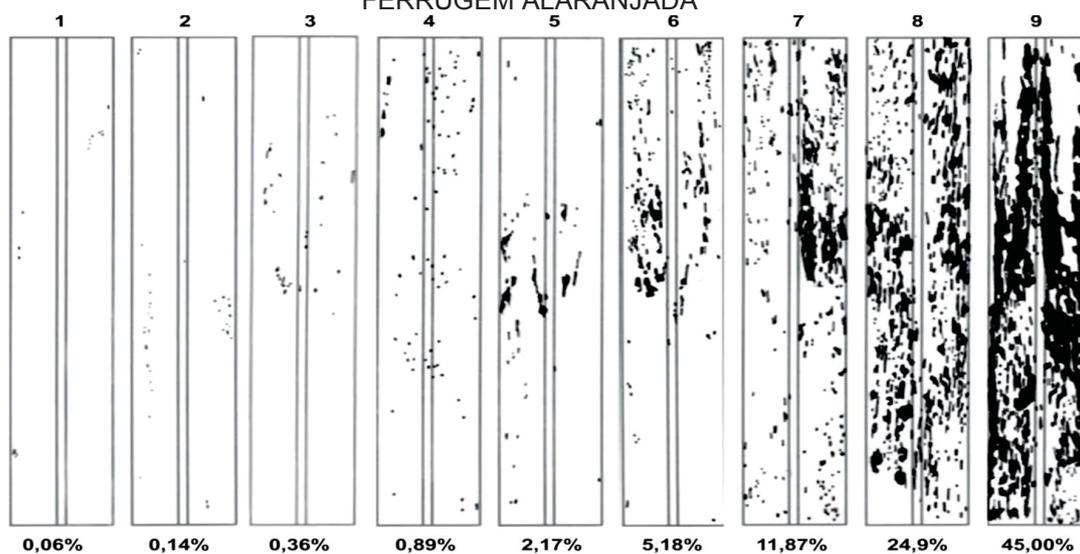
FIGURA 3 – DEMONSTRAÇÃO DAS FOLHAS EM UMA PLANTA DE CANA DE ACORDO COM O SISTEMA DE KUIJPER



FONTE: Collete (2016).

A avaliação da ferrugem alaranjada foi feita seguindo a escala diagramática desenvolvida por Klosowski (2013) (FIGURA 4).

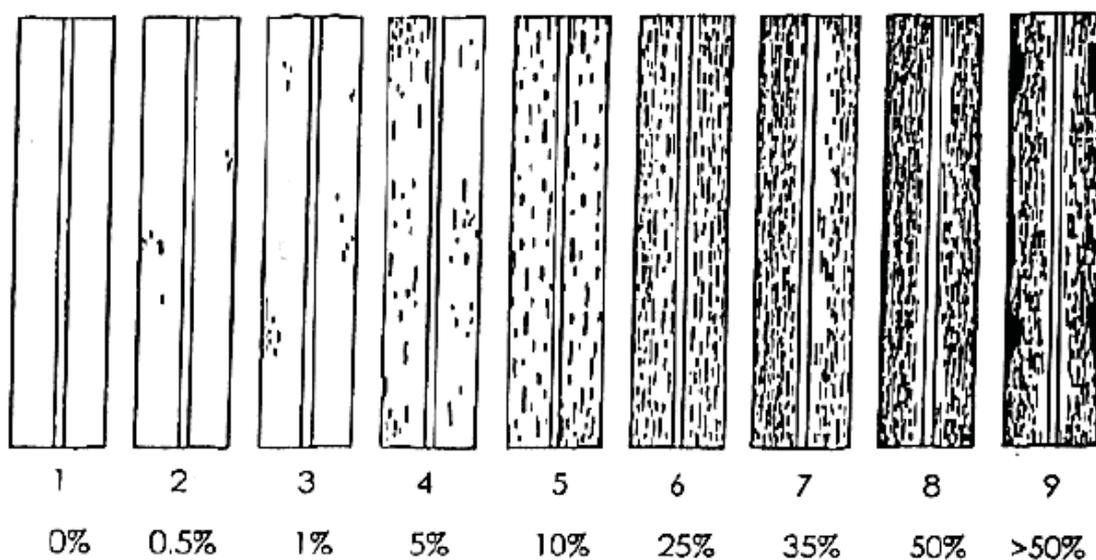
FIGURA 4 – ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DA FERRUGEM ALARANJADA



FONTE: Klosowski (2013).

De semelhante modo, foram realizadas as avaliações para a ferrugem marrom. A escala diagramática utilizada foi específica para a *P. melanocephala* desenvolvida por Amorim et al., (1987) (FIGURA 5).

FIGURA 5 – ESCALA DIAGRAMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DA FERRUGEM MARROM



FONTE: Amorim et al. (1987).

Com dos dados de severidade ao longo do tempo foram obtidas as curvas de progresso da doença e a área abaixo da curva de progresso da doença

(AACPD) (SHANER e FINNEY, 1977). Além da AACPD, foi obtida a área abaixo da curva de progresso da doença relativa (ACPDR), conforme proposto por Fry (1978).

Além da severidade, foram mensurados alguns componentes primários de produção em cada uma das parcelas. Os caracteres mensurados foram:

- Número de perfilhos por parcela (NPTP): contagem do número de perfilhos adultos dentro dos sete metros centrais de cada parcela;
- Massa dos colmos (MC): pesagem, em kg, de 10 colmos coletados aleatoriamente dentro dos sete metros centrais de cada parcela. Esses colmos foram colhidos manualmente, sendo realizado um desponte próximo à folha +5. Um suporte móvel com um dinamômetro suspenso foi utilizado para a pesagem no local do experimento.

Posteriormente, esses colmos foram destinados para laboratório para análise tecnológica (Açúcar total recuperável (ATR), Pol (%) cana e BRIX (%) cana). As análises para caracteres tecnológicos foram realizadas por meio de dez colmos coletados em cada parcela. Esses colmos foram encaminhados ao laboratório da Usina Santa Teresinha, da unidade Iguatemi. Os caracteres tecnológicos avaliados foram:

- BRIX: identifica a quantidade de compostos solúveis numa solução de sacarose;
- Açúcar total recuperável (ATR): é um componente de qualidade da cana-de-açúcar, que indica a quantidade total de açúcares (Kg.ton^{-1});
- Pol % cana (PC): porcentagem de sacarose aparente.

De posse dos dados dos componentes primários de produção e das análises tecnológicas, foram determinados componentes de produtividade: massa média de um colmo (kg), toneladas de cana por hectare (TCH) e toneladas de pol por hectare (TPH):

- Massa média de um colmo (M1C): foi estimada por meio da divisão da MC por 10 (número de colmos pesados), em kg;
- Toneladas de cana por hectare (TCH): determinado em função de M1C (kg), NPTP (divididos por sete metros referentes à parcela experimental) e em função do espaçamento de plantio. Tem-se então a seguinte fórmula para determinação de TCH: $TCH = (M1C \times NPTP / 7) \times 1000 / ESP$, onde ESP seria o espaçamento entre sulcos de plantio (1,5 m);
- Toneladas de pol por hectare (TPH): foi obtido por meio do produto entre TCH e pol%cana dividido por 100.

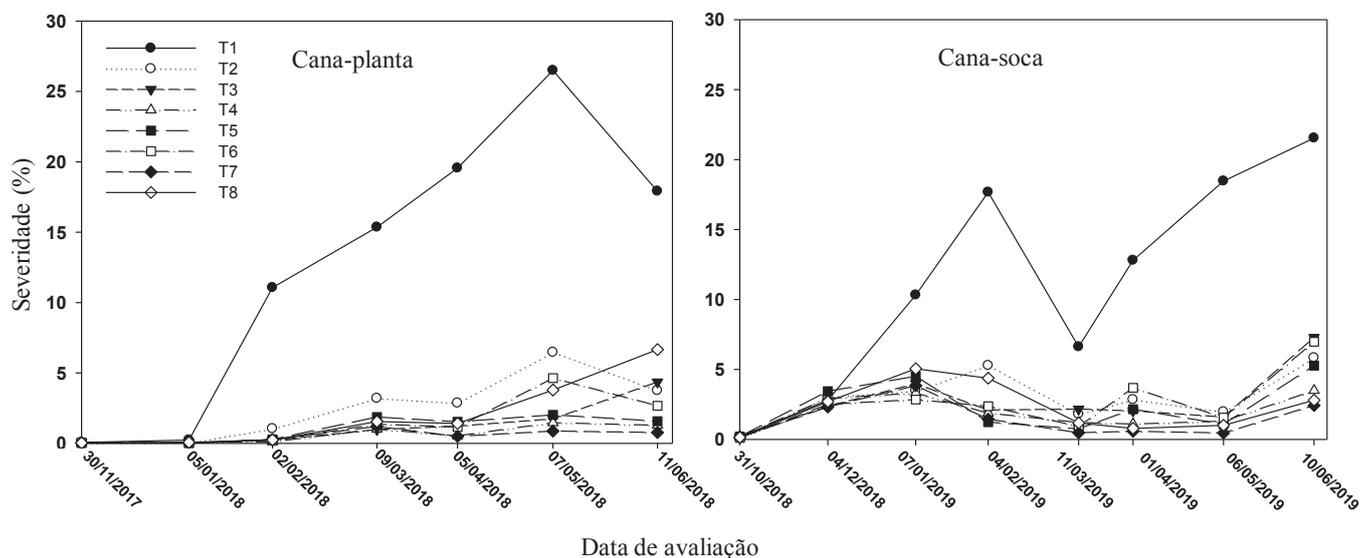
Os dados foram submetidos aos testes de homogeneidade de variâncias de Bartlett. Os resultados foram encontrados por meio de análise de variância (ANOVA), com teste de comparação de médias (teste de Scott-Knott), ao nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas através do programa R.

4 RESULTADOS

4.1 FERRUGEM ALARANJADA

Os primeiros sintomas da ferrugem alaranjada em cana-planta foram observados em nov/2017, no entanto para cana-soca os primeiros sintomas apareceram em out/2018. Na cana-planta a ferrugem atingiu níveis de severidade de 26,4% na avaliação realizada em mai/2018. Em cana-soca a maior severidade atingiu 21,5% na última avaliação em jun/2019 (FIGURA 6).

FIGURA 6 – CURVA DE PROGRESSO DA FERRUGEM ALARANJADA DURANTE OS CICLOS DE CANA-PLANTA E CANA-SOCA EM RESPOSTA AOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE FUNGICIDAS.



FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: T: Tratamento; T1: Testemunha; T2: Piraclostrobina; T3: Piraclostrobina + Epoxiconazol; T4: Azoxistrobina + Ciproconazol; T5: Azoxistrobina + Tebuconazol; T6: Trifloxistrobina + Tebuconazol; T7: Azoxistrobina + Benzovindiflupir; T8: Piraclostrobina + Fluxapiroxade.

Foram observadas diferenças quanto à eficácia dos fungicidas no ciclo de cana-planta, sendo que todos diferiram da testemunha em AACPDR. Os fungicidas piraclostrobina + epoxiconazol, azoxistrobina + ciproconazol, azoxistrobina + tebuconazol e azoxistrobina + benzovindiflupir foram os mais eficazes no controle da ferrugem alaranjada. No entanto, para as variáveis TCH, ATR, PC, BRIX e TPH não apresentaram diferenças estatísticas entre eles e nem em relação à testemunha (TABELA 2).

Houve diferença quanto à eficácia dos produtos no controle da ferrugem alaranjada também em cana-soca, sendo que todos foram superiores à testemunha. Ao mensurar os dados de produtividade, houve diferenças estatísticas entre tratamentos para variável TCH. A testemunha e o tratamento com trifloxistrobina + tebuconazol apresentaram produtividades inferiores aos demais tratamentos. O ganho em produtividade em relação a testemunha com as aplicações dos fungicidas variaram de 18,5 a 31,1%. Para as variáveis ATR, PC, BRIX e TPH não foram observadas diferenças estatísticas (TABELA 2).

TABELA 2 - EFEITO DE FUNGICIDAS NA ÁREA ABAIXO DA CURVA DE PROGRESSO DA DOENÇA RELATIVA (AAPDR) DE *Puccinia kuehnii* E EM PRODUTIVIDADE (TONELADAS DE CANA POR HECTARE – TCH), GANHO (%) OBTIDO EM PRODUTIVIDADE, AÇÚCARES TOTAIS RECUPERÁVEL (ATR), POL%CANHA (PC), BRIX, TONELADAS DE POL POR HECTARE (TPH) NA SAFRA 2017/2018 (CANHA-PLANTA) E 2018/2019 (CANHA-SOCA).

Tratamento	AACPDR	TCH	GANHO(%)	ATR	PC	BRIX	TPH
Cana-planta							
1	13,53 a	103,7 ns	-	125,6 ns	12,6 ns	14,8 ns	13,0 ns
2	2,59 b	104,6	-	132,4	13,4	15,4	13,9
3	1,09 d	100,2	-	127,7	12,8	15,0	12,9
4	0,64 d	111,8	-	126,6	12,7	15,0	14,2
5	1,08 d	106,6	-	131,9	13,3	15,2	14,2
6	1,49 c	96,5	-	133,5	13,5	15,5	13,0
7	0,54 d	84,2	-	130,2	13,1	15,1	11,1
8	1,78 c	95,2	-	136,7	13,8	15,7	13,1
C.V. (%)	18,89	9,25	-	4,72	5,24	3,66	9,23
Cana-soca							
1	11,45 a	81,1 b	-	154,1 ns	15,8 ns	20,7 ns	12,8 ns
2	3,06 b	99,1 a	22,2	158,1	16,2	21,2	16,1
3	2,58 b	96,1 a	18,5	153,9	15,7	20,6	15,1
4	1,96 b	103,7 a	27,9	154,0	15,7	20,8	16,3
5	2,30 b	97,4 a	20,1	158,5	16,2	21,2	15,8
6	2,50 b	91,2 b	-	157,1	16,1	20,8	14,7
7	1,50 b	106,3 a	31,1	155,1	15,9	20,7	16,9
8	2,37 b	103,3 a	27,4	157,7	16,1	21,5	16,6
C.V. (%)	14,80	6,91	-	4,52	4,69	3,68	7,58

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. ns - não significativo. - não foi realizado o cálculo pois não foi significativa a diferença em TCH.

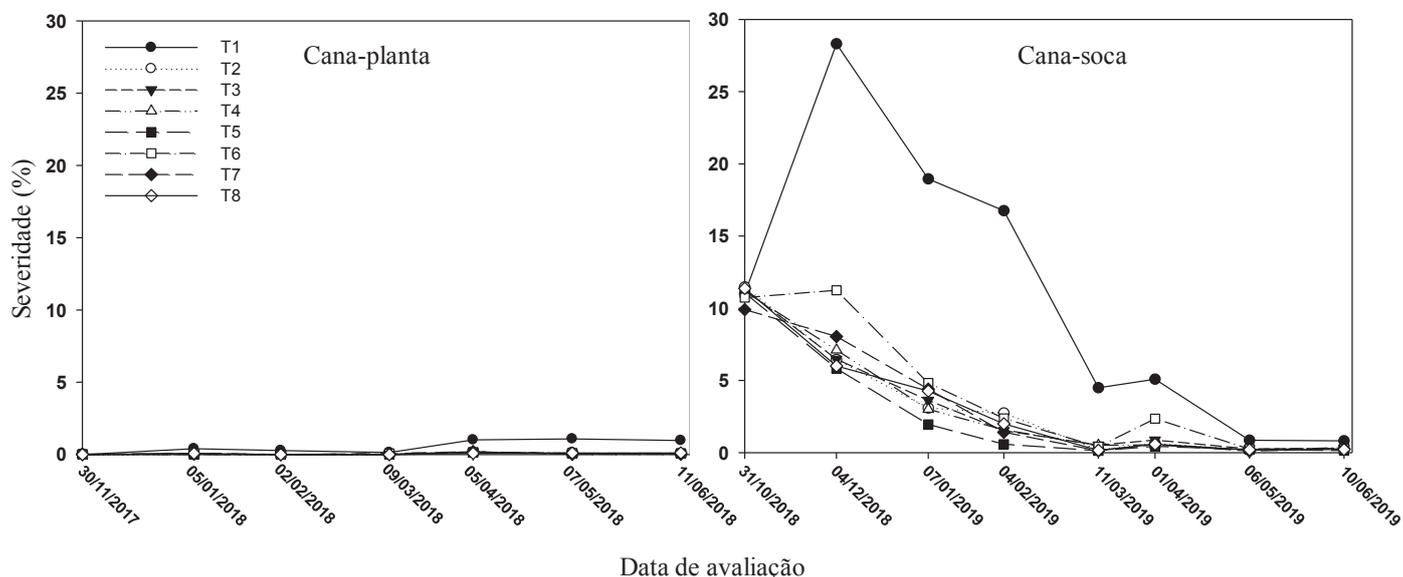
FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: T: Tratamento; T1: Testemunha; T2: Piraclostrobina; T3: Piraclostrobina + Epoxiconazol; T4: Azoxistrobina + Ciproconazol; T5: Azoxistrobina + Tebuconazol; T6: Trifloxistrobina + Tebuconazol; T7: Azoxistrobina + Benzovindiflupir; T8: Piraclostrobina + Fluxapirroxade.

4.2 FERRUGEM MARROM

Os primeiros sintomas da ferrugem marrom em cana-planta foram observados em nov/2017, no entanto para cana-soca os primeiros sintomas apareceram em out/2018. Foi verificada, em cana-planta, uma severidade máxima de 1,07% na avaliação realizada no mês de maio de 2018. Em cana-soca, a severidade máxima atingiu 28,3%, em dez/2019 (FIGURA 7).

FIGURA 7 - CURVA DE PROGRESSO DA FERRUGEM MARROM DURANTE OS CICLOS DE CANA-PLANTA E CANA-SOCA EM RESPOSTA AOS DIFERENTES TRATAMENTOS DE FUNGICIDAS.



FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: T: Tratamento; T1: Testemunha; T2: Piraclostrobina; T3: Piraclostrobina + Epoxiconazol; T4: Azoxistrobina + Ciproconazol; T5: Azoxistrobina + Tebuconazol; T6: Trifloxistrobina + Tebuconazol; T7: Azoxistrobina + Benzovindiflupir; T8: Piraclostrobina + Fluxapiróxade.

Em cana-planta, foi observada diferença quanto à eficácia dos fungicidas por meio da AACPDR, sendo que todos os fungicidas foram estatisticamente iguais, mas superiores à testemunha. Para as variáveis TCH, ATR, PC, BRIX e TPH não foram observadas diferenças estatísticas (TABELA 3).

Em cana-soca, observaram-se diferenças significativas para AACPDR; todos diferiram estatisticamente da testemunha. Os piraclostrobina, piraclostrobina + epoxiconazol, azoxistrobina + ciproconazol, azoxistrobina + tebuconazol, azoxistrobina + benzovindiflupir e piraclostrobina + fluxapiróxade

foram os mais eficazes no controle da doença. Em todos os tratamentos foi observada uma produtividade maior que a testemunha, sendo o ganho em produtividade em relação a testemunha com as aplicações dos fungicidas variando de 16,1 a 37,7%. Para as variáveis ATR, PC e BRIX não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Para TPH, todos os tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha (TABELA 3).

TABELA 3 - EFEITO DE FUNGICIDAS NA ÁREA ABAIXO DA CURVA DE PROGRESSO DA DOENÇA RELATIVA (AACPDR) DE *Puccinia melanocephala* E EM PRODUTIVIDADE (TONELADAS DE CANA POR HECTARE – TCH), GANHO (%) OBTIDO EM PRODUTIVIDADE, AÇÚCARES TOTAIS RECUPERÁVEL (ATR), POL% CANA (PC), BRIX, TONELADAS DE POL POR HECTARE (TPH) NA SAFRA 2017/2018 (CANA-PLANTA) E 2018/2019 (CANA-SOCA).

Tratamento	AACPDR	TCH	GANHO(%)	ATR	PC	BRIX	TPH
Cana-planta							
1	0,56 a	71,3 _{ns}	-	135,4 _{ns}	13,7 _{ns}	15,6 _{ns}	9,8 _{ns}
2	0,07 b	72,6	-	135,3	13,7	15,5	10,0
3	0,05 b	80,0	-	140,6	14,3	15,9	11,4
4	0,06 b	64,4	-	134,9	13,7	15,5	8,8
5	0,05 b	76,6	-	145,9	14,9	16,3	11,5
6	0,06 b	73,9	-	138,7	14,1	15,8	10,4
7	0,04 b	71,9	-	137,4	13,9	15,6	10,0
8	0,05 b	76,6	-	141,0	14,4	15,9	11,0
C.V. (%)	50,62	18,3	-	3,17	3,48	2,43	19,71
Cana-soca							
1	11,61 a	65,8 c	-	162,3 _{ns}	16,7 _{ns}	21,7 _{ns}	11,0 b
2	2,84 c	83,3 a	26,6	155,1	15,9	21,3	13,3 a
3	2,82 c	87,1 a	32,4	157,4	16,2	21,1	14,0 a
4	2,77 c	80,8 a	22,8	159,5	16,4	21,7	12,7 a
5	2,21 c	76,4 b	16,1	160,6	16,5	21,8	12,6 a
6	3,96 b	90,6 a	37,7	151,2	15,5	20,5	14,1 a
7	2,91 c	79,1 a	20,2	164,1	16,9	22,2	13,4 a
8	2,81 c	88,1 a	33,9	160,2	16,5	21,9	14,5 a
C.V. (%)	12,32	7,27	-	5,09	5,34	3,68	9,30

As médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. ns - não significativo. – não foi realizado o cálculo pois não foi significativa a diferença em TCH.

FONTE: O autor (2019).

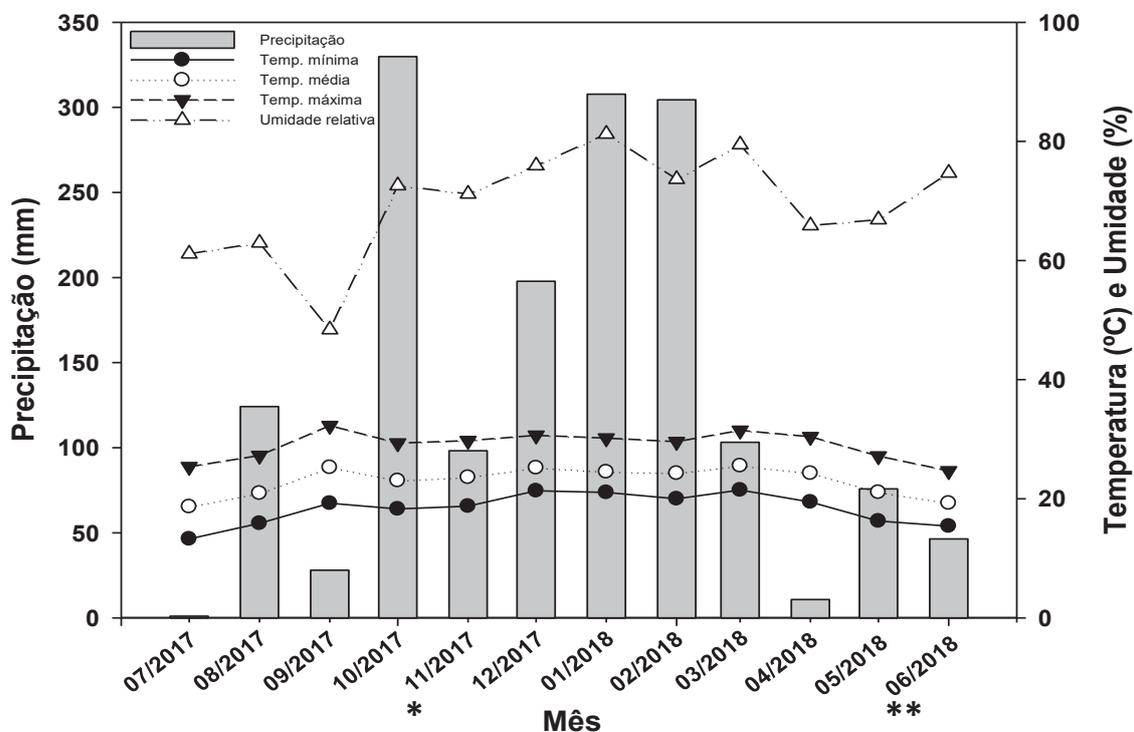
LEGENDA: T: Tratamento; T1: Testemunha; T2: Piraclostrobina; T3: Piraclostrobina + Epoxiconazol; T4: Azoxistrobina + Ciproconazol; T5: Azoxistrobina + Tebuconazol; T6: Trifloxistrobina + Tebuconazol; T7: Azoxistrobina + Benzovindiflupir; T8: Piraclostrobina + Fluxapiraxade.

4.3 DADOS METEOROLÓGICOS

Em cana-planta, do plantio em jul/2017 até a colheita em jun/2018, a temperatura média foi de 23,0°C, com variação de 2,1 a 36,4°C. A umidade

relativa média foi de 69,5% e a precipitação total durante o experimento foi de 1627,4 mm (FIGURA 8).

FIGURA 8 – TEMPERATURA MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA MENSAL NO PERÍODO DO CICLO DA CANA-PLANTA, NO MUNICÍPIO DE PARANAÍ-PR.

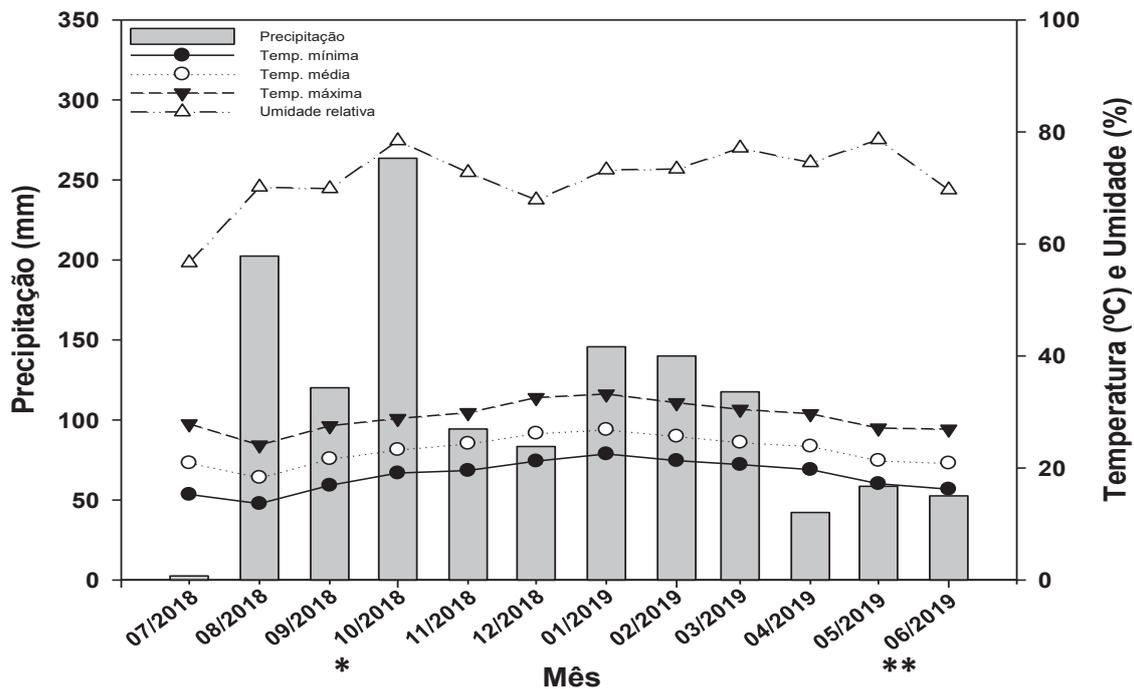


FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: *Início da avaliação; **Colheita do experimento.

Em cana-soca, do plantio em jul/2018 até a colheita em 06/2019, a temperatura média foi de 23,2°C, com variação de 6,3 a 37,6°C. A umidade relativa média foi de 71,8% e a precipitação total durante o experimento foi de 1323,4 mm (FIGURA 9).

FIGURA 9 – TEMPERATURA MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA, PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA MENSAL NO PERÍODO DO CICLO DA CANA-SOCA, NO MUNICÍPIO DE PARANAVÁI-PR.



FONTE: O autor (2019).

LEGENDA: *Início da avaliação; **Colheita do experimento.

5 DISCUSSÃO

O trabalho mostra que os fungicidas com ação sistêmica foram eficazes para o controle das ferrugens alaranjada e marrom da cana-de-açúcar, além de garantir que não ocorra perda de produtividade quando comparado a não aplicação dos fungicidas, sendo uma estratégia viável para ser usado no manejo integrado das doenças.

No presente trabalho, fungicidas com piraclostrobina + epoxiconazol, azoxistrobina + ciproconazol, azoxistrobina + tebuconazol e azoxistrobina + benzovindiflupir foram mais os eficazes para o controle da ferrugem alaranjada. Para a ferrugem marrom, os mais eficazes foram piraclostrobina, piraclostrobina + epoxiconazol, azoxistrobina + ciproconazol, azoxistrobina + tebuconazol, azoxistrobina + benzovindiflupir e piraclostrobina + fluxapiroxade. No presente estudo, foi avaliado misturas de diferentes triazóis com diferentes estrobilurinas, uma mistura de estrobilurina com carboxamida e duas misturas de estrobilurina com carboxamidas. Para controle da ferrugem alaranjada a classe estrobilurina demonstrou maior eficácia quando comparada com as classes triazol e carboxamida (Rott et al. 2017). Em trabalho semelhante, para a prevenção do desenvolvimento da ferrugem alaranjada e da ferrugem marrom, fluxapiroxade, piraclostrobina, piraclostrobina + fluxapiroxade ou azoxistrobina + propiconazol mostraram-se eficazes em folhas destacadas (CHAULAGAIN et al., 2019). A mistura de um triazol (propiconazol) com uma estrobilurina (azoxistrobina), se mostrou eficiente para o controle das duas ferrugens, porém, o uso de produtos apenas com triazol precisou de altas doses para o controle (Chaulagain et al. 2019). Resultados semelhantes mostraram que triazóis por si só não forneceram controle adequado da ferrugem marrom na Louisiana (HOY et al., 2008). O mesmo ocorre para ferrugem alaranjada, em que os triazóis foram os menos eficazes no controle da doença na Flórida (RAID e COMSTOCK, 2013). De fato, a recomendação do FRAC é a mistura de grupos químicos, principalmente estrobilurinas com triazóis e carboxamidas a fim de atingir níveis adequados de eficácia no controle das principais doenças. Essa recomendação leva em conta que os DMI's, cujos triazois compreendem o maior grupo, têm ação curativa, agindo na biossíntese de esteróis; enquanto os Qol's têm atividade preventiva

alta, atuando na cadeia transportadora de elétrons, inibindo a germinação dos esporos; bem como os SDHI's, que também atuam na cadeia transportadora de elétrons, no complexo II, como inibidores da enzima succinato desidrogenase.

Não foram observadas diferenças na produtividade em cana-planta nos dois experimentos. No entanto, em cana-soca, tanto para ferrugem marrom como para ferrugem alaranjada, a maioria dos tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha. Isso mostra que a cana-planta foi mais tolerante às ferrugens que a cana-soca. Como hipótese surge que a cana-planta pode ser mais vigorosa visto que seu plantio foi realizado a partir de gemas e não a partir do corte do ciclo anterior, como é o caso da cana-soca. Outra hipótese é de que a cana-soca poderia estar mais debilitada ficando, dessa forma, mais suscetível às reduções de produtividade, ou seja, pode ter ocorrido a ação combinada entre doença e condições de planta debilitada. A ação dos fungicidas levou a um aumento significativo no TCH. O acréscimo em produtividade entre 18,5 e 31,1% na RB72454 e de 16,1 a 37,7% na RB835486 mostram que o uso do controle químico concede ao produtor um aliado no manejo integrado das doenças da cana-de-açúcar. Semelhantemente, Magarey et al., (2002) verificaram um acréscimo de 40% no rendimento da cultura com a utilização de combinações de fungicidas dos grupos das estrobilurinas e triazóis no controle da ferrugem alaranjada.

Apesar dos tratamentos com produtos sistêmicos se apresentarem muito eficazes, deve-se tomar cuidado com a seleção de isolados resistentes aos fungicidas. O histórico de perda de sensibilidade de esporos de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja serve como um sinal de alerta para os demais patossistemas. Na ferrugem da soja, as estrobilurinas deixaram de ser eficazes no controle e, por isso, novas carboxamidas surgiram para suprir essa demanda de controle. Recomenda-se, então, fazer a rotação de princípios ativos e fazer o uso de fungicidas multissítios em programas de pulverização em culturas com várias aplicações em seu ciclo, como sugere o Comitê de Ação da Resistência aos Fungicidas (FRAC). Esses fungicidas possuem baixo risco de resistência (FRAC, 2019) e podem ser parceiros eficazes dos fungicidas com médio e alto risco.

Foi observado que as duas doenças ocorreram tanto em cana-planta como em cana-soca. Esse fato mostra que as condições climáticas favoreceram

o aparecimento das doenças, no entanto foram observadas diferentes severidades de um ciclo para o outro e também entre as ferrugens, mostrando que o clima afeta as epidemias.

Sabe-se que a ferrugem alaranjada prevalece em condições de verão úmido e a ferrugem marrom é favorecida na primavera (BRAITHWAITE, 2005 e BRAITHWAITE et al., 2009). No entanto, Martins (2010) não verificou a ocorrência da doença em temperatura de 27,5°C. sendo a temperatura ideal para germinação dos esporos de 22° a 24°C (MAGAREY et al., 2004). Nesse trabalho, o mês de maio/2018 representou a maior severidade da ferrugem alaranjada em cana-planta. Nesse mês, a temperatura média foi de 21,08°C, com uma precipitação total de 75,8 mm e umidade relativa do ar média de 66,9% em média. Na cana-soca, a maior severidade foi observada no mês de junho de 2019. Nesse mês, a temperatura média foi de 20,9°, precipitação de 52,6 mm e umidade relativa do ar média de 69,7%. Essas condições estão de acordo com a literatura acima mencionada como condições que prevalecem o desenvolvimento da *P. kuehni*.

Há desenvolvimento da *P. melanocephala* no intervalo de 17 a 30°C e umidade relativa acima dos 70% (SANTOS, 2013), entretanto Sanjel et al. (2018) observaram epidemias em temperaturas noturnas mais baixas (16,7° - 22,2°C). No presente trabalho, em cana-soca, a severidade mais alta foi registrada no mês 12/2018. Neste mês, foi observado em Paranavaí/PR uma temperatura média de 26,2°C, com 67,9% de umidade relativa do ar média e 83,4 mm de chuva, condições que corroboram com o encontrado na literatura como favoráveis à ferrugem marrom. Em cana-planta, quando a severidade máxima da ferrugem marrom foi de aproximadamente 1% em todos os meses avaliados, as características de temperatura e umidade não foram impeditivas. Logo, as causas para tal acontecimento provavelmente foram outras. Uma possível causa é que a precipitação desfavorece o desenvolvimento da ferrugem marrom (CROFT, MAGAREY e WHITTLE, 2000). Na safra 2017/2018 em que a ferrugem marrom não se manifestou com altas severidades, houve 304 mm de chuva a mais que em cana-soca, com ênfase nos meses de outubro e de dezembro a fevereiro que apresentaram as maiores diferenças entre os ciclos. Outra possível causa para o baixo desenvolvimento da ferrugem marrom em cana-planta é a baixa concentração inicial de inóculo da ferrugem marrom no campo do

experimento na cana planta, visto que as interações entre ambiente favorável, agente patogênico e planta suscetível afetam a severidade da ferrugem marrom e a variação de epidemias (BARRERA; HOY; LI, 2012). Com relação ao hospedeiro, nesse estudo, tanto a cultivar RB72454 como a cultivar RB835486 apresentaram-se suscetíveis à ferrugem alaranjada e à ferrugem marrom, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado por Chapola (2013) onde a RB72454 e a SP89-1115 tiveram a maior suscetibilidade à ferrugem alaranjada. Resultados semelhantes foram observados no trabalho de Klosowski (2013), em que a cultivar RB72454 foi considerada a mais suscetível em um grupo de 14 cultivares testadas para a doença. Já para a cultivar RB835486, também já foram relatados trabalhos em que essa cultivar se comporta de maneira suscetível à ferrugem marrom. Barreto et al. (2017) verificaram que a RB835486 e a RB806043 foram as únicas cultivares suscetíveis para ferrugem marrom em um estudo com 14 cultivares de cana-de-açúcar.

As curvas de progresso para as duas ferrugens foram diferentes e tal fato é coerente com o que é relatado na literatura. Ficou evidente a preferência de *Puccinia kuehnii* por plantas adultas, visto que as curvas do desenvolvimento da doença mostraram uma baixa quantidade de doença no início do ciclo tanto em cana-planta, como em cana-soca. A doença apresentou a maior severidade aos 10 e 11 meses para cana-planta e cana-soca, respectivamente. Em trabalho realizado por Klosowski et al. (2015), a maior severidade da ferrugem alaranjada em cana-planta foi observada em 10 meses e em cana-soca com 11 meses de ciclo. No caso específico da ferrugem marrom, as severidades máximas ocorrem mais cedo comparado a ferrugem alaranjada. Com isso, é possível notar a preferência da ferrugem marrom por plantas mais jovens. Ido et al. (2006) verificou que os maiores valores de severidade da ferrugem marrom foram relatados aos quatro meses de idade. No presente estudo, a severidade máxima foi observada no quinto mês após o corte da cana-planta. Após isso, a severidade foi reduzindo até a última avaliação, em 06/2019, com uma severidade de 0,82% na testemunha.

As avaliações de severidade das ferrugens alaranjada e marrom da cana-de-açúcar são realizadas na folha +3, e como é característica da cultura da cana-de-açúcar, novas folhas vão surgindo e a folha +3 utilizada para avaliação em um mês não necessariamente foi a folha +3 no mês seguinte de avaliação.

Os programas de melhoramento de cana-de-açúcar no mundo têm realizado esforços contínuos para o desenvolvimento de novas cultivares resistentes às ferrugens marrom e alaranjada. O controle de ambas, que é baseado na resistência genética, pode ter o auxílio do controle químico, que surge como uma ferramenta muito útil para os produtores. No entanto, há a necessidade de estudos a fim de testar novos ingredientes ativos que possam também ser usados em associação ou não com os multissítios (ação protetora), para um bom controle da doença e que façam parte do manejo antirresistência do fungo.

6 CONCLUSÕES

- Os fungicidas piraclostrobina + epoxiconazol, azoxistrobina + ciproconazol, azoxistrobina + tebuconazol e azoxistrobina + benzovindiflupir foram mais eficazes para o controle da ferrugem alaranjada em ambos cultivos;
- Os fungicidas piraclostrobina, piraclostrobina + epoxiconazol, azoxistrobina + ciproconazol, azoxistrobina + tebuconazol, azoxistrobina + benzovindiflupir e piraclostrobina + fluxapiroxade foram os mais eficazes para o controle da ferrugem marrom em ambos cultivos;
- O controle das doenças permitiu uma recuperação na produtividade apenas em cana-soca;
- O ganho em produtividade em relação a testemunha com as aplicações dos fungicidas para o controle da ferrugem alaranjada variaram de 18,5 a 31,1%;
- O ganho em produtividade em relação a testemunha com as aplicações dos fungicidas para o controle da ferrugem marrom variaram de 16,1 a 37,7%;
- As variáveis de ATR, PC e BRIX não sofreram interferência de nenhum tratamento nos dois experimentos.
- TPH sofreu influência dos tratamentos apenas em cana-soca no experimento para controle da ferrugem marrom;

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os programas de melhoramento de cana-de-açúcar no mundo têm realizado esforços contínuos para o desenvolvimento de novas cultivares resistentes às ferrugens marrom e alaranjada. O controle de ambas, que é baseado na resistência genética, pode ter o auxílio do controle químico, que surge como uma ferramenta muito útil para os produtores.

Há a necessidade de estudos a fim de testar novos ingredientes ativos que possam também ser usados em associação ou não com os multissítios, para um bom controle da doença e que façam parte do manejo antirresistência do fungo.

REFERÊNCIAS

ADAPAR – AGÊNCIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ. Disponível em: <<http://www.adapar.pr.gov.br/>>. Acesso em: 18/11/2019.

AGROFIT, SISTEMA DE AGROTÓXICOS FITOSSANITÁRIO (AGROFIT). **Consulta de produtos formulados**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso: 12/10/2019.

AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CARDOSO, C.; MORAES, V.A.; FERNANDES, C.R. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 13-16, 1987.

ANJOS, I.A.; FIGUEIREDO, P.A.M. **Aspectos fitotécnicos do plantio**. In: Dinardo Miranda, L.L.; Vasconcelos, A.C.M.; Landell, M.G.A. Cana-de-açúcar. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, p 882. 2008.

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, Saint Paul, v. 94, n. 9, p. 1170, 2010.

BARRERA, W.; HOY, J.; LI, B. **Temperature and leaf wetness effects on infection of sugarcane by *Puccinia melanocephala***. Journal of Phytopathology, Louisiana, v. 160, n. 6, p. 294-298, 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, n.1, p.36-40, 2017.

BRAITHWAITE, K.S. **Assessing the Impact that Pathogen Variation Has on the Sugarcane Breeding Program**. SRDC Final Report for Project BSS258. BSES Publ. 2005.

BRAITHWAITE, K.S.; CROFT, B.J.; MAGAREY, R.C.; SCHARASCHKIN, T. **Phylogenetic placement of the sugarcane orange rust pathogen *Puccinia kuehnii* in a historical and regional context.** Australasian Plant Pathology, Collingwood, v. 38, n. 4, p. 380-388, 2009.

BRUNINI, O. **Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar.** In: Dinardo Miranda, L.L.; Vasconcelos, A.C.M.de; Andrade Landell, M.G.de. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico. P. 205-218. 2008.

CHAPOLA, R.G. **Reação de variedades de cana-de-açúcar à ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*),** 2013. 78 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CHAULAGAIN, B.; DUFAULT, N.; RAID, R.N.; ROTT, P. **Sensitivity of two sugarcane rust fungi to fungicides in urediniospore germination and detached leaf bioassays.** Crop Protection. 117. 86–93. 2019.

CHAVARRÍA, E.; SUBIRÓS, F.; VEGA, J.; RALDA, G.; GLYNN, N.C.; COMSTOCK, J.C.; CASTLEBURY, L.A. **First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Costa Rica and Nicaragua.** Plant disease, Saint Paul, v. 93, n. 4, p. 425, 2009.

CHAVES, A.; SIMÕES NETO, D.E.; DUTRA FILHO, J.A.; 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, Brasilia, v. 38, no. 5, 2013.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO A.; ABREU, H.M.C.; ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J.C.; BURNQUIST, W.L.; CRESTE, S.; FERRO, L.C.J.A.; FIGUEIRA, A.V.O.; FILGUEIRAS, T.S.; GROSSI-DE-SÁ, M.F.; GUZZO, E.C; HOFFMANN, H.P.; LANDELL, M.G.A.; MACEDO, N.; MATSUOKA, S.; REINACH, F.C.; ROMANO, E.; SILVA, W.J.; SILVA FILHO, M.C.; ULIAN, E.C. **Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil.** Trop Plant Biol. Mar; 4(1): 62–89, 2011.

COLLETE, L.P. **Controle químico da ferrugem alaranjada na cultura da cana-de-açúcar.** 25p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016.

COMSTOCK, J.C., SHINE, J.M.; RAID, R.N. **Effect of sugarcane rust on growth and biomass**. Plant Dis. 76, 175–177, 1992.

COMSTOCK, J.C.; SOOD, S.G.; GLYNN, N.C.; SHINE Jr, J.M.; McKEMY, J.M.; CASTLEBERRY, L.A. **First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in the United States and Western Hemisphere**. Plant Disease, Saint Paul, v. 92, n. 1, p. 175, 2008.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Cana-de-açúcar: Acompanhamento da Safra Brasileira**, maio de 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 20/05/2020.

CROFT, B.; MAGAREY, M.; WHITTLE, P. Disease management. In: HOGARTH, M.; ALLSOPP, P. **Manual of canegrowing**, Bureau of Sugar Experiment Stations, Brisbane, p. 263-289, 2000.

CUMMINS, G.B. **The species of *Puccinia* parasitic on the Andropogoneae**. Uredineana. Encycl. Mycol. 4:5-89. 1953.

DILLEWIJN, C.van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 371p. 1952.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Base de dados Faostat – Agriculture, 2019**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 08/07/2019.

FAUCONNIER, R.E.; BASSEREAU, D. **La caña de azúcar**. Barcelona: Blume, 1975.

FERRARI, J.T.; HAKAKAVA, R.; DOMINGUES, R.J.; TERÇARIOL, I.M.L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Biológico, 2010. 8p. (Documento técnico, 5).

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil: STAB, Piracicaba, SP, 2000. 193p.

FLORES, R. C.; LOYO, J.R.; OJEDA, R.A.; RANGEL, O.C.A.; CERÓN, F.A.; MÁRQUEZ, W.; GUERRA-MORENO, A.S.; HERNANDEZ-IBARRA, H.M.;

GONZÁLEZ, R.E.; CASTLEBERRY, L.A.; DIXON, L.J.; GLYNN, N.C.; COMSTOCK, J.C.; FLYNN, J.; AMADOR, J. **First report of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Mexico, El Salvador and Panama.** Plant Disease, Saint Paul, v. 93, n. 12, p. 1347, 2009.

FRAC – COMITÊ DE AÇÃO A RESISTÊNCIA A FUNGICIDAS. **Modo de ação de fungicidas.** Disponível em: < <https://www.frac-br.org/modo-de-acao> >
Acesso em: 06/08/2019.

FRAGOSO, R.B.; KLOSOWSKI, A.C.; BESPALHOK FILHO, J.C.; RUARO, L.; OLIVEIRA, R.A. **Severidade e incidência da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*) da cana-de-açúcar em genótipos com diferentes épocas de corte.** In: XXXIV Congresso Paulista de Fitopatologia, Campinas, SP, 2011.

FRY, W.E. **Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide affects for integrated control of potato late blight.** Phytopathology 68:1650-1655. 1978.

GLYNN, N.C.; DIXON, L.J.; CASTLEBURY, L.A.; SZABO, L.J.; COMSTOCK, J.C. **PCR assays for the sugarcane rust pathogens *Puccinia kuehnii* and *P. melanocephala* and detection of a SNP associated with geographical distribution in *P. kuehnii*.** Plant Pathology, Saint Paul, v. 59, n. 4, p. 703-711, 2010.

HAUKSWORTH, D.L.; KIRK, P.M.; SUTTON, B.C.; PEGLER, D.N. **Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi.** 8th ed. Cambridge: CAB International, 1995.

HOY, J.W., SAVARIO, C.F., SINGH, R. **Pathology research.** In: Sugarcane Research Annual Progress Report, 2007. Pages 138-148. Louisiana State Univ. Agric. Exp., 2008.

HSIEH, W.H.; FANG, J.G. **The uredospore production of *Puccinia melanocephala* and *Puccinia kuehnii* in sugarcanes.** Plant Protection Bull, Roma, v. 25, n. 4, p. 239-244, 1983.

IDO, O.T.; LIMA-NETO, 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, Goiânia, v. 36, n. 3, p.159-163, 2006.

INDEX FUNGORUM. Disponível em:

<<http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>>. Acesso em: 16/05/2020.

INFANTE, D.; MARTINEZ, B.; GONZALEZ, E.; GONZALEZ, N. **Puccinia kuehnii (Kruger) Butler y Puccinia melanocephala H. Sydow y P. Sydow. en el cultivo de la caña de azúcar.** Revista Protección Vegetal, La Habana, v. 24, n. 1, p. 22-28, 2009.

KLOSOWSKI, A.C.; RUARO, L.; BESPALHOK FILHO, J.C.; MAY DE MIO, L.L. **Proposta e validação de escalas para ferrugens em cana-de-açúcar,** Jaguariúna, SP, 2012. In: XXXV. Summa Phytopathologica. v.38. 2013.

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*, 31(2). 2015.

MAGAREY, R.C. Orange rust. In: ROTT, P. et al. **A guide to sugarcane diseases.** Montpellier: La Librairie du Cirad, p.121-125, 2000.

MAGAREY, R.C.; WILLCOX, T.; CROFT, B.; CORDINGLEY, A. **Orange rust, a major pathogen affecting crops of Q124 in Queensland in 2000.** Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technology, v.23, p. 274-280, 2001.

MAGAREY, R. C.; STAIER, T.; WILLCOX, T. **Fungicides for control of orange rust in the 2001 Queensland crop.** In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 24., 2002. Anais... Brisbane, Society of sugar cane technologists, 2002.

MAGAREY, R.C.; NEISEN, W.A.; MAGNANI, J.A. **Environmental requirements for spore germination in three sugarcane leaf pathogens.** In: CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 26. Brisbane, Society of sugar cane technologists, 2004.

MAGAREY, R. C. **Sugarcane orange rust, a threat to other countries and its impact on Australian sugar production.** In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, Palestras, Maringá, PR, 2007. Tropical Plant Pathology: Brasília, Sociedade Brasileira de Fitopatologia, v. 32 (suplemento), 2007.

MARTIN, L.A. **Macruropyxis fulva sp. nov., a new rust (Pucciniales) infecting sugarcane in southern Africa.** Australas Plant Path, 2017.

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

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*),** 2010. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 16/10/2019.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Coordenação-geral de agroquímicos e afins, 2017.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/legislacao/arquivos-de-legislacao/ATO45_DE09DEJUNHODE2017.pdf>. Acesso em: 02/02/2020.

MINCHIO, C.A.; CANTERI, M.G.; ROCHA, J.A. **Germinação de uredósporos de *Puccinia kuehnii* submetidos à diferentes temperaturas e tempos de incubação.** Summa Phytopathologica, Botucatu, v. 37, n. 4, p. 211-214, 2011.

MISTURA, T.F. **Fatores que influenciam no sucesso e longevidade do controle das ferrugens da cana-de-açúcar por variedades resistentes.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.

OVALLE, W.; COMSTOCK, J.C.; GLYNN, N.C.; CASTLEBURY, L.A. **First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Guatemala.** Plant Disease, Saint Paul, v. 92, n. 6 p. 973, 2008.

PATEL, M.K.; KAMAT, M.N.; PADHYE, Y.A. **A new record of *Puccinia* on Sugarcane in Bombay.** Current Science, v. 19, no. 4, p. 121-122, 1950.

PEREIRA, O.L.; SOARES, D.J. **Fungos fitopatogênicos.** Livro: O Essencial da Fitopatologia: Agentes Causais de ZAMBOLIM, L.; JÚNIOR, W.C.J.; PEREIRA, O.L. 2012.

PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – REDE INTERUNIVERSITÁRIA

PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROENERGÉTICO (PMGCA/UFPR/RIDESA). **Relatório técnico**, 2010. Curitiba: RIDESA, 2011.

PURDY, L.H.; LIU, L.; DEAN, J.L. **Sugarcane rust, a newly importante disease**. Plant Disease, Saint Paul, v. 69, p.1292-1296, 1983.

RAID, R.N., COMSTOCK, J.C. **A review of fungicide evaluations for the control of orange rust on sugarcane in Florida**. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 28,1211–1219, 2013.

RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. **Catálogo Nacional de Variedades “RB” de Cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010.

ROTT, P.; SOOD, S.; COMSTOCK, J.C.; RAID, R.N.; GLYNN, N.C.; GILBERT, R.A.; SANDHU, H.S. **Sugarcane orange rust**. UF/IFAS Ext. SS-AGR-378, 2017.

RYAN, C. C.; EGAN, B. T. Rust. In: RICAUD, C.; EGAN, B. T.; GILLASPIE JUNIOR, A. G.; HUGHES, C. G. **Diseases of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, p. 189-210, 1989.

R Core Team. The R project for statistical computing, 2020. Available from: <<https://www.rproject.org/>>. Accessed: Mar. 30, 2020.

SANGUINO, A.; CARDOSO, C.O.M.; CAMPOS, J.D.P.; AMORIM, L.; SILVA, M.M. **Constatação da ferrugem da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. Summa Phytopatologica, São Paulo, v.13, n. 1/2, p. 44, 1987.

SANTOS, A.S. **Doenças causadas por fungos e bactérias em cana-de-açúcar**. Comunicado Técnico. Campinas, EMBRAPA, 2004. Disponível em:<http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/santos1_000fx38vwn02wyiv80soht9h8s4br2p.pdf>. Acesso em: 14/10/2019.

SANTOS, A. S. Doenças causadas por fungos. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. p.423.

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. 98p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

SANJEL, S.; CHAULAGAIN, B.; SMALL, I.; COMSTOCK, J.C.; HINCAPIE, M.A.; RAID, R.; ROTT, P.C. **Comparison of progress of brown rust and orange rust and conditions conducive for severe epidemic development during the sugarcane crop season in Florida.** Plant Dis. 103, 825–831. 2018.

SATHE, A.V. **Nomenclature revision of the common rust fungus affecting sugarcane.** Curr. Sci. 40:42-43. 1971.

SHANER, G.; FINNEY, R.E. **The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing in knox wheat.** Phytopathology 67:1051-1056. 1977.

SHINE, J.M.Jr.; COMSTOCK, J.C.; DEAN, J.L. **Comparision of live isolates of sugarcane brown rust and differential reaction on six sugarcane clones.** Sugar Cane Internacional 23,24-29. 2005.

SILVA JUNIOR, G.J.; BEHLAU, F. **Controle Químico.** In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. Manual de Fitopatologia. Vol. 1. 5ª edição. 2018.

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.; MATSUOKA, S.; MASUDA, Y.; AGUILLERA, M.M. **Sugarcane rust: a new problem in Brazil.** Fitopatologia Brasileira, Brasília, v. 13, n. 4, p. 313-316, 1988.

TOKESHI, H.; RAGO, A. **Doenças da cana-de-açúcar (hídridos de *Saccharum spp.*).** In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. Manual de Fitopatologia. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v.2. Cap. 21, p.185-196.MASUDA et al., 1986.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 12/11/2019.

VANWEELDEN, M., SWANSON, S., DAVIDSON, W., RICE, R. **Sugarcane variety census: Florida**. Sugar J. 6, 10–19, 2017.

VIRTUDAZO, E.V.; NOJIMA, H.; KAKISHIMA, M. **Taxonomy of Puccinia species causing rust diseases on sugarcane**. Mycoscience, Japan, v. 42, p. 167-175, 2001.

WALKER, D.I.T. **Breeding for disease resistance**. Chapter 12. In: Heinz, D.J. Sugarcane Improvement through Breeding, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 455-502. 1987.

ZHAO, D.; GLYNN, N.C.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J.C.; SOOD, S. **Orange rust effects on leaf photosynthesis and related characters of sugarcane**. Plant Disease, Saint Paul, v. 95, n. 6, p. 640-647, 2011.