

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DA FERRUGEM
ALARANJADA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Puccinia
kuehnii*)**

Lonjoré Leocádio de Lima
Engenheira Agrônoma

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DA FERRUGEM
ALARANJADA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Puccinia
kuehni*)**

Lonjoré Leocádio de Lima

Orientador : Prof. Dr. Modesto Barreto

Co-Orientadora: Dra. Érika Auxiliadora Giacheto Scaloppi

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção do
título de Doutor em Agronomia
(Produção Vegetal)

2013

L732a Lima, Lonjoré Leocádio de
Aspectos epidemiológicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*). / Lonjoré Leocádio de Lima. -- Jaboticabal, 2013
x, 65 p.: il.; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Modesto Barreto
Banca examinadora: Marcel Bellato Spósito, Mariana Viléla Lopes Ninin, Margarete Camargo, Rita de Cássia Panizzi
Bibliografia

1. *Saccharum* spp. 2. Ferrugem alaranjada-epidemiologia. 3. Cana-de-açúcar-ferrugem alaranjada-fatores climáticos. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 581.2:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DA FERRUGEM ALARANJADA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Puccinia kuehnii*)

AUTORA: LONJORÉ LEOCÁDIO DE LIMA

ORIENTADOR: Prof. Dr. MODESTO BARRETO

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. ERIKA AUXILIADORA GIACHETO SCALOPPI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MODESTO BARRETO

Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. MARCEL BELLATO SPÓSITO

Universidade de São Paulo / Piracicaba/SP

Profa. Dra. MARIANA VILÉLA LOPES NININ

Engenheira Agrônoma Autônoma / Sertãozinho/SP

Profa. Dra. MARGARETE CAMARGO

Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. RITA DE CASSIA PANIZZI

Departamento de Fitossanidade / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 24 de junho de 2013.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

LONJORÉ LEOCÁDIO DE LIMA – Nascida em 22 de fevereiro de 1981, em Marabá, PA, é Engenheira Agrônoma formada pela Escola Superior de Agricultura de Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte atualmente Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Em janeiro de 2005, durante a graduação foi bolsista de iniciação científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Em 2007 obteve o título de mestre pela Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, sob a orientação do Prof. Dr. Modesto Barreto, como bolsista CAPES.

‘A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria’.

Paulo Freire

Ofereço

Aos meus pais (Luiz e Nazaré) por serem exemplos de perseverança, luta e honestidade. Apesar da sua simplicidade e pouca instrução, comum a maioria da população brasileira, conseguiram passar para seus filhos o quanto a educação é importante.

Dedico

Aos bons professores que tive ao longo da minha vida acadêmica em especial aqueles que tiveram influência direta na profissional que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por ser conforto nos momentos de dificuldade.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da Bolsa.

Ao professor Modesto Barreto pela amizade, orientação e ensinamentos, exemplo de profissionalismo e determinação por ser uma das pessoas responsáveis pela profissional que sou hoje.

À Dra Érika Auxiliadora Giacheto Scaloppi pela co-orientação, amizade, por estar presente em todos os momentos que precisei sempre com uma palavra de orientação e conforto.

À Dra Mariana Viléla Ninin pelo apoio, amizade e ajuda na conclusão desse trabalho sem a qual não teria conseguido concluir.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por ter cedidos os dados climáticos utilizados nesse trabalho.

Aos colegas de laboratório pela amizade e troca de experiências em especial Anderson Robert Ruas, Bruno Nascimento Lodo, Daniel Furlan e Paulo Savan.

À Lívia Felício Barreto pela amizade e pela ajuda durante a condução desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Fitossanidade da UNESP/FCAV em especial Jaime Maia dos Santos, Margarete Camargo e Rita de Cassia Panizzi pela confiança e incentivo.

A todos os funcionários do departamento de Fitossanidade em especial Wanderley Penteado Brasil, Rosângela Teodoro dos Santos Souza, Gilson José Leite e Luiz Carlos Rufino pela amizade e apoio na realização dos trabalhos quando precisei.

À técnica de laboratório Lúcia Rita Ramos pela amizade, disposição e dedicação de aprender e ensinar novos conhecimentos.

Às minhas amigas de pós-graduação Gabriela Cintra, Gisele Sales, Eliana Scaloppi, Ludmilla Cavallari, Miriam Fumiko, Natalia Aguiar, Paula Oliveira e Ronilda Lana, pelo carinho, amizade, troca de experiências e por tornarem minha estadia em Jaboticabal bem mais agradável.

Aos amigos de república Anelise, Haroldo, Letícia, Raquel e Simone pela amizade e agradável convivência ao longo desses anos.

Aos meus pais (Luiz e Nazaré), meus irmãos (Chianc, Chiara e Netânia) e ao meu namorado Cristiano pelo carinho, paciência na ausência e principalmente apoio.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho.

Muito Obrigada

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais	1
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS GERAIS	2
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3.1. Importância econômica da cultura	2
3.2. Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar	3
3.3. Influência das condições climáticas nas doenças de plantas	6
3.4. Modelos matemáticos	8
3.5. Mapas de zona de riscos	9
4. REFERÊNCIAS.....	12
CAPÍTULO 2 - Influência da temperatura e do período de molhamento foliar na epidemiologia da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar	19
RESUMO	19
1. INTRODUÇÃO	20
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4. CONCLUSÕES	29
5. REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO 3 - Progresso da ferrugem alaranjada da cana-de açúcar.....	33
RESUMO	33
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4. CONCLUSÕES	39
5. REFERÊNCIAS.....	40
CAPÍTULO 4 - Mapas de zonas de risco de epidemias de ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil.....	43
RESUMO	43
1. INTRODUÇÃO	44
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4. CONCLUSÕES	58
5. REFERÊNCIAS.....	59
APÊNDICES.....	61

ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DA FERRUGEM ALARANJADA DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Puccinia kuehnii*)

RESUMO - Foram objetivos deste trabalho determinar a influência da temperatura e do período de molhamento foliar na epidemiologia da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, o progresso epidêmico através das curvas de progresso de doença e mapear as zonas de risco de ocorrência da doença. Na primeira etapa foram utilizadas plantas da cultivar SP89-1115 com vinte dias de idade inoculadas com o fungo *Puccinia kuehnii* na concentração de 2×10^4 de uredósporos/mL. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5x7 sendo 5 temperaturas (17,5 ; 20,0 ; 22,5 ; 25,0 e 27,5°C) e 7 períodos de molhamento foliar (0 ; 4; 8; 12; 16; 20 e 24 horas), com 3 repetições. As melhores temperaturas para o desenvolvimento da ferrugem alaranjada foram 20,0; 22,5 e 25,0°C sendo esta última a melhor nos períodos de molhamentos foliares acima de 12 horas. Na segunda etapa foram conduzidos experimentos em quatro áreas comerciais localizadas nos municípios de São Carlos, Jaboticabal e Miguelópolis no estado de São Paulo nas safras de 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012 respectivamente. Sendo as variedades utilizadas nas safras de 2009/2010 e 2011/2012 a RB72-454 e na safra 2010/2011 a SP 89-1115 ambas sabidamente suscetíveis à ferrugem alaranjada. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas de quatro linhas de dez metros de comprimento, com espaçamento de 1,5 m entre linhas. A severidade da doença, que ocorreu por infecção natural, foi avaliada a cada 30 dias em cinco plantas escolhidas aleatoriamente na área útil da parcela, analisando a folha +3 de cada planta com auxílio de uma escala descritiva de notas de Amorim et al. (1987) para ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*) adaptada para a ferrugem alaranjada. Os valores dos coeficientes de determinação ajustado (R^{*2}), desvio padrão do inóculo inicial (x_0) e da taxa de infecção (r^*) confirmaram que o modelo monomolecular foi o que melhor se ajustou aos dados da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar quando comparados aos demais em todos os tratamentos e safras. Na terceira etapa com os dados meteorológicos de estações automáticas, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de cinco estados brasileiros: Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul gerou-se os índices de favorabilidade ambiental diários para a ferrugem alaranjada para cada município com auxílio de uma programação realizada em Visual Basic ®. Obtidos os índices de favorabilidade calculou-se a porcentagem de dias favoráveis para a ocorrência da doença. Com esses índices foram gerados os mapas de favorabilidade para a ocorrência da ferrugem alaranjada utilizando o programa MapInfo Professional 11.5. Pelos resultados observa-se que a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar tem condição favorável para ocorrer em todas as regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil.

Palavras-Chave: Epidemiologia, Fatores climáticos, *Saccharum* spp.

EPIDEMIOLOGIC ASPECTS ORANGE RUST (*Puccinia kuehnii*) OF SUGARCANE

ABSTRACT - The objective of this study was to determine the influence of temperature and leaf wetness in the epidemiology of rust of sugarcane. The development was evaluated through epidemic disease progress curves and mapping risk areas of disease occurrence. In the first test was used plants of the variety SP89-1115 with twenty days of old was inoculated with the pathogen *Puccinia kuehnii* at a concentration of 2×10^4 urediniosporal.mL⁻¹. The experimental design was completely randomized with a factorial arrangement 5x7, representing the interaction of five temperatures (17.5, 20.0, 22.5, 25.0 and 27.5 °C) and 7 periods of leaf wetness (0, 4, 8, 12, 16, 20 and 24 hours of leaf wetness), with 3 repetitions. The temperature for the development of orange rust of sugarcane was 20.0, 22.5 and 25.0 °C, and the best results were at 25.0 °C latter being the best leaf wetness periods over 12 hours. In the second step, experiments were in four areas located in cities of São Carlos, Jaboticabal and Miguelópolis in São Paulo state during in 2009/2010, 2010/2011 and 2011/2012 respectively. Varieties being used during the agricultural year 2009/2010 and 2011/2012 RB72-454, 2010/2011 SP 89-1115 both notoriously susceptible to leaf orange rust. The experimental design was complete randomized blocks with four repetitions and plots consisting of four rows ten feet long, with spacing of 1.5 m between rows. The disease severity occurred for natural and the evolutions were made every 30 days in five randomly chosen plants in each parcel, analyzing +3 leaf of each plant with the aid of a descriptive scale. The coefficients of determination adjusted (R^{*2}), standard deviation of the initial inoculum (x_0) and infection rate (r^*) confirmed that the monomolecular model was the best fit to the data of leaf orange rust of sugarcane when compared to other treatments and in all agricultural year. In the third stage with the meteorological data from automatic stations, obtained from the National Institute of Meteorology (INMET), five Brazilian States: Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Paraná and Mato Grosso do Sul the indices of environmental favorability daily to orange rust for each cities with the aid of a program held in Visual Basic ®. Obtained favorability indices calculated the percentage of days favorable for the occurrence of the disease. With these indices were created maps favorability for the occurrence of orange rust using the software MapInfo Professional 11.5. From the results it is observed that the orange rust is present in all regions producing sugarcane in Brazil.

Keywords: Epidemiology, Climatic factors, *Saccharum* spp.

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.520,5 mil hectares. O estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 51,87% da produção nacional e uma área plantada de 4.419,46 mil hectares (CONAB, 2013). A produção brasileira em 2012 ficou em aproximadamente 675 milhões de toneladas e a previsão para 2013 é que chegue a 715 milhões (IBGE, 2013).

Um dos fatores limitante à cultura da cana-de-açúcar é a ocorrência de doenças. Dentre estas, a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, cujo agente causal é o fungo *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E.J. Butler, apesar de recente no Brasil, vem preocupando produtores e técnicos pelos danos que pode causar à cultura. De acordo com, Araújo et al. (2011) em vários países e inclusive no Brasil as perdas em variedades suscetíveis e intermediárias mostraram-se superiores a 40%.

Os sintomas típicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar que facilita a sua identificação no campo são pústulas de coloração laranja claro, curtas e ovais, resultando em manchas cloróticas nas folhas mais jovens, observadas principalmente na face inferior das folhas (GLYNN et al., 2010). Essas lesões evoluem rapidamente e coalescem em variedades altamente suscetíveis, o que causa a necrose das folhas (FERRARI et al., 2010).

A infecção por *P.kuehnii* é favorecida por temperatura e umidade relativa alta no verão e alternância de calor e frio no outono (MAGAREY, 2000). De acordo com Martins (2010) o início da infecção ocorre 16 dias após a inoculação em molhamento foliar de 8 horas e temperatura de 20°C e em 11 dias com temperatura de 25°C. O conhecimento da epidemiologia de uma doença serve como base para que se apliquem os princípios de controle, pois estes atuam diretamente no ciclo das relações patógeno-hospedeiro, impedindo ou retardando o desenvolvimento dos eventos deste ciclo (COSTA et al., 2008).

Nas regiões de ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, o controle da doença tem sido realizado por meio da substituição de variedades e aplicações de fungicidas nos períodos favoráveis ao desenvolvimento da doença. Vale salientar que ainda falta muita informação para que se possa realizar um manejo adequado e racional dessa doença, com isso, objetivou-se com este trabalho desenvolver um estudo epidemiológico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar causada por *P. kuehnii*.

2. OBJETIVOS GERAIS

Objetivou-se avaliar a influência da temperatura e do molhamento foliar na ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, obter uma equação que determine a severidade da doença em função da temperatura e do molhamento foliar e gerar mapas de zonas de riscos à ferrugem alaranjada para as principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do Brasil.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Importância econômica da cultura

A cana-de-açúcar pertence à família Poaceae e ao gênero *Saccharum*, que abrange várias espécies, porém, atualmente a planta cultivada, na sua maioria é híbrida. É uma planta semi-perene e adaptada a climas tropicais e subtropicais sendo cultivada comercialmente em mais de 70 países (LUCCHESI, 2001). Dentre esses países se destacam o Brasil como maior produtor seguido pela Índia, China, Tailândia, Paquistão, México, Colômbia, Austrália, Estados Unidos da América e Filipinas (AGRIANUAL, 2012).

A área cultivada com cana-de-açúcar na safra 2012/2013 que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.520,5 mil hectares, distribuídos em todos os estados produtores. O estado de São Paulo é o maior produtor com uma área cultivada de 51,87% (4.419,46 mil hectares), seguido por

Goiás com 8,52% (725,91 mil hectares), Minas Gerais com 8,47% (721,86 mil hectares), Paraná com 7,17% (610,83 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,37% (542,70 mil hectares), Alagoas com 5,23% (445,71 mil hectares) e Pernambuco com 3,84% (327,61 mil hectares) (CONAB, 2013).

A crise financeira iniciada em 2008 e os problemas climáticos que afligiram a cultura como longos períodos de estiagem, seguidos de chuva em excesso, principalmente no ano de 2010, além do surgimento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar em algumas regiões forçando os produtores a substituir variedades, acrescido dos longos períodos de frio, principalmente no inverno de 2011 que induziu o florescimento das plantas, tornando-as menos produtivas, comprometeu a renda dos produtores e a renovação dos canaviais (AGRIANUAL, 2012).

Apesar dos problemas econômicos e climáticos alguns estados apresentaram um aumento considerável em expansão de área plantada, foram eles: Minas Gerais (117.540 ha), Goiás (110.763,8 ha), Mato Grosso do Sul (73.498,8 ha), Paraná (39.555,2 ha) e Mato Grosso (15.704 ha). O total da área de expansão em todo País ficou em torno de 697.770,9 ha (CONAB, 2012).

3.2. Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar

O primeiro relato da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar foi em 1890, por Krüger, na Ilha de Java. Somente em 1914, quando Butler encontrou os teliosporos do fungo é que o denominou *P. kuehnii* (RYAN; EGAN, 1989). Apesar de ser uma doença que estava presente há anos nos países do sudeste da Ásia e Oceania, não havia relatos de dano econômico na cultura da cana-de-açúcar. Entretanto, no ano 2000 na Austrália, acredita-se que uma nova raça do patógeno desenvolveu-se e quebrou a resistência da cultivar Q124 que representava 45% da área plantada naquele país, causando um prejuízo de 210 milhões de dólares australianos (MAGAREY et al., 2001).

No continente americano a doença foi descrita primeiro nos EUA por Comstock et al. (2008) em Junho de 2007, nas cultivares CP 80-1743 e CP 72-2086, seguido da Guatemala, Costa Rica e Nicarágua nas respectivas cultivares

CP 72-2086, SP 71-5574 e CP 72-2086 (OVALLE et al., 2008 ; CHAVARRÍA et al., 2009). Em 2008 no México (Mex 57-1285, Mex 61-230 e Co 301), El Salvador, Panamá (SP 74-8355) (FLORES et al., 2009) e em Cuba em clones do instituto de pesquisa de cana daquele país (PÉREZ-VICENTE et al., 2010). Vale salientar que todas as variedades citadas nos respectivos países são resistentes a ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*).

No Brasil a doença foi relatada pela primeira vez em 2009 em áreas de viveiros da cultivar pré-comercial Centauro em uma propriedade nas proximidades do município de Rincão, região de Araraquara, no estado de São Paulo. No caso do Brasil a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar afetou um pequeno número de clones em programas de melhoramento, afetando as cultivares comerciais SP89-1115, RB72-454 e SP84-2025, que na época representavam menos de 10% da área plantada no País (BARBASSO et al., 2010).

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar é causada pelo fungo *Puccinia kuehnii* (Butler, 1914), sendo um Basidiomiceto, da Ordem Uredinales, Família Pucciniaceae (HAUKSWORTH et al., 1995). De acordo com Shaw, (1963) *P. kuehnii* é um fungo biotrófico que possui uma baixa gama de hospedeiros. Ataca principalmente espécies do gênero *Saccharum*, tais como *S. arundinaceum*, *S. nargenga*, *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. munja*, *S. edule* e *S. bengalense*, além de *Sclerostachya fusca*.

As urédias de *P. kuehnii* são hipófilas e, às vezes, anfígenas variam de 4-5 mm de comprimento. No geral são de coloração marrom claro e ocasionalmente amarelo alaranjado para marrom avermelhada mais curtas e ovais quando comparadas com a *P. melanocephala* (FERRARI et al., 2010; PÉREZ-VICENTE et al., 2010). As pústulas abrem progressivamente expelindo os uredinósporos que são obovóides a piriformes ou largamente elipsoidais variando em tamanhos de 32 a 45 µm x 25 a 30 µm moderadamente equinulados e uniformemente distribuídos, sendo os espinhos separados de 2 a 4,5 µm. As paredes são alaranjadas ou marrons alaranjadas com espessura variando de 1 a 2,5 µm. A parte apical dessa parede é mais pronunciada com 7 µm e 4 a 5 poros equatorial (OVALLE et al., 2008; COMSTOCK et al., 2008, FERRARI et al., 2010; PÉREZ-VICENTE et al., 2010).

Existem na literatura alguns dados com relação à epidemiologia da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, no entanto, os mesmos não apresentam correlações, sendo necessários mais estudos que confirmem esses resultados, já que a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar é uma doença relativamente nova no continente americano. Infante et al., (2009) citam que a severidade da doença aumenta exponencialmente com o tempo, sendo este o motivo pela qual a doença aparece de forma repentina quando as condições climáticas são favoráveis. A germinação dos esporos ocorre dentro de um intervalo de temperatura entre 17 – 34 °C, com ótima de 18 °C e 97% de umidade relativa. O progresso da infecção requer umidade que pode vir da chuva ou orvalho.

Estudos realizados por Minchio, Canteri e Rocha (2011) a temperatura ótima de germinação para *P. kuehnii* foi de 21°C com período de incubação de 14h. Os uredósporos obtidos em condições de campo submetidos a estas condições tiveram germinação máxima de 32%. Em condições de temperaturas mais elevadas, em torno de 25 a 30°C ocorreu a germinação dos uredósporos, porém em porcentagem inferior à temperatura ideal.

Martins (2010) testou seis temperaturas (10, 15, 20, 25, 30 e 35°C) e três tempos de incubação (8, 12 e 22 h) e observou que em 8 h de incubação os tratamentos 10, 15, 20 e 25°C não diferiram entre si, mas após 12 h os tratamentos 15 e 20°C tornaram estatisticamente superiores aos demais, e que a faixa ótima de temperatura para a germinação dos urediniósporos *P.kuehnii* está entre 15 a 20°C.

Os sintomas da doença caracterizam-se no início por manchas cloróticas nas folhas mais jovens, progredindo rapidamente e formando as pústulas, comumente observadas na face inferior das folhas. As pústulas podem ocorrer distribuídas por toda a superfície da folha, porém, tendem a se agrupar próximas ao ponto de inserção da folha ao colmo. No caso de cultivares altamente suscetíveis, as lesões evoluem rapidamente e coalescem, causando necrose das folhas, que geralmente ocorre a partir das bordas (FERRARI et al., 2010).

3.3. Influência das condições climáticas nas doenças de plantas

O aparecimento e o desenvolvimento de uma doença são resultantes da interação entre uma planta suscetível, um patógeno agressivo e um ambiente favorável. Dentre esses fatores o ambiente é o que mais influencia uma epidemia, podendo, inclusive, impedir sua ocorrência mesmo na presença de agentes patogênicos e hospedeiros suscetíveis. Doenças altamente destrutivas podem passar despercebidas, sob condições desfavoráveis de ambiente (BEDENDO; AMORIM, 2011, DE WOLF; ISARD, 2007, AGRIOS, 2005).

De acordo com Garcia (2005) as condições climáticas têm influência tanto no crescimento e na suscetibilidade do hospedeiro, como na multiplicação e na atividade do patógeno assim como na dispersão deste último para outras áreas ou regiões. Dentre os fatores ambientais a temperatura e a umidade relativa são os mais importantes no processo de doença de planta (AGRIOS, 2005).

Segundo Rosa, Basseto e Furtado (2010) a temperatura é um dos parâmetros importantes para que ocorra a infecção, processo primordial para que haja doença. Visando-se verificar a influência deste parâmetro sobre a severidade de *Plasmodiophora brassicae* em plantas de couve chinesa Pak Choi, os autores observaram que houve redução da severidade nas temperaturas acima de 30°C, e verificaram que a condição ótima para o desenvolvimento da doença ficou nas temperaturas de 20 a 25°C.

A temperatura de um modo geral afeta menos o patógeno do que a umidade e raramente atua como fator limitante, devido à maioria ser capaz de crescer em uma ampla faixa de temperatura. O que pode ocorrer é que em temperaturas muito altas haja o dessecamento de células bacterianas e de estruturas fúngicas presentes no inóculo (AGRIOS, 2005; BEDENDO; AMORIM, 2011).

O período de molhamento foliar na forma de orvalho, chuva ou água de irrigação tem grande importância na relação patógeno-hospedeiro sendo um fator crítico no progresso de epidemia. É sabido que a maioria dos fungos necessita de água livre sobre as plantas para germinação dos esporos e para infecção dos tecidos (HOPPMANN; WITTICH, 1997; TSUKAHARA; HIKISHIMA; CANTERI,

2008). O aumento da doença acompanha o período de molhamento até um determinado limite, a partir do qual a quantidade máxima de doença é atingida e deixa de ser influenciada por períodos adicionais de molhamento (BEDENDO; AMORIM, 2011).

Tsukahara, Hikishima e Canteri (2008), estudando as relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do estado do Paraná observaram que houve relação entre a duração do período de molhamento com o aparecimento dos primeiros sintomas, e a relação dos dados de precipitação e do número de dias de chuva com o progresso da epidemia.

Alves et al. (2011), estudando o efeito das temperaturas e do molhamento foliar na ferrugem asiática da soja verificaram que a maior severidade da doença ocorreu nas temperaturas entre 20 e 25°C e no molhamento foliar acima de 6 horas. Temperatura próxima a 15°C aumentou o período de latência, mas não inibiu o seu desenvolvimento, após 10 dias da inoculação do fungo os sintomas da doença apareceram.

Em cultivares de feijoeiros suscetíveis, com resistência moderada e resistentes, após serem inoculadas com *Uromyces appendiculatus*, foi verificado a influência da resistência genética e do período de molhamento na infecção e desenvolvimento das lesões. As cultivares suscetíveis tiveram área foliar infectada e número de lesões crescentes até 20 e 24 h de molhamento, respectivamente. As cultivares com resistência moderada apresentaram área foliar infectada e número de lesões crescentes até 24 h de molhamento (SILVA; RIOS; SILVA, 2001).

Martins (2010), estudando o comportamento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar sob diferentes períodos de molhamento foliar e temperaturas, observou o aparecimento da doença apenas nas temperaturas de 20 e 25°C e nos molhamentos foliares acima de oito horas.

Quando se considera todo o ciclo de uma doença outros fatores climáticos têm importância no processo de infecção, tais como luminosidade, vento, radiação solar e chuva, que atuam nos processos de germinação, penetração e disseminação dos esporos (GILLESPIE, 1994). A determinação dessas variáveis

torna-se, portanto, fundamental para a identificação do potencial de risco de ocorrência de doenças nas culturas e na tomada de decisão quanto à realização dos controles (HOPPMANN ; WITTICH, 1997).

3.4. Modelos matemáticos

Nas últimas décadas, o uso de modelos matemáticos aplicados à agronomia vem se expandindo rapidamente. Neste contexto, destaca-se a modelagem matemática das doenças de plantas. Os recentes avanços na ciência da computação têm auxiliado nesse desenvolvimento, trazendo vantagens e facilidades operacionais para a construção de modelos genéricos que representam os diversos patossistemas. A utilização de modelos que simulam o crescimento e desenvolvimento de uma cultura e, ao mesmo tempo, contabilizam o impacto das doenças pode ser determinante para o auxílio à tomada de decisões (PAVAN; FERNANDES, 2009).

O conhecimento gerado tem permitido a construção de novos modelos de previsão e avaliação de risco de doenças (DEL PONTE et al., 2006). De acordo com Reynolds e Acock (1997) quando se pretende desenvolver modelos de simulação envolvendo sistemas de produção agrícola deve-se realizar uma análise profunda do sistema, além de gerar e acumular conhecimentos e manter uma ampla base de dados experimentais. Também é de extrema importância o emprego de métodos e ferramentas de tecnologia de software.

Os experimentos em câmara de crescimento são extremamente úteis para a obtenção de informações iniciais a respeito do desenvolvimento dos patossistemas, uma vez que é possível isolar os efeitos da temperatura e da umidade (molhamento). As informações levantadas nesses experimentos servem como base ou ponto de partida para a incorporação de novas informações obtidas em condições de campo. Sem essa base inicial, a proposição de simuladores de epidemias demandaria muito mais tempo, devido à dificuldade de se isolar os fatores determinantes na manifestação de doenças (NININ, 2011).

A modelagem do efeito de variáveis climáticas no ciclo da doença é uma etapa fundamental, tendo em vista os diversos elementos do clima que exercem

influência sobre o fungo e na epidemiologia da doença (PEDRINI, 2010). Conforme Verhagen et al. (2001) citados por Pedrini (2010) os modelos para aplicações globais, trabalham independente de local, estação climática, cultivar e sistemas de gerenciamento.

Bregaglio et al. (2011) avaliaram vários modelos de molhamento foliar para aplicação em grandes áreas, esses autores estimaram o molhamento foliar e o impacto do processo de infecção de três agentes patogênicos (*Phytophthora infestans*, *Venturia inaequalis* e *Puccinia striiformis*), para isso utilizaram de um modelo de infecção potencial. Este estudo indicou que alguns modelos empíricos de molhamento teve desempenho melhor do que os modelos físicos, porém essa estimativa exige mais trabalho na coleta e avaliação dos dados.

Do et al, (2012) desenvolveram um modelo de risco de *Phytophthora* em pimenta que consiste em três partes, incluindo a estimativa de formação de zoósporos, teor de água no solo e quantidade de inóculo ativo no solo. Dados meteorológicos diários de temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação, e os dados de textura de solo de áreas locais foram usados para estimar o nível de risco de infecção, que foi quantificada como o valor acumulado de inóculo ativo durante os três dias anteriores, com base na análise conjunta dos dados climáticos e da doença.

O conhecimento epidemiológico em condições controladas e naturais, visando elucidar os fatores que afetam os processos do ciclo da doença tem sido fundamental para dar base a estudos de modelagem das epidemias (DEL PONTE, 2006).

3.5. Mapas de zona de riscos

Mapas de zonas de risco são utilizados para definir o zoneamento agroclimático, indicando épocas mais favoráveis para o plantio. No caso de doenças de plantas, os mapas de zonas de risco acoplados a modelos de simulação ou previsão de epidemias, podem ser úteis para indicar áreas geográficas e épocas mais favoráveis à ocorrência de doenças de plantas (CANTERI et al., 2007).

O zoneamento com a finalidade de definir áreas de escape tem como principal objetivo promover condições favoráveis à planta e desfavoráveis ao patógeno, através de táticas de fuga baseadas no zoneamento de áreas geográficas desfavoráveis ao estabelecimento da doença (AGRIOS, 2005, ZAMBOLIM et al., 2004). O conhecimento e espacialização de fatores que favorecem ou restringem a ocorrência de doenças contribui para a adoção de medidas preventivas para evitar o plantio ou controlar a severidade da doença em locais e épocas propícias à ocorrência de danos à cultura (LANDAU et al., 2009).

Vale salientar que nem sempre estão disponíveis modelos que empreguem parâmetros climáticos de fácil acesso, registrados sistematicamente em estações meteorológicas, possibilitando seu emprego em escala regional ou nacional, mas apenas local. Neste sentido, é necessário adequar-se à disponibilidade dos dados confiáveis e precisos de forma a disponibilizar a informação útil ao usuário, em tempo para a tomada de decisão (HAMADA et al., 2009).

Conforme Canteri et al. (2007) mapas de zonas de risco podem ser utilizados para análise histórica da ocorrência de epidemias, para análise da possível distribuição geográfica de uma nova doença, e desde que utilizados adequadamente, podem servir como base de sistemas de alerta. Para a geração de mapas de zonas de risco de doenças de plantas podem ser empregados diferentes método e escalas geográficas, porém cada método deve considerar sua aplicabilidade com relação os aspectos práticos, teórico e de usuários (HIJMANS et al., 2000; WU et al., 2005 ; HAMADA et al., 2009).

O zoneamento de áreas de risco de doenças pode ser realizado a nível global com o caso da cultura do arroz no qual foi desenvolvido um sistema para mapear epidemias potenciais para a cultura a nível mundial (SAVARY et al., 2012) e o da batata para a *Phytophthora infestans* onde os mapas foram estimados por dois modelos de previsão de doenças em conjunto, uma base de dados climáticos e um sistema de informação geográfica, com isso permitiu dividir as áreas de alta e baixa severidade nas principais regiões produtoras do mundo (HIJMANS et al., 2000).

Dentre alguns exemplos do uso de mapeamentos de zonas de riscos no Brasil pode citar-se o do cancro cítrico (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*)

(LOPES et al., 2008), e de doenças fúngicas na videira 'niagara rosada' (BARDIN et al., 2010). Técnicas de geoinformação também foram utilizadas para estudar áreas de risco de ferrugem da soja (*P.pachyrhizi*), ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) e da sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*). O modelo utilizado para o zoneamento das três doenças no Brasil levou em consideração a temperatura, molhamento foliar e futuras mudanças climáticas (ALVES et al., 2011b).

De acordo com NEUBAUER et al. (2011) mapeamentos de zonas de riscos para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar mostraram que as condições favoráveis para o desenvolvimento da doença foram observadas nas principais regiões canavieiras do Brasil. No estado de São Paulo onde está mais de 60% de toda a cana produzida no Brasil, as zonas de maior favorabilidade para epidemias de ferrugem alaranjada, são o Centro Norte e o Centro Sul do estado (MARTINS, 2010).

Para a construção de mapas de riscos é necessário um modelo matemático para a geração dos índices de favorabilidade da doença que se pretende estudar, sendo estes dados contabilizados para a região de estudo pelo uso do programa Visual Basic, por exemplo, ou qualquer outra linguagem de programação. Após a obtenção dos índices são calculadas as porcentagens de dias favoráveis à ocorrência da doença no período de um ano. A partir destas informações, são gerados os mapas temáticos, com a distribuição espacial da porcentagem de dias favoráveis à ocorrência de doença (LOPES, 2007).

4. REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2012: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultora & Comércio, 2005. p. 221-246.

AGRIOS, G.N. **Plant Pathology**. 5 ed. San Diego: Academic Press, 2005. p. 271 - 272.

ALVES, M.C; CARVALHO, L.G.; POZZA, E.A.; SANCHES, L.; MAIA, J.C.S. Ecological zoning of soybean rust, coffee rust and banana black sigatoka based on Brazilian climate changes. **Procedia Environmental Sciences**, v. 6, p. 35–49, 2011

ALVES, M.C.; POZZA, E.A.; COSTA, J.C.B.; CARVALHO, L.G.; ALVES, L.S. Adaptive neuro-fuzzy inference systems for epidemiological analysis of soybean rust. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 26, p. 1089-1096, 2011.

ARAÚJO, K.L.; GILIO, T.A.S.; SANCHES, P.R.B.; NEUBAUER, R.A.; FAGUNDES, C.; BASSAN, B.E; RODERO, D.P.; RODERO, D.C.P.; GIGLIOTI, E.A.; CANTERI, M.G. Monitoramento da favorabilidade genotípica para ocorrência da Ferrugem Alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil. In: XLIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36., 2011, Bento Gonçalves. **Resumos ...** Bento Gonçalves: Tropical Plant Pathology, 2011.p. 1091.

BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; SANGUINO, A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, p.1170, 2010.

BARDIN, L.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; MORAES, J.F.L. Risco climático de ocorrência de doenças fúngicas na videira 'Niagara Rosada' na região do Polo Turístico do Circuito das Frutas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 1019-1026, 2010.

BEDENDO, I.P.; AMORIM, L. Ambiente e Doença. In: AMORIM, L; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia - Princípios e Conceitos**. v.1, 4 ed, São Paulo: Ceres, 2011, cap. 7, p. 133 -147.

BREGAGLIO, S.; DONATELLI, M.; CONFALONIERI, R.; ACUTIS, M.; ORLANDINI, S. Multi metric evaluation of leaf wetness models for large-area

application of plant disease models. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, p. 1163 - 1172, 2011.

CANTERI, M.G.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; TSUKAHARA, R.Y. Emprego da tecnologia da informação para simulação de epidemias e zoneamento agroclimático aplicáveis no controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, p.104-160, 2007.

CHAVARRÍA, E.; SUBIROS, F.; VEGAS, J.; RALDA, G.; GLYNN, N.C.; COMSTOCK, J.C. 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.

COMSTOCK, J.C.; SOOD, S.G.; GLYNN, N.C.; SHINE, J.M.; MCKEMY, J.M.; CASTBURY, 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.6, p.175, 2008.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Cana-de-açúcar: safra 2012-2013 (terceiro levantamento). São Paulo, Dezembro 2012. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_12_10_34_43_boletim_cana_portugues_12_2012.pdf. Acesso em: 23 jan. 2013.

COSTA, F.M.; BARRETO, M.; KOSHIKUMO, E.S.M.; ALMEIDA, F.A. Progresso da ferrugem tropical do milho (*Zea mays* L), sob diferentes tratamentos fungicidas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.34, n.3, p.248-252, 2008.

DE WOLF, E.D.; ISARD, S.A. Disease cycle approach to plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.45, p. 203-220, 2007.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; CANTERI, M.G.; REIS, E.M.; YANG, X.B. Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, p.533-544, 2006.

DO, K.S.; KANG, W.S.; PARK, E.W.A. Forecast Model for the First Occurrence of Phytophthora Blight on Chili Pepper after Overwintering. **Plant Pathology Journal**, v.28, n.2, p.172-184, 2012.

FERRARI, J.T.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R.J.; TERÇARIOL, I.M.L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Biológico: 2010. 8 p. (Instituto Biológico. Documento Técnico, 005).

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.; CASTLEBURY, 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.

GARCIA, B.I.L. **Risco climático de ocorrência da requeima da batata na região dos Andes, Venezuela**. 2005. 132 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005

GILLESPIE, T.J. Pest and disease relationships. In: GRIFFITHS, J. F. **Handbook of agricultural meteorology**. New York: Oxford University Press, 1994, Chap 19, p. 203 – 209.

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

HAMADA, E.; GHINI, R.; LANA, J.T.O.; OLIVEIRA, E. Aplicação de Sistema de Informações Geográficas na análise espacial de doenças do milho no Brasil. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 3883-3889.

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. 616 p.

HIJMANS, R.J.; FORBES, G.A.; WALKER, T.S. Estimating the global severity of potato late blight with GIS-linked disease forecast models. **Plant Pathology**, v. 49, p. 697-705, 2000.

HOPPMANN, D.; WITTICH, K.P. Epidemiology related modeling of the leaf wetness duration as an alternative to measurements, taking *Plasmopora viticola*

as an example. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, v. 104, p. 533 – 544, 1997.

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.

Instituto de Geografia e Estatística (IBGE) - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em:
<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp>. Acesso em: 3 Dez. 2012.

LANDAU, E.C.; TAVARES, R.B.; OLIVEIRA, E.; FERNANDES, F.T. Geoespacialização do risco fitossanitário de severidade de doença foliar em milho (*Zea mays* L.) no Brasil. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte. **Anais eletrônico...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2009. Disponível em:
<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/scaf/publicacoes/PC2-Tendencias%20-%20CBAgro1.PDF/view>. Acesso em: 12 jan. 2013.

LOPES, M.V. **Mapas de zonas de risco de epidemias para doenças dos citros no Estado de São Paulo**. 2007. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2007.

LOPES, M.V.; BARRETO, M.; SCALOPPI, É.A.G.; BARBOSA, J.C.; BRUNINI, O. Mapas de zonas de risco de epidemias e zoneamento agroclimático para o Cancro Cítrico no Estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.34, n.4, p.349-353, 2008.

LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar (*Saccharum* ssp.). In: CASTRO, P.R.C.; KLUGE, R. Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.

MAGAREY, R.C. Orange rust. In: ROTT, P.; BAILEY, R.A.; COMSTOCK, J.C.; CROFT, B.J.; GIRARD, J.C.; SAUMTALLY, A.S. **A guide to sugarcane diseases**. Montpellier: La Librairie du Cirad, 2000. p. 121-125.

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, Queensland, v. 23, p. 274-280, 2001.

MARTINS, T.D. **Aspecto epidemiológico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. 2010. 65 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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

NEUBAUER, R.A.; SANCHES, P.R.B.; GILIO, T.A.S.; FAGUNDES, C.; BASSAN, B.E.; RODERO, D.P.; RODERO, D.C.P.; ARAÚJO, K.I.; GIGLIOTI, E.A.; CANTERI, M.G. Mapeamento espaço-temporal de zonas de risco para ocorrência da Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) no Brasil. In XLIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36.,2011, Bento Gonçalves. **Resumos ...** Bento Gonçalves: Tropical Plant Pathology, 2011.p. 1079.

NININ, M.V.L. Intensidade da mancha preta dos citros em função de variáveis meteorológicas. 2011. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Produção vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2011.

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.

PAVAN, W.; FERNANDES, J.M.C. Uso de orientação a objetos no desenvolvimento de modelos de simulação de doenças de plantas genéricos. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Campinas,SP, v. 9, n. 1, p. 12-27, 2009.

PEDRINI, J.E. **Acoplando um modelo de doenças ao modelo cropgro-soybean: ferrugem asiática da soja**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado Agronomia - Área de Concentração em Fitopatologia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

PÉREZ-VICENTE, L.; MARTÍN-TRIANA, E.L.; BARROSO, F.; MARTÍNEZ-DE-LA-PARTE, E.; BORRÁS-HIDALGO, O.; ESTÉVEZ,I.H. Definitive identification of orange rust of sugarcane caused by *Puccinia kuehnii* in Cuba. **New Disease Reports**, Birmingham, v.20, p. 16, 2010.

REYNOLDS, J.F.; ACOCK, B. Modularity and genericness in plant and ecosystem models. **Ecological Modelling**, v. 94, n. 1, p. 7-16, 1997.

ROSA, D.D.; BASSETO, M.A.; FURTADO, E.L. Efeito da temperatura sobre a infecção de *Plasmodiophora brassicae*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.36, n.3, p. 240 - 243, 2010.

RYAN, C.C.; EGAN, B.T. Rust. In: RICAUD, C.; EGAN, B.T.; GILLASPIE JÚNIOR, A.G.; HUGHES, C.G. (Ed). **Diseases of sugarcane**: major diseases. Amsterdam: Elsevier, 1989.p.189-210.

SAVARY, S.; NELSON, A.; WILLOCQUET, L.; PANGGA, I.; AUNARIO, J. Modeling and mapping potential epidemics of rice diseases globally, **Crop Protection**, Guildford, v. 34, p. 6 - 17, 2012.

SHAW, M. The physiology and host-parasite relations of the rusts. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.1, p. 259 - 294, 1963.

SILVA, S.R.; RIOS, G.P.; SILVA, S.C. Influência da resistência e do período de molhamento na infecção e desenvolvimento de lesões de ferrugem no feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 26, p.726-731, 2001.

TSUKAHARA, R.Y.; HIKISHIMA, M.; CANTERI, M.G. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 47-52, 2008.

WU, B.M.; SUBBARAO, K.V.; VAN BRUGGEN, A.H.C. Analyses of the relationships between lettuce downy mildew and weather variables using geographic information system techniques. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 89, p. 90 - 96, 2005.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R.; COSTA, H.; JULIATTI, F.C. Manejo Integrado - medidas de controle. In: VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia Aplicada ao Manejo de Doenças de Plantas**. Belo Horizonte: Perfil Editora, 2004, v.1, p.455 - 526.

CAPÍTULO 2 - Influência da temperatura e do período de molhamento foliar na epidemiologia da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar

RESUMO - Devido à escassez de estudos epidemiológicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil e a importância dessa cultura no agronegócio brasileiro, objetivaram-se neste trabalho determinar a influência da temperatura e do período de molhamento foliar na epidemiologia desta doença. Foram utilizadas plantas da cultivar SP89-1115 com vinte dias de idade inoculadas com o fungo *Puccinia kuehnii* na concentração de 2×10^4 de uredósporos/mL. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5x7 sendo 5 temperaturas (17,5 ; 20,0 ; 22,5; 25,0 e 27,5°C) e 7 períodos de molhamento foliar (0 ; 4; 8; 12; 16; 20 e 24 horas), com 3 repetições. As melhores temperaturas para o desenvolvimento da ferrugem alaranjada foram 20,0; 22,5 e 25,0°C sendo esta última a que deu melhor resultado. Nas temperaturas de 22,5 e 25,0°C com 20 horas de molhamento foliar foram observadas a presença de pústulas em maior número decrescendo quando se testou 24 horas de molhamento. Não foi observado sintoma da doença nos períodos de molhamentos foliares de 0, 4 e 8 horas em todas as temperaturas testadas. Também não ocorreu a doença na temperatura de 27,5°C em todas as combinações dos períodos de molhamentos foliares testados. Estudos da epidemiologia dessa doença são bastante importantes para traçar estratégias de controle e futuramente desenvolver um sistema de previsão para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.

Palavras-Chave: Fatores climáticos, *Puccinia kuehnii*, *Saccharum* spp.

1. INTRODUÇÃO

A produção de cana-de-açúcar no Brasil em 2012 foi de aproximadamente 675 milhões de toneladas, com previsão para 2013 de 715 milhões de toneladas (IBGE, 2013).

Vários fatores são limitantes à produção da cana-de-açúcar dentre eles a ocorrência de doenças, levando a substituição de cultivares, devido ao decréscimo que as mesmas promovem na produtividade. Uma das principais doenças fúngicas da cultura é a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar causada pelo fungo *Puccinia kuehnii* (W. Krüger) E.J. Butler. Embora de ocorrência recente no Brasil e em vários outros países, as perdas foram superiores a 40% em cultivares suscetíveis e de resistência intermediárias (ARAÚJO et al., 2011).

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar é uma doença antiga na Ásia e Oceania e até o ano 2000 não havia relatos de danos à produção da cana-de-açúcar. Porém em 2000 as perdas foram superiores a 40% na Austrália (MAGAREY et al., 2001) e o fungo foi disseminado rapidamente para vários países. No Brasil, a doença foi detectada pela primeira vez em 2009, nas proximidades do município de Rincão na região de Araraquara no estado de São Paulo (BARBASSO et al., 2010).

Os sintomas iniciais da ferrugem alaranjada caracterizam-se por manchas cloróticas nas folhas mais jovens, observadas comumente na face inferior da folha. As lesões evoluem rapidamente e coalescem em variedades altamente suscetíveis, causando a necrose das folhas. As urédias formam uma minúscula protuberância de coloração laranja a castanho avermelhado (FERRARI et al., 2010). As condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento da ferrugem alaranjada são umidade relativa alta, temperaturas elevadas no verão (MAGAREY, 2000; MINCHIO; CANTERI; ROCHA, 2011) com alternância de calor e frio no outono (MAGAREY, 2000). As condições ótimas de germinação são temperaturas entre 22 e 24 °C e umidade relativa entre 98 e 99% (MAGAREY; NEILSEN; MAGNANINI, 2004).

Quando se considera todo o ciclo de uma doença, os fatores climáticos tais como temperatura, umidade relativa, orvalho, luminosidade, vento, radiação solar

e chuva, podem afetar os processos de infecção, colonização, reprodução, disseminação e sobrevivência do patógeno (GILLESPIE, 1994). Portanto, a determinação dessas variáveis é fundamental para a identificação do potencial de risco de ocorrência de doenças nas culturas e na tomada de decisão quanto à realização dos controles (HOPPMANN ; WITTICH 1997).

Devido à escassez de estudos quanto aos aspectos epidemiológicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil e à importância dessa cultura no agronegócio brasileiro, objetivou-se neste trabalho determinar a influência da temperatura e do período de molhamento foliar na epidemiologia da doença.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado no Laboratório de Fitopatologia, do Departamento de Fitossanidade da UNESP/FCAV (Câmpus de Jaboticabal) e a metodologia utilizada foi adaptada de Martins (2010). O inóculo foi obtido de folhas de cana-de-açúcar da cultivar SP89-1115 infectada com *P. kuehnii*. Para isso as mesmas foram colocadas em câmara úmida por 24 horas para facilitar a esporulação. Posteriormente foi realizada a transferência das estruturas do fungo com auxílio de um pincel de cerdas macias, para um béquer contendo água destilada, e em seguida a concentração do inóculo foi ajustada para aproximadamente 2×10^4 uredósporos/mL, com auxílio de uma câmara de Neubauer.

A suspensão do inóculo ajustada foi pulverizada até o ponto de escorrimento, sobre ambas as superfícies das folhas, em plantas com vinte dias de idade da cultivar SP89-1115, sabidamente suscetível que estavam em casa-de-vegetação. Foi utilizado um pulverizador manual de 0,5 L de capacidade. As plantas inoculadas foram produzidas a partir de colmos cortados em mini-toletes ficando apenas o nó para que coubessem em copos plásticos de 200 mL de volume, preenchidos com uma mistura de três partes de terra (Latossolo - roxo), uma de areia lavada e uma de esterco bovino curtido e acrescido de fertilizante Figura 1. A irrigação foi realizada, com auxílio de uma piceta, sempre que necessária.

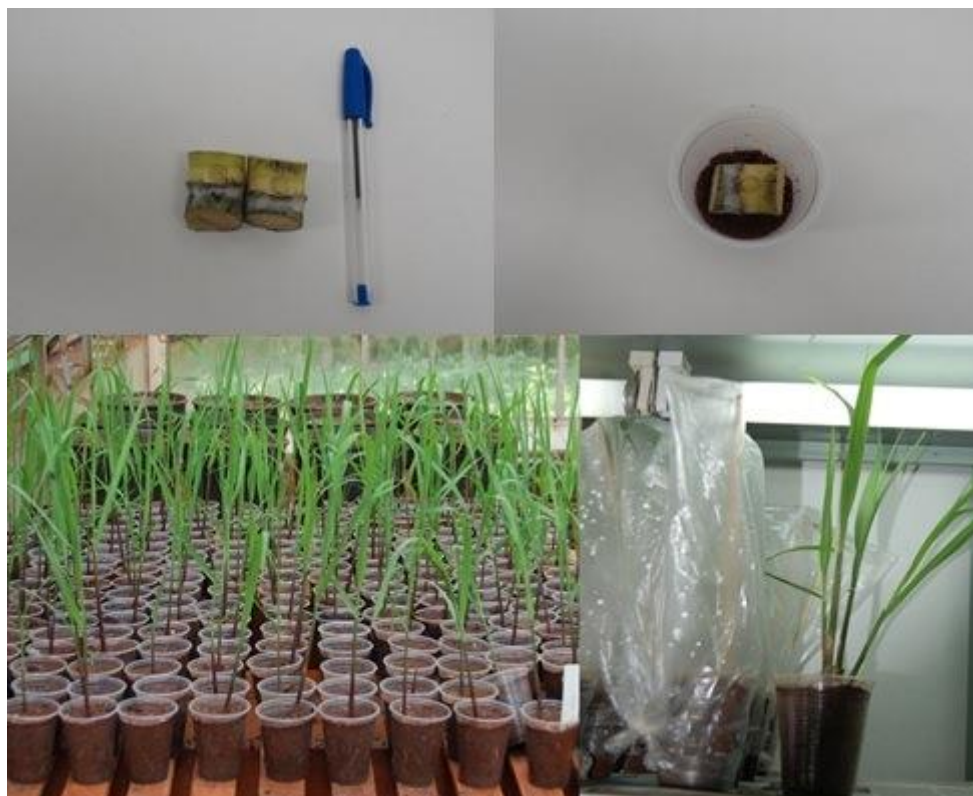


Figura 1. Mini-toletes e plantas de cana-de-açúcar da cultivar SP89-1115 com vinte dias de idade.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5x7 sendo cinco temperaturas (17,5; 20,0; 22,5; 25,0 e 27,5 °C) e sete períodos de molhamento foliar (0; 4; 8; 12; 16; 20 e 24 horas), com 3 repetições.

Foi avaliado o período de molhamento foliar e a temperatura para o desenvolvimento da doença. Para tanto, imediatamente após a inoculação, as plantas foram cobertas com sacos plásticos umedecidos e mantidas em estufa incubadora tipo B.O.D. com fotoperíodo de 12h/12h por diferentes períodos de molhamento e temperaturas que constituíram nos tratamentos do ensaio. O molhamento zero correspondeu à ausência de câmara úmida. A variação da temperatura das estufas incubadora tipo B.O.D. foi de aproximadamente $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Todas as plantas foram avaliadas diariamente após a inoculação até o início dos primeiros sintomas. Avaliou-se a incidência da doença contando o (número de pústulas) e a severidade (porcentagem de área foliar doente) utilizando uma escala descritiva de notas (AMORIM et al., 1987) para ferrugem

marrom (*Puccinia melanocephala* Syd. & P. Syd.) adaptada para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar onde: Nota 1 = Ausência de doença, 2 = 0,5 %, 3 = 0,6 até 1%, 4 = 1,1 até 5%, 5 = 5,1 até 10%, 6 = 10,1 até 25%, 7 = 25,1 até 35%, 8 = 35,1 até 50% e 9 = > 50% de área foliar lesionada.

Apesar das avaliações terem sido realizadas diariamente, para fins de análise estatística, foram utilizadas as notas em intervalo de dois dias até a última avaliação, totalizando cinco avaliações. As notas foram convertidas para porcentagens de área foliar doente pelo ponto médio de cada nota.

Com os dados das avaliações da doença ajustou o modelo de regressão não linear, pela função beta-monomolecular Hau e Kranz, (1990) expressa pela equação $Z = \{b_1 \times [(T-b_2)^{b_3}] \times [(b_4-T)^{b_5}] \times [b_6 \times [(1-b_7 \times \exp(-b_8 \times M))]]\}$ em que T corresponde a temperatura; M o período de molhamento foliar; b2 e b4 são as temperaturas mínima e máximas respectivamente ; b5 representa a amplitude da curva em sua faixa assintótica; b8 está relacionado à velocidade de aumento da variável dependente em função do molhamento e os demais são parâmetros desprovidos de significados biológicos.

O modelo beta-monomolecular foi ajustado com auxílio do software Statistica®. Os dados da severidade máxima e da Incidência máxima foram analisados pelo teste F para variância e os dados foram transformados em $\sqrt{x+1}$ e comparados pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas plantas inoculadas e mantidas em cinco diferentes temperaturas e sete períodos de molhamento foliar, os primeiros sintomas de ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar foram observados aos 10 dias após a inoculação na temperatura de 25°C, a partir do molhamento foliar de 12 horas. Nesta temperatura as pústulas apresentaram-se pequenas e com poucos esporos com severidade inferior a 0,5%. Nas temperaturas de 20,0 e 22,5°C os primeiros sintomas da doença foram observados aos 12 dias, nos molhamentos foliares de 16 e 20 horas. Nos molhamentos foliares 12 e 24 horas, aos 12 dias, as folhas

apresentaram áreas despigmentadas que posteriormente verificou-se evoluir para sintomas típicos da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.

Na temperatura de 17,5°C os sintomas foram observados, somente aos 14 dias após a inoculação, apenas nos molhamentos de 20 e 24 horas e se apresentaram de forma menos agressiva com apenas 0,3% de severidade. Não foi observado sintoma da doença nos períodos de molhamentos foliares de 0 ; 4 e 8 horas em todas as temperaturas testadas. Também não ocorreu a doença na temperatura de 27,5°C em todas as combinações dos períodos de molhamentos foliares testados (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância e teste de médias da severidade e incidência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) em plantas da cultivar SP89-1115 inoculadas, em diferentes combinações de temperatura e molhamento foliar, Jaboticabal, SP, 2012.

Temperatura	Severidade	Incidência
17,5	0,08 c	0,76 c
20,0	2,07 c	7,16 b
22,5	6,68 b	17,11a
25,0	15,47 a	22,04a
27,5	0,00 c	0,00 c
Molhamento	Severidade	Incidência
0	0,00 c	0,00 c
4	0,00 c	0,00 c
8	0,00 c	0,00 c
12	3,71 b	7,86 b
16	2,79 b	9,46 b
20	20,99 a	33,25 a
24	6,55 b	15,33 b
F (Temperatura)	29,83	26,87
F (Molhamento)	25,37	26,96
F Temperatura x Molhamentos	6,24	4,91
CV(%)	44,98	46,95

*Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados semelhantes no que se refere à temperatura foi observado por Martins (2010) quando estudou o efeito de seis temperaturas e seis períodos de molhamentos foliares no desenvolvimento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. A autora verificou que a doença desenvolveu-se apenas nas temperaturas de 20 e 25°C e que o período de molhamento mínimo para ocorrer à infecção foi de 8 horas. Entretanto no presente trabalho o período de molhamento mínimo de infecção foi de 12 horas. A diferença deste resultado pode estar relacionada às características do hospedeiro já que Martins (2010) utilizou a variedade CL85-1040.

Alves et al. (2007), estudando a intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja nas cultivares conquista, savana e suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar, observaram diferenças no período de infecção nas cultivares em estudo e relacionaram essas diferenças a características do hospedeiro, estágio vegetativo e nutricional, como também devido às combinações entre temperatura e período de molhamento.

Os resultados da interação entre os fatores temperatura e períodos de molhamento foliar, expressos pela severidade máxima e a incidência máxima da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar encontram-se nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Pode-se observar que as melhores temperaturas para o desenvolvimento da doença foram 20,0; 22,5 e 25,0°C sendo a melhor 25,0 °C (Tabela 2). Temperaturas abaixo de 20,0°C e acima de 25,0°C não favoreceram o patógeno, impedindo seu desenvolvimento mesmo quando submetido a altos períodos de molhamento foliar. Existem ainda poucos trabalhos de epidemiologia da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, tendo em vista que é uma doença relativamente nova no continente americano, sendo necessários mais estudos que confirmem esses resultados.

Tabela 2. Severidade da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) em plantas da cultivar SP89-1115 inoculadas, em diferentes combinações de temperatura e molhamento foliar, Jaboticabal, SP, 2012.

Temp(°C)	Horas de molhamento foliar						
	0	4	8	12	16	20	24
17,5	0,00aA	0,00aA	0,00aA	0,00bA	0,00bA	0,30bcA	0,30bA
20,0	0,00aB	0,00aB	0,00aB	0,30bAB	1,20abAB	10,35bA	2,70bAB
22,5	0,00aC	0,00aC	0,00aC	3,75abBC	7,50aB	34,33aA	1,20bBC
25,0	0,00aD	0,00aD	0,00aD	14,50aBC	5,25aCD	60,00aA	28,58aB
27,5	0,00aA	0,00aA	0,00aA	0,00bA	0,00bA	0,00cA	0,00bA
CV(%)	44,98						

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si, pelo Teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Em estudo realizado por Minchio, Canteri e Rocha (2011) a temperatura ótima de germinação dos esporos para *P. kuehnii* foi de 21°C com incubação de 14h. Em temperaturas em torno de 25 a 30°C ocorreu germinação dos uredósporos, porém em porcentagem inferior à temperatura ideal. De acordo com Infante et al. (2009) a melhor temperatura de germinação dos esporos ocorre dentro de um amplo intervalo de temperatura entre 17-34°C, com ótima de 18°C e 97% de umidade relativa.

Tabela 3. Incidência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) em plantas da cultivar SP89-1115 inoculadas, em diferentes combinações de temperatura e molhamento foliar, Jaboticabal, SP, 2012.

Temp(°C)	Horas de molhamento foliar						
	0	4	8	12	16	20	24
17,5	0,00aA	0,00aA	0,00aA	0,00cA	0,00bA	3,50cdA	1,83bcA
20,0	0,00aB	0,00aB	0,00aB	1,33bcB	8,50abAB	30,48bcA	9,83bAB
22,5	0,00aC	0,00aC	0,00aC	13,83abB	20,82aB	79,13aA	6,00bBC
25,0	0,00aC	0,00aC	0,00aC	24,15aB	17,99aB	53,14abA	26,97aB
27,5	0,00aA	0,00aA	0,00aA	0,00cA	0,00bA	0,00dA	0,00cA
CV(%)	46,95						

*Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si, pelo Teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 pode-se observar ausência de doença no molhamento zero mostrando a necessidade de água livre sobre as folha e de um período de molhamento mínimo de 12 horas para que possa ocorrer infecção da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. Também se verificou que o aumento da intensidade da doença foi até 20 horas de molhamento foliar. Nas temperaturas de 20; 22,5 e 25,0°C com 20 horas de molhamento foliar observou-se que as plantas desses tratamentos apresentaram mais sintomas da doença havendo um decréscimo na severidade quando se teve 24 horas de molhamento (Figuras 2).

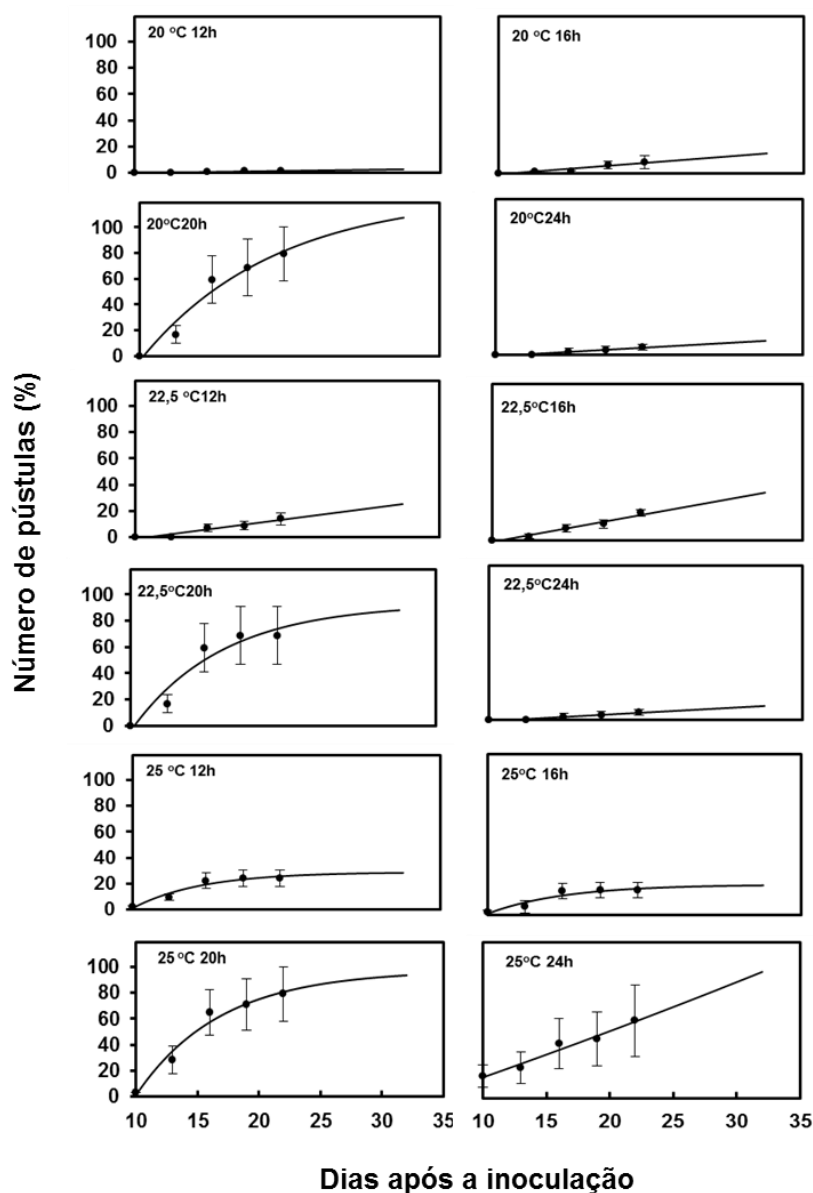


Figura 2. Curvas de progresso da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nas temperaturas de 20°C; 22,5°C e 25°C nos períodos de molhamento foliar de (12; 16; 20 e 24 horas).

Segundo Bedendo e Amorim, (2011) os esporos da grande maioria dos fungos patogênicos requerem água livre durante horas na superfície do hospedeiro para germinação e conseqüentemente penetração. O aumento da intensidade da doença acompanha o período do molhamento até um determinado limite, a partir do qual a quantidade máxima de doença é atingida e deixa de ser influenciada por períodos adicionais de molhamento. De acordo com Alves et al. (2007), a partir de uma determinada concentração de pontos de infecção, as lesões que se formam primeiro, podem dificultar o desenvolvimento de outras que resultam de infecções posteriores.

O período de molhamento foliar e a temperatura têm bastante influência na ocorrência da ferrugem alaranjada como pode ser observado nas Tabelas 2 e 3. Quando se considera todo o ciclo de uma doença todos os fatores climáticos têm importância no processo de infecção (GILLESPIE, 1994), mas dentre os fatores ambientais, a temperatura e a umidade relativa são os mais importantes no processo de doença de plantas (AGRIOS, 2005).

Com os dados da severidade foi possível determinar a relação entre a temperatura e o período de molhamento foliar pela obtenção de uma equação de superfície resposta. Pela equação determinou-se que as condições ideais para o desenvolvimento da doença foram: temperatura de 25,0°C e período de molhamento foliar de 20 horas (Figura 3). Esses dados da epidemiologia da ferrugem alaranjada são bastante importantes para traçar estratégias de controle e futuramente desenvolver um sistema de previsão para a doença.

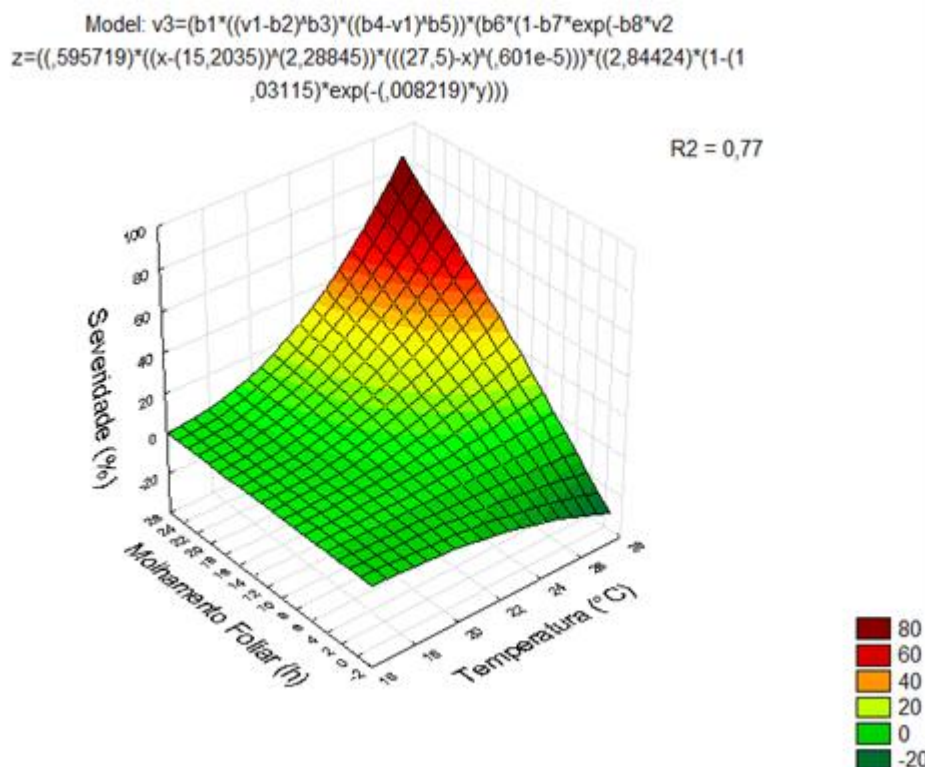


Figura 3. Efeito da temperatura e do período de molhamento foliar no desenvolvimento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) em plantas da cultivar SP89-1115 em condições controlada. Jaboticabal, SP, 2012.

Com os resultados deste trabalho, foi possível observar que os fatores climáticos aqui estudados, temperatura e molhamento foliar, afetam significativamente a epidemiologia de *P. kuehnii*, havendo uma interação significativa entre estes fatores.

4. CONCLUSÕES

O período mínimo de molhamento para ocorrência de infecção e expressão dos sintomas é de 12 horas.

As condições ideais para expressão dos sintomas da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar são temperatura de 25°C e período de molhamento foliar de 20 horas.

Dentre as temperaturas testadas as que mais favoreceram a expressão dos sintomas da ferrugem alaranjada foram 22,5°C e 25,0°C.

5. REFERÊNCIAS

AGRIOS, G.N. **Plant Pathology**. 5 ed. San Diego: Academic Press, 2005. p. 271 - 272.

ALVES, M.C.; POZZA, E.A.; FERREIRA, J.B.; ARAÚJO, D.V.; COSTA, J.C.B.; DEUNER, C.C.; MUNIZ, M. F.S.; ZAMBENEDETTI, E.B.; MACHADO, J.C. Intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow) da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] nas cultivares Conquista, savana e suprema sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento foliar. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, n.3, p.239 - 244, 2007.

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

BEDENDO, I.P.; AMORIM, L. Ambiente e Doença. In: AMORIM, L; REZENDE, J. A. M; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia - Princípios e Conceitos**. v.1, 4 ed, São Paulo: Ceres, 2011, cap. 7, p. 133 -147.

ARAÚJO, K.L.; GILIO, T.A.S.; SANCHES, P.R.B.; NEUBAUER, R.A.; FAGUNDES, C.; BASSAN, B.E.; RODERO, D. P.; RODERO, D. C. P.; GIGLIOTI, E.A.; CANTERI, M.G. Monitoramento da favorabilidade genotípica para ocorrência da Ferrugem Alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil. In: XLIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36., 2011, Bento Gonçalves. **Resumos ...** Bento Gonçalves: Tropical Plant Pathology, 2011.p. 1091.

BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; SANGUINO, A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, p.1170, 2010.

FERRARI, J.T.; HAKAKA, R.; DOMINGUES, R.J.; TERÇARIOL, I.M.L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Biológico: 2010. 8 p. (Instituto Biológico. Documento Técnico, 005).

GILLESPIE, T.J. Pest and disease relationships. In: Griffiths, J. F. **Handbook of agricultural meteorology**. New York: Oxford University Press, 1994, Chap 19, p. 203 - 209.

HAU, B.; KRANZ, J. Mathematics and statistics for analyses in epidemiology. In: KRANZ, J. (Ed). **Epidemics of plant disease: mathematics analyses and modeling**. Berlin. Springer Verlag, p. 12-52, 1990.

HOPPMANN, D.; WITTICH, K.P. Epidemiology related modeling of the leaf wetness duration as an alternative to measurements, taking *Plasmopora viticola* as an example. **Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz**, v. 104, p. 533 - 544, 1997.

Instituto de Geografia e Estatística (IBGE) - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em:
<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp>. Acesso em: 26 Jan. 2013.

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.

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**, Queensland, v. 23, p. 274-280, 2001.

MAGAREY, R.C. Orange rust. In: ROTT, P.; BAILEY, R.A.; COMSTOCK, J.C.; CROFT, B.J.; GIRARD, J.C.; SAUMTALLY, A.S. **A guide to sugarcane diseases**. Montpellier: La Librairie du Cirad, 2000. p. 121-125.

MAGAREY, R.C.; NEILSEN, W.A.; MAGNANINI, A.J. **Environmental requirements for spore germination in the three sugarcane leaf pathogens**. Conference of the Australasian Society of Sugar Cane Technologists held at Brisbane, Queensland, 2004, p. 1 - 7.

MARTINS, T.D. **Aspecto epidemiológico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. 2010. 65 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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

CAPÍTULO 3 - Progresso da ferrugem alaranjada da cana-de açúcar

RESUMO - Objetivou-se com este trabalho avaliar o processo epidêmico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar pelas curvas de progresso de doença. Os experimentos foram conduzidos em quatro áreas localizadas no estado de São Paulo sendo dois experimentos durante a safra de 2009/2010 no município de Ibaté, um experimento em Jaboticabal na safra 2010/2011 e um experimento em Miguelópolis na safra 2011/2012. Sendo as variedades utilizadas nas safras de 2009/2010 e 2011/2012 a RB72-454 no terceiro corte e na safra 2010/2011 a SP 89-1115 no quarto corte ambas sabidamente suscetíveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. Nas três safras, considerou-se como tratamentos um produto padrão do grupo químico das estrobilurina + triazois e uma testemunha. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas de quatro linhas de dez metros de comprimento, com espaçamento de 1,5 m entre linhas. A severidade da doença foi avaliada a cada 30 dias em cinco plantas escolhidas aleatoriamente na área útil da parcela, analisando a folha +3 de cada planta com auxílio de uma escala descritiva de notas de 1 = Ausência de doença a 9 = > 50% de área foliar lesionada. Com esses dados obtiveram-se as curvas de progresso da doença ajustando aos modelos matemáticos monomolecular, logístico e de Gompertz. Os valores dos coeficientes de determinação ajustado (R^{*2}), desvio padrão do inóculo inicial (x_0) e da taxa de infecção (r^*) confirmaram que o modelo monomolecular foi o que melhor se ajustou aos dados da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar quando comparados aos demais em todos os tratamentos e safras.

Palavras-Chave: Curva de progresso de doença, *Puccinia kuehnii*, Epidemiologia, *Saccharum* spp.

1. INTRODUÇÃO

Na cultura de cana-de-açúcar a ferrugem alaranjada causada por *Puccinia kuehnii* (W.Krüger) E.J.Butler em condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da doença, pode causar severas epidemias no campo além de perdas acima de 40% na produção em variedades suscetíveis (ARAÚJO et al., 2011).

Os primeiros sintomas da doença caracterizam-se por pontuações pequenas e amareladas que evoluem para pústulas de coloração alaranjada a castanho-alaranjada. As pústulas podem ocorrer por toda a superfície da folha e também serem observadas agrupadas próximas ao ponto de inserção da folha ao colmo (CDA, 2010).

No Brasil, alguns estudos estão sendo conduzidos com foco na determinação das condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar com a finalidade de poder fornecer subsídios importantes na tomada de decisão principalmente no que se refere ao momento ideal da aplicação de fungicidas. Como é uma doença de ocorrência recente no país, medidas de controle ainda não estão bem definidas.

Nas últimas décadas a aplicação de modelos matemáticos na epidemiologia vem crescendo rapidamente, em destaque a modelagem matemática das doenças de plantas. A utilização de modelos que simulam o crescimento e desenvolvimento de uma cultura e, ao mesmo tempo, contabilizam o impacto das doenças pode ser determinante para o auxílio à tomada de decisões e em alguns casos alterar ou determinar as práticas de controle (PAVAN; FERNANDES, 2009; CONTRERAS-MEDINA et al., 2009; VAN MAANEN; XU, 2003).

Modelos matemáticos epidemiológicos expressam de uma forma simplificada a relação existente entre doença e tempo. Essas expressões facilitam a análise dos dados de progresso da doença, alterações da suscetibilidade do hospedeiro, eficácia das medidas culturais e de controle e também contribui para um melhor entendimento do processo epidêmico (BERGAMIN FILHO, 2011; VAN MAANEN; XU, 2003; CAMPBELL; MADDEN, 1990).

Objetivou-se com este trabalho avaliar o processo epidêmico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar através das curvas de progresso de doença.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em quatro áreas localizadas no estado de São Paulo sendo dois experimentos durante a safra de 2009/2010 no município de Ibaté, um experimento em Jaboticabal na safra 2010/2011 e um experimento em Miguelópolis na safra 2011/2012, sendo as variedades utilizadas nas safras de 2009/2010 e 2011/2012 foi a RB72-454, em terceiro corte, e na safra 2010/2011 a SP 89-1115, em quarto corte, ambas sabidamente suscetíveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.

Nas três safras considerou-se como os tratamentos um produto padrão do grupo químico das estrobilurina + triazois e uma testemunha. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas de quatro linhas de dez metros de comprimento, com espaçamento de 1,5 m entre linhas. Sendo a área útil constituída pelas duas linhas centrais, desprezando-se um metro nas extremidades.

As aplicações do produto padrão foram realizadas com auxílio de um pulverizador costal pressurizado com CO₂, mantendo a pressão constante de 40 lbf/pol², sendo a barra de 1,5 m de largura e 4 bicos espaçados de 0,5 m e o volume de calda de 200 L/ha. O número das aplicações foram as seguintes: três nos experimentos de Miguelópolis e Jaboticabal e quatro nos dois experimentos de Ibaté. Os tratos culturais foram os recomendados para a cultura.

A doença, que ocorreu por infecção natural das plantas pelo fungo, foi avaliada a cada 30 dias em cinco plantas escolhidas aleatoriamente na área útil da parcela, analisando a folha +3 de cada planta com auxílio de uma escala descritiva de notas de Amorim et al. (1987) para ferrugem marrom (*P. melanocephala*) adaptada para a ferrugem alaranjada onde: Nota 1 = Ausência de doença, 2 = 0,5 % de área foliar lesionada, 3 = 0,6 até 1%, 4 = 1,1 até 5%, 5 = 5,1 até 10%, 6 = 10,1 até 25%, 7 = 25,1 até 35%, 8 = 35,1 até 50% e 9 = > 50%

As notas da severidade da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar foram convertidas para porcentagens de área foliar doente pelo ponto médio de cada nota. Com esses dados obtiveram-se as curvas de progresso da doença utilizando o Software Microsoft Excel 2010®, de acordo com as recomendações de Campbell e Madden (1990), ajustando aos modelos matemáticos monomolecular ($x = 1 - (1 - x_0) \exp(-rt)$), logístico ($x = 1 / (1 + ((1/x_0) - 1) \exp(-rt))$) e de Gompertz ($x = \exp(-(\ln(x_0)) \exp(-rt))$), onde o x representa a severidade em proporção, no tempo t , x_0 = nível inicial da doença e r = taxa de incremento da doença para cada modelo, sendo o tempo em dias, após o aparecimento dos primeiros sintomas da ferrugem alaranjada como variável independente e a severidade da doença em proporção como variável dependente.

A escolha do melhor modelo levou em consideração o coeficiente de determinação ajustado (R^{*2}), obtido da regressão linear entre os valores previstos (variável dependente) e observados (variável independente), os valores do desvio padrão do inóculo inicial (x_0) e desvio padrão da taxa de infecção (r^*) e a plotagem do resíduo padrão do x observado menos x previsto transformados em função do tempo (variável independente) conforme as recomendações de (CAMPBELL; MADDEN, 1990; BERGAMIN FILHO, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos coeficientes de determinação ajustado (R^{*2}), desvio padrão do inóculo inicial (x_0) e da taxa de infecção (r^*) estão dispostos na Tabela 1. Com base nos dados de R^{*2} observou-se que o modelo monomolecular foi o que apresentou o maior valor para as testemunhas do município de Ibaté na safra 2009/2010 e o modelo logístico para as testemunhas de Jaboticabal e Miguelópolis nas safras de 2010/2011 e 2011/2012 respectivamente, ajustando-se melhor aos dados.

Porém os valores do desvio padrão do inóculo inicial (x_0), taxa de infecção (r^*) e a plotagem do resíduo padrão confirmaram que o modelo monomolecular foi o que melhor se ajustou aos dados da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar quando comparados aos demais em todas as testemunhas e safras.

Tabela 1. Coeficiente de determinação (R^{*2}), desvio padrão do inóculo inicial (x_0) e da taxa de infecção (r^*) dos modelos Monomolecular, Logístico e de Gompertz dos dados de severidade da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar da testemunha em Ibaté – SP (Safr 2009/2010), Jaboticabal – SP (Safr - 2010/2011) e Miguelópolis – SP (Safr 2011/2012).

Tratamentos	Modelo	R^{*2} (%)	Desvio padrão x_0 (a)	Desvio padrão r (b)
Safr 2009/2010 (Ibaté)				
Testemunha	Logístico	75,03	2,01854	0,02734
	Monomolecular	97,83	0,04389	0,00059
	Gompertz	89,08	0,38326	0,00519
Safr 2009/2010 (Ibaté)				
Testemunha	Logístico	67,83	1,55063	0,02064
	Monomolecular	92,70	0,04330	0,00058
	Gompertz	83,31	0,26929	0,00358
Safr 2010/2011 (Jaboticabal)				
Testemunha	Logístico	99,46	0,43752	0,00770
	Monomolecular	73,02	0,05278	0,00093
	Gompertz	94,52	0,08258	0,00145
Safr 2011/2012 (Miguelópolis)				
Testemunha	Logístico	90,98	0,64756	0,01147
	Monomolecular	84,81	0,08345	0,00148
	Gompertz	88,62	0,19999	0,00354

Na Tabela 2 mostra os valores do coeficiente de determinação ajustado (R^{*2}), desvio padrão do inóculo inicial (x_0) e da taxa de infecção (r^*) dos dados de severidade da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar das áreas tratadas com fungicidas do grupo das estrobilurina + triazol, o modelo de gompertz foi o que apresentou o maior valor e frequência do (R^{*2}), ajustando-se melhor aos dados quando comparado ao monomolecular e logístico, na plotagem das curvas de progresso de doença da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, no entanto, os valores do desvio padrão do inóculo inicial (x_0), taxa de infecção (r^*) e a plotagem do resíduo padrão ajustou-se melhor ao modelo monomolecular.

Tabela 2. Coeficiente de determinação (R^{*2}), desvio padrão do inóculo inicial (x_0) e da taxa de infecção (r^*) dos modelos Monomolecular, Logístico e de Gompertz dos dados de severidade da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar das áreas tratadas com fungicidas do grupo das estrobilurina + triazol em Ibaté – SP (Safr 2009/2010), Jaboticabal – SP (Safr - 2010/2011) e Miguelópolis – SP (Safr 2011/2012).

Tratamentos	Modelo	R^{*2} (%)	Desvio padrão x_0 (a)	Desvio padrão r (b)
Safr 2009/2010 (Ibaté)				
Estrobilurina + triazol	Logístico	91,14	0,27766	0,00376
	Monomolecular	88,64	0,01901	0,00026
	Gompertz	96,32	0,06025	0,00082
Safr 2009/2010 (Ibaté)				
Estrobilurina + triazol	Logístico	90,93	1,10890	0,01476
	Monomolecular	88,71	0,02683	0,00036
	Gompertz	98,21	0,12055	0,00160
Safr 2010/2011 (Jaboticabal)				
Estrobilurina + triazol	Logístico	98,39	0,51735	0,00910
	Monomolecular	86,66	0,00237	0,00004
	Gompertz	99,88	0,04801	0,00084
Safr 2011/2012 (Miguelópolis)				
Estrobilurina + triazol	Logístico	78,13	0,22624	0,00401
	Monomolecular	87,73	0,00227	0,00004
	Gompertz	83,43	0,04784	0,00085

Conforme Campbell e Madden (1990) a escolha do melhor modelo deve levar em consideração vários parâmetros dentre estes o coeficiente de determinação ajustado (R^{*2}), os valores do desvio padrão do inóculo inicial (x_0) e desvio padrão da taxa de infecção (r^*) e o mais importante a plotagem do resíduo padrão do x observado menos x previsto transformados em função do tempo (variável independente) são os procedimentos estatísticos recomendáveis.

De acordo com Bergamin Filho e Amorim, (2002) o modelo monomolecular tem sido recomendado para ajuste de dados de doença com período de incubação variável. Sendo mais indicado para patossistema de doenças monocíclicas (MADDEN; HUCHES; BOSCH, 2007)

Segundo Nesi et al. (2013) o ajuste do modelo monomolecular para severidade de doença policíclica justifica, quando a doença é quantificada no campo, a partir de folhas sadias dentro de uma área com alta incidência da doença.

Vale salientar que é importante selecionar o modelo baseado na biologia do agente patogênico ao invés de simplesmente pela forma da curva. Pois é bastante comum dispor de um conjunto de dados de uma epidemia conhecidamente monocíclica que se ajuste melhor a um modelo policíclico e vice-versa.

O controle da ferrugem alaranjada nas regiões produtoras tem sido realizado basicamente por meio da substituição de variedades suscetíveis e aplicações de fungicidas do grupo da estrobilurina + triazol nas épocas favoráveis a ocorrência da doença.

Conforme Aghajani; Safaie e Alizadeh,(2010) as análises de simulação, usando modelos matemáticos, são fundamentais para dar uma visão mais aprofundada dos mecanismos da epidemia ou das estratégias de controle que poderiam ser adotadas para minimizar o dano de determinadas doenças.

4. CONCLUSÕES

O modelo monomolecular é o que melhor se ajusta aos dados de severidade de ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nas condições climáticas de Ibaté - SP, Jaboticabal - SP e em Miguelópolis - SP.

5. REFERÊNCIAS

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

ARAÚJO, K.L.; GILIO, T.A.S.; SANCHES, P.R.B.; NEUBAUER, R.A.; FAGUNDES, C.; BASSAN, B.E.; RODERO, D.P.; RODERO, D.C.P.; GIGLIOTI, E.A.; CANTERI, M.G. Monitoramento da favorabilidade genotípica para ocorrência da Ferrugem Alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil. In: XLIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36., 2011, Bento Gonçalves. **Resumos ...** Bento Gonçalves: Tropical Plant Pathology, 2011.p. 1091.

AGHAJANI, M.A; SAFAIE, N; ALIZADEH, A. Disease Progress Curves of Sclerotinia Stem Rot of Canola Epidemics in Golestan Province, Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Tehran, v. 12, p. 471- 478, 2010.

BERGAMIN FILHO, A. Curvas de progresso da doença. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia - Princípios e Conceitos**. v.1, 4 ed, São Paulo: Ceres, 2011, cap. 37, p. 658-659.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Doenças com período de incubação variável em função da fenologia do hospedeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 561-565, 2002.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons, New York, 1990.

CDA - COORDENADORIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**, 2010. Informativo técnico. Disponível em: <<http://www.cda.sp.gov.br/arquivos/ferrugem-alaranjada.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2013.

CONTRERAS-MEDINA, L.M.; TORRES-PACHECO, I.; GUEVARA-GONZÁLEZ, R.G.; ROMERO-TRONCOSO, R. J.; TEROL-VILLALOBOS, I. R.; OSORNIO-RIOS, R. A. Mathematical modeling tendencies in plant pathology. **African Journal of Biotechnology**. v. 25, p. 7399 - 7408, 2009.

MADDEN L.V.; HUGHES. G.; BOSH, F.V.D. **The study of plant disease epidemics**. Minnesota, The American Phytopathological Society, 2007, 421p.

NESI, C.N.; KUHN, T.M.A.; ARAUJO, E.S.; MÓGOR, Á.F.; DE MIO, L.L.M. Avaliação de extrato de algas no progresso temporal da mancha de mycosphaerella em cultivares de morangueiro. **Ceres**, Viçosa, v. 60, n.1, p. 38-42, 2013.

PAVAN, W.; FERNANDES, J.M.C. Uso de orientação a objetos no desenvolvimento de modelos de simulação de doenças de plantas genéricos. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 12-27, 2009.

VAN MAANEN, A.; XU, X.M. Modelling plant disease epidemics. **European Journal of Plant Pathology**. Dordrecht, v.109, p.669-682, 2003.

CAPÍTULO 4 - Mapas de zonas de risco de epidemias de ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil

RESUMO - A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar apesar de recente está presente em várias regiões produtoras de cana-de-açúcar do Brasil, o conhecimentos das áreas de risco de ocorrência da doença é de fundamental importância para que se possa realizar um manejo eficiente e adequado da doença, com isso, objetivou-se com este trabalho mapear as áreas de riscos epidemiológicos à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) nas principais regiões produtoras da cultura no Brasil. Utilizou-se para isso dados meteorológicos de estações automáticas, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), nos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011 de cinco estados brasileiros: Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul. Com a equação
$$z = ((0,595719)*(((15,2035))^{(2,28845)})*(((27,5)-x)^{(0,601e-5)}))^{(2,84424)}*(1-(1,03115)*exp(-(0,008219)*y)))$$
 e com os dados meteorológicos foram gerados os índices de favorabilidade ambiental diários para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, para cada município dos referidos estados com o auxílio de uma programação realizada em Visual Basic®. Obtidos os índices de favorabilidade calculou-se a porcentagem de dias favoráveis para a ocorrência da doença. Com esses índices foram gerados os mapas de favorabilidade para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. Pelos resultados observou-se que há favorabilidade ao desenvolvimento da doença em todas as regiões produtoras de cana-de-açúcar analisadas. O mapeamento de zonas de riscos pode ser uma ótima alternativa para auxiliar na tomada de decisão para a escolha de áreas na expansão da cultura, indicar qual a melhor época da aplicação de fungicidas e onde seria necessário utilizar variedades resistentes.

Palavras-Chave: *Puccinia kuehnii*, *Saccharum* spp., Zoneamento agroclimático

1. INTRODUÇÃO

A ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) teve seu primeiro foco no Brasil no ano de 2009 nas proximidades de Araraquara e a partir de então a doença vem se disseminando para as demais regiões produtoras de cana-de-açúcar do país (BARBASSO et al., 2010 ; CRUZ ; MONTEIRO ; BARBOSA, 2012).

Martins (2010), estudando o efeito das temperaturas e dos períodos de molhamento foliar para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar verificou que a maior severidade da doença ocorreu nas temperaturas de 20 e 25°C e nos molhamentos foliares acima de oito horas. Temperaturas abaixo de 20°C e acima de 25°C inibiram o seu desenvolvimento e os sintomas da doença não apareceram.

De acordo com Ghini (2005) as doenças de plantas são influenciadas de ano para ano e de região para região devido principalmente às condições climáticas ocorridas durante o desenvolvimento da cultura. Conforme Landau et al. (2009) o conhecimento e espacialização de fatores que favorecem ou restringem a ocorrência de doenças contribui para a adoção de medidas preventivas para evitar o plantio ou controlar a severidade da doença em locais e épocas propícias à ocorrência de danos na cultura.

Os mapas de zonas de risco podem ser utilizados para análise histórica da ocorrência de epidemias, para análise da possível distribuição geográfica de uma nova doença (CANTERI et al., 2007). Quando acoplados a modelos de simulação, podem ser úteis para indicar áreas geográficas mais propensas e também épocas mais favoráveis à ocorrência de doenças de plantas e desde que utilizados adequadamente, podem servir como suporte para sistemas de alerta fitossanitários.

Com isso, objetivou-se nesse trabalho, mapear as áreas de riscos de epidemias de ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nas principais regiões produtoras do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesse trabalho foram utilizados dados meteorológicos do ano inteiro de estações automáticas de cinco estados brasileiros sendo estes Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul constando dos seguintes números de estações 37, 27, 20, 18 e 17 respectivamente, referentes aos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011 obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para o estado do Mato Grosso do Sul não foram utilizados os dados climáticos de 2008 devido à impossibilidade de correção das falhas dos mesmos. A localização de cada estação pode ser observada nos Apêndices 1A, 1B, 1C, 1D e 1E.

A frequência dos dados de cada estação meteorológica foi horária e quando apresentaram alguma falha na série dos dados, os mesmos foram extrapolados, utilizando o método empírico, da distância Euclidiana substituindo-os pelos dados da estação mais próxima. Os dados cartográficos para a geração dos mapas foram obtidos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). As malhas utilizadas para a geração dos mapas foram as dos municípios de cada estado em estudo.

Com a equação $z = ((0,595719)*((x-(15,2035))^{(2,28845)})*(((27,5)-x)^{(0,601e-5)}))^{((2,84424)*(1-(1,03115)*\exp(-(0,008219)*y)))}$ em que x corresponde a temperatura e y ao período de molhamento foliar; e os dados meteorológicos (temperatura do ar e umidade relativa do ar) foram gerados os índices de favorabilidade ambiental diários para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, em cada município dos cinco estados com o auxílio de uma programação realizada em linguagem Visual Basic ®. A umidade relativa foi utilizada no cálculo do molhamento foliar, considerou que ocorreu molhamento foliar quando a umidade relativa do ar foi $\geq 90\%$.

Obtidos os índices de favorabilidade calculou-se a porcentagem de dias favoráveis para a ocorrência da doença para os estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul, nos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011. Foi considerado favorável o dia em que o índice calculado foi maior que 0.

Com a porcentagem de dias favoráveis para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nos municípios estudados foi possível gerar os mapas de

favorabilidade para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar com auxílio do programa MapInfo Professional 11.5, o mapa que se adequou melhor aos dados foi o de gradiente e o interpolador utilizado foi o IDW (Inverse Distance Weighted).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Algumas falhas foram observadas na série dos dados climáticos, problemas semelhantes também foram relatados por Zoldan, (2008). Embora as falhas tenham sido corrigidas para uma maior precisão o ideal seria utilizar um banco de dados maior, de preferencia com 30 anos conforme as recomendações de (PRADO, 2006). O zoneamento agroclimático para a ferrugem alaranjada no estado de São Paulo encontra-se nas Figuras 1 e 2.

Quando se avalia os mapas do estado de São Paulo nos anos 2008, 2009, 2010 e 2011 (Figura 1) e do período de quatro anos (Figura 2), verifica-se que os municípios de Ribeirão Preto, Itapetininga e Tupã tiveram as maiores porcentagens de dias favoráveis para o desenvolvimento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, esse resultado corrobora com Martins (2010) no qual relata as zonas de maior favorabilidade no estado de São Paulo para ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, e que são cultivadas com cana-de-açúcar, o Centro Norte e o Centro Sul do estado.

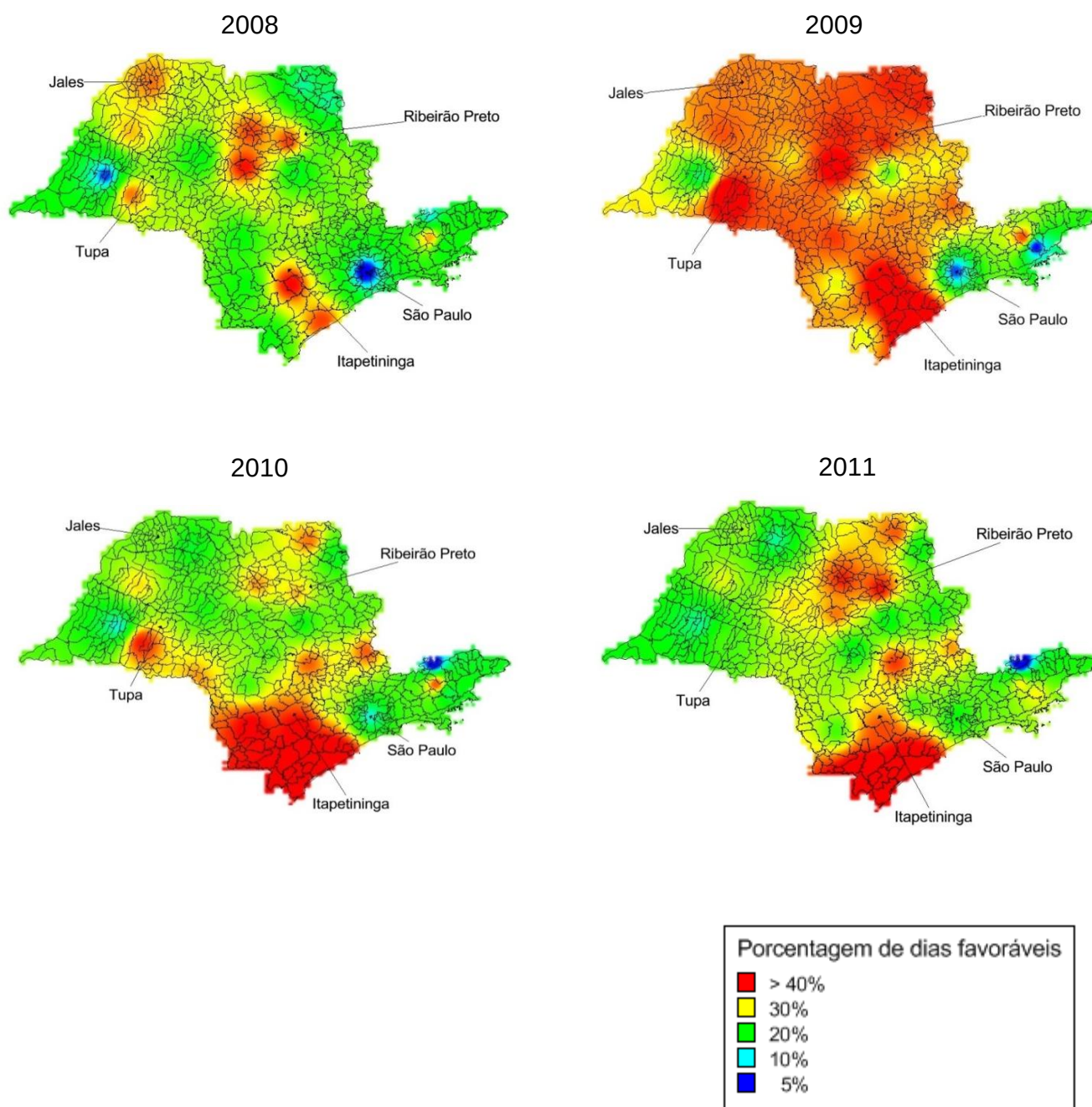


Figura 1. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado de São Paulo durante os anos de 2008, 2009, 2010 e 2011.

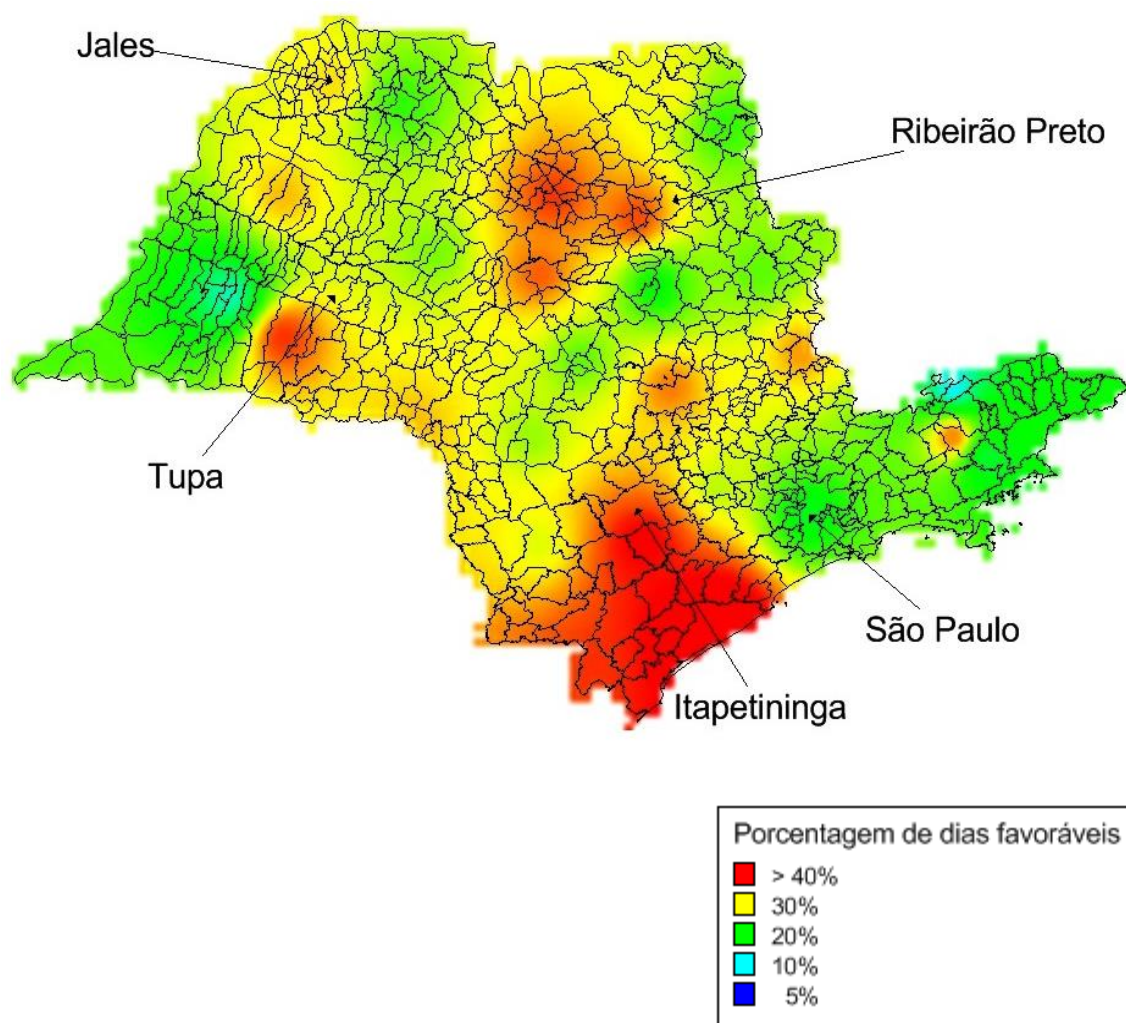


Figura 2. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de quatro anos de 2008 a 2011.

Os mapas do estado de Goiás estão apresentados nas Figuras 3 e 4. O zoneamento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado mostra que a região de Mineiros, Rio Verde, Itumbiara e Morrinhos são altamente favoráveis a ocorrência da doença e coincidentemente, essas regiões são as que apresentam as maiores áreas cultivadas com cana-de-açúcar no estado de Goiás (CANASAT, 2013).

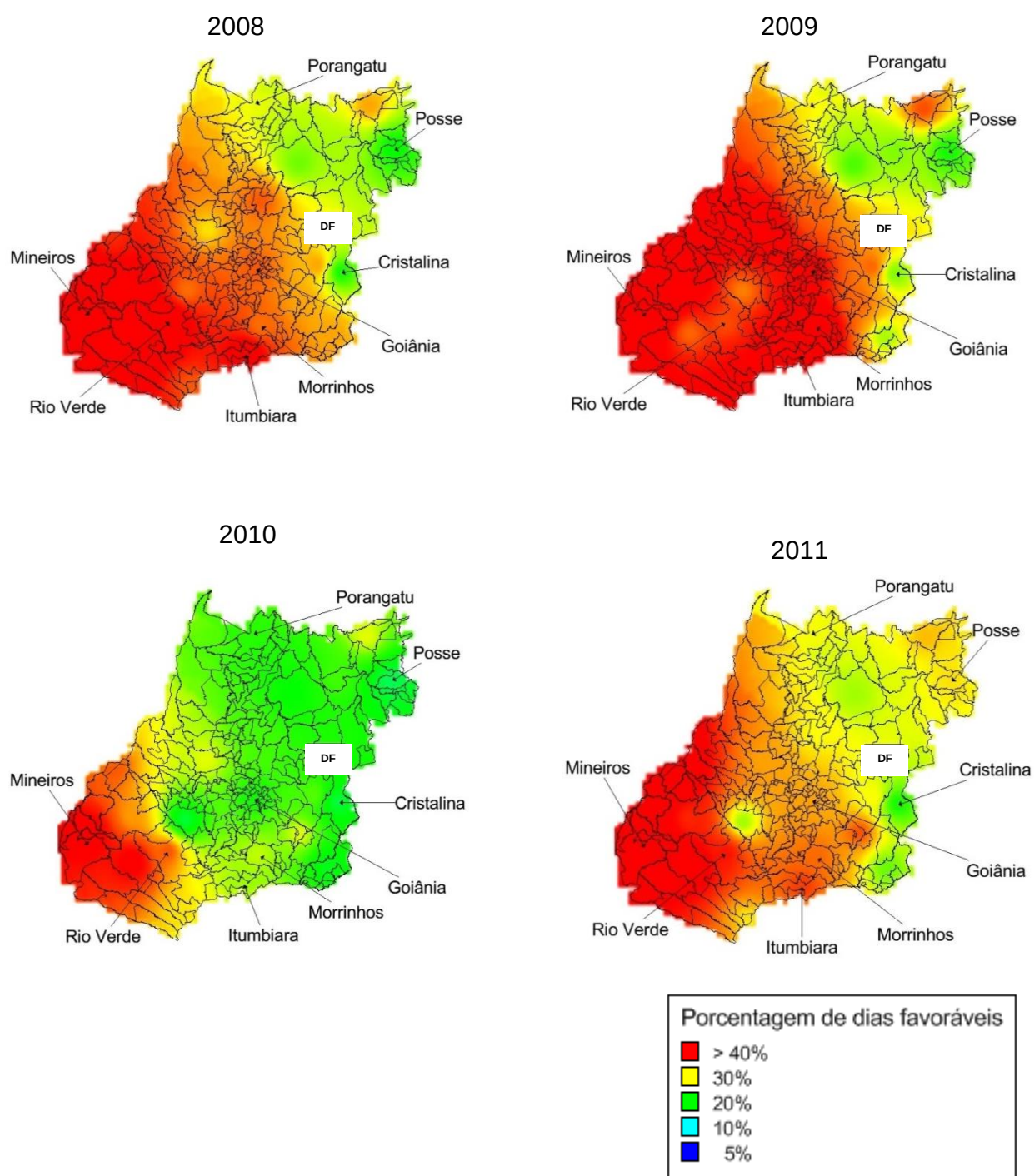


Figura 3. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado de Goiás durante os anos de 2008, 2009, 2010 e 2011.

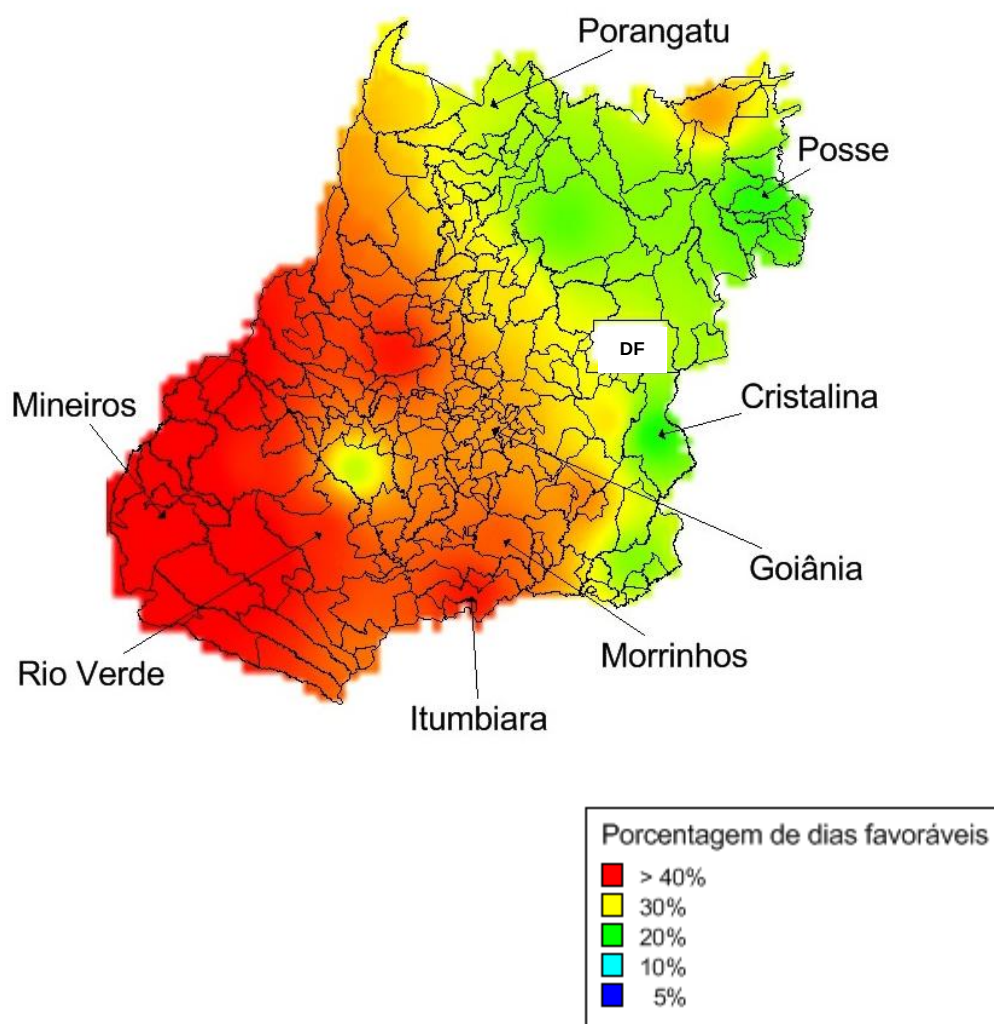


Figura 4. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado de Goiás no período de quatro anos de 2008 a 2011.

No estado de Minas Gerais (Figuras 5 e 6) a região do triângulo mineiro onde estão localizados os municípios com as maiores áreas cultivadas com cana-de-açúcar também se mostram bastante favoráveis à ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.

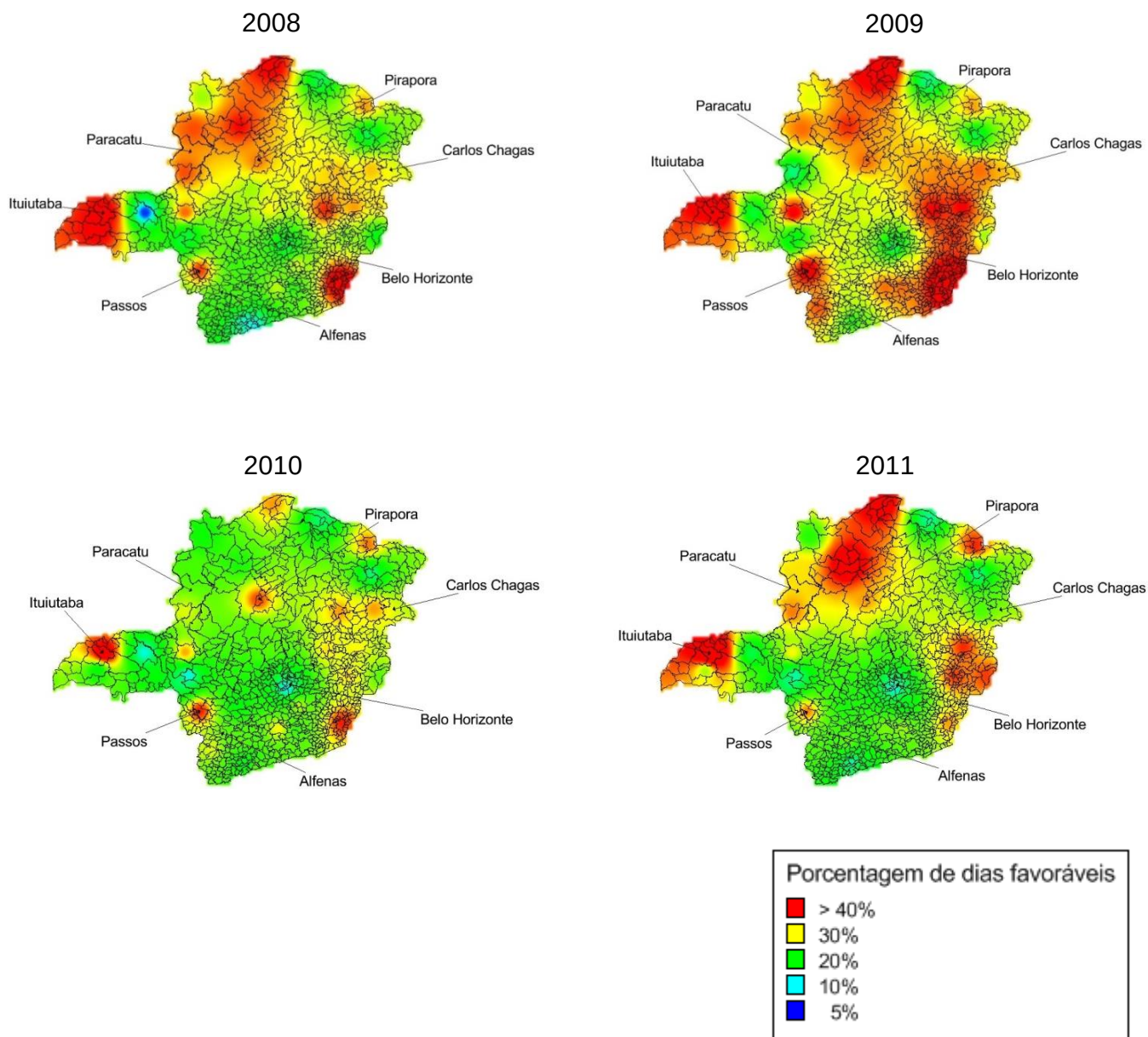


Figura 5. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais durante os anos de 2008, 2009, 2010 e 2011.

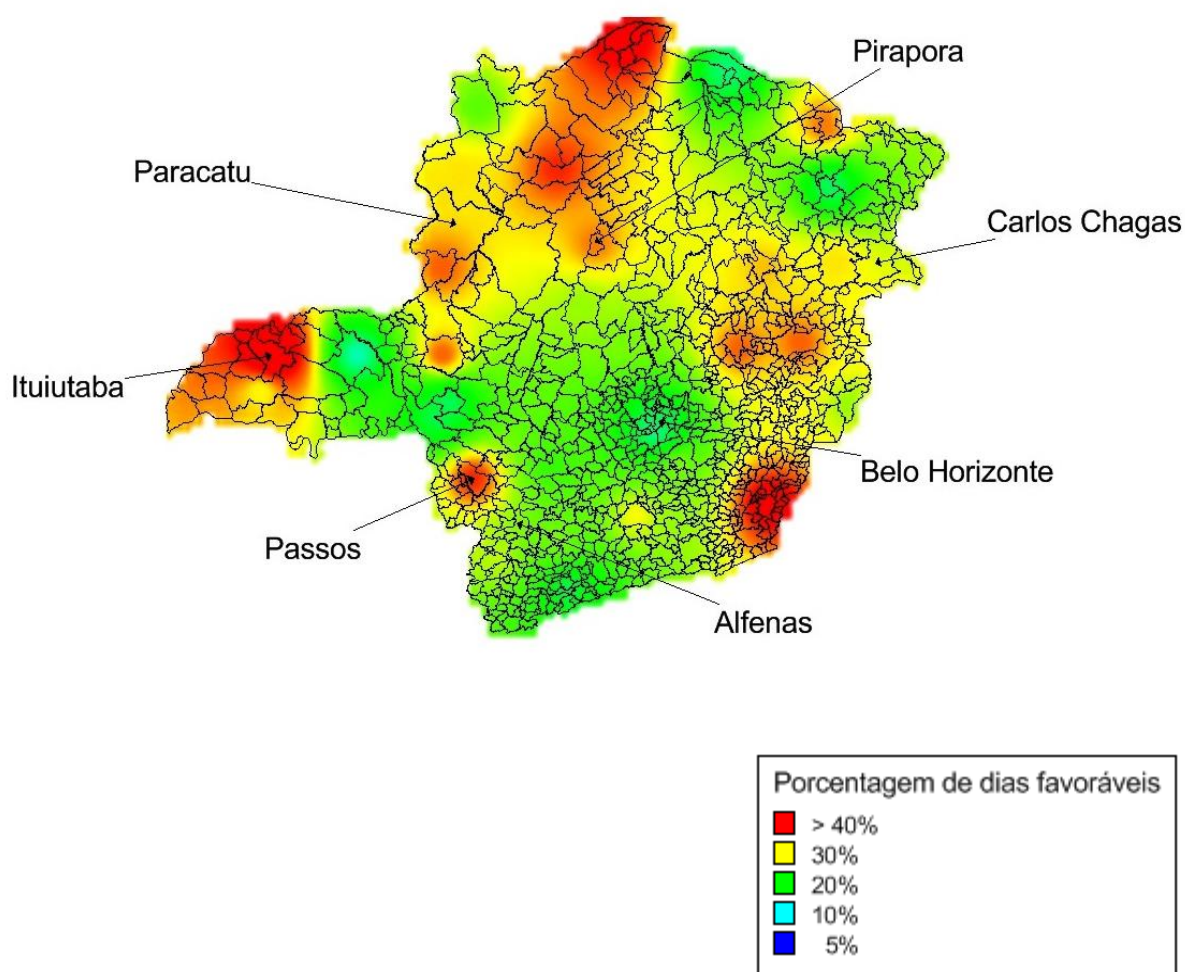


Figura 6. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais no período de quatro anos de 2008 a 2011.

O zoneamento agroclimático para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado do Paraná encontra-se nas Figuras 7 e 8, sendo que neste todos os anos se mostraram favoráveis a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar com exceção do ano de 2008. Quando comparado com os demais estados o Paraná foi o que apresentou os menores índices de favorabilidade a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, isso deve-se provavelmente as temperaturas mais amenas da região.

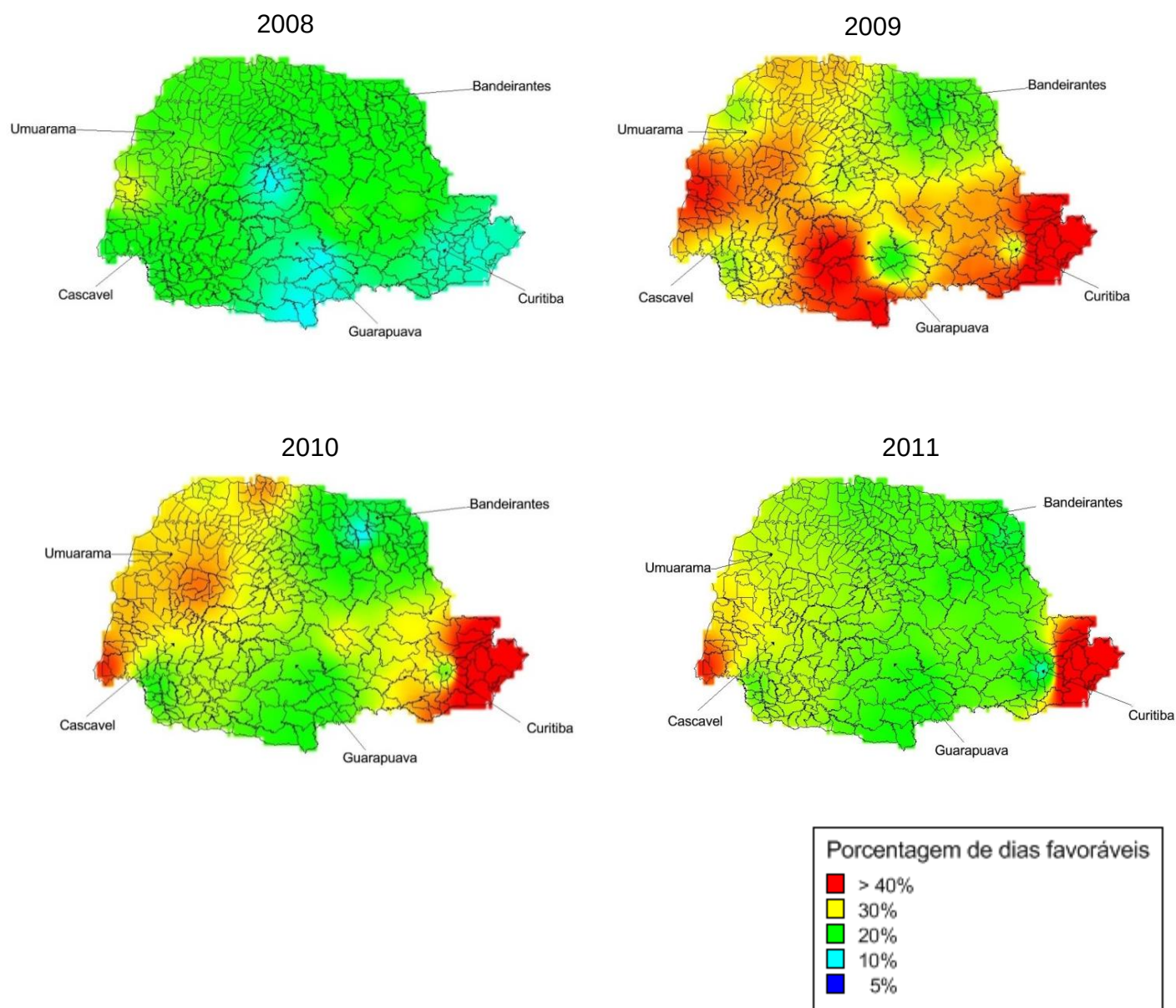


Figura 7. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado do Paraná durante os anos de 2008, 2009, 2010 e 2011.

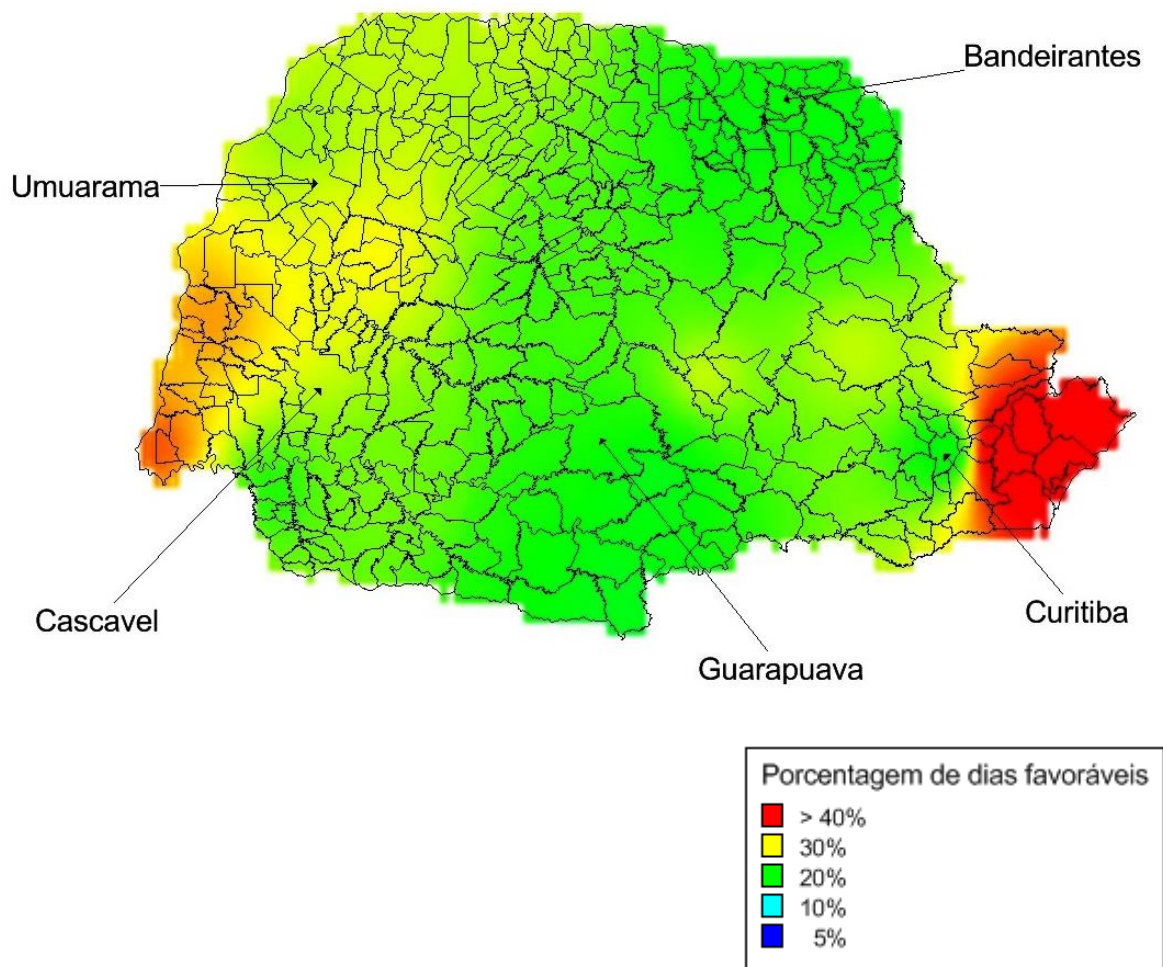


Figura 8. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado do Paraná no período de quatro anos de 2008 a 2011.

No geral o estado do Mato Grosso do Sul apresentou várias áreas favoráveis ao desenvolvimento da doença (Figura 9 e 10), a mesorregião do sudoeste do Mato Grosso do Sul onde estão localizadas as maiores áreas cultivadas com cana-de-açúcar no estado, mostraram-se altamente favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.

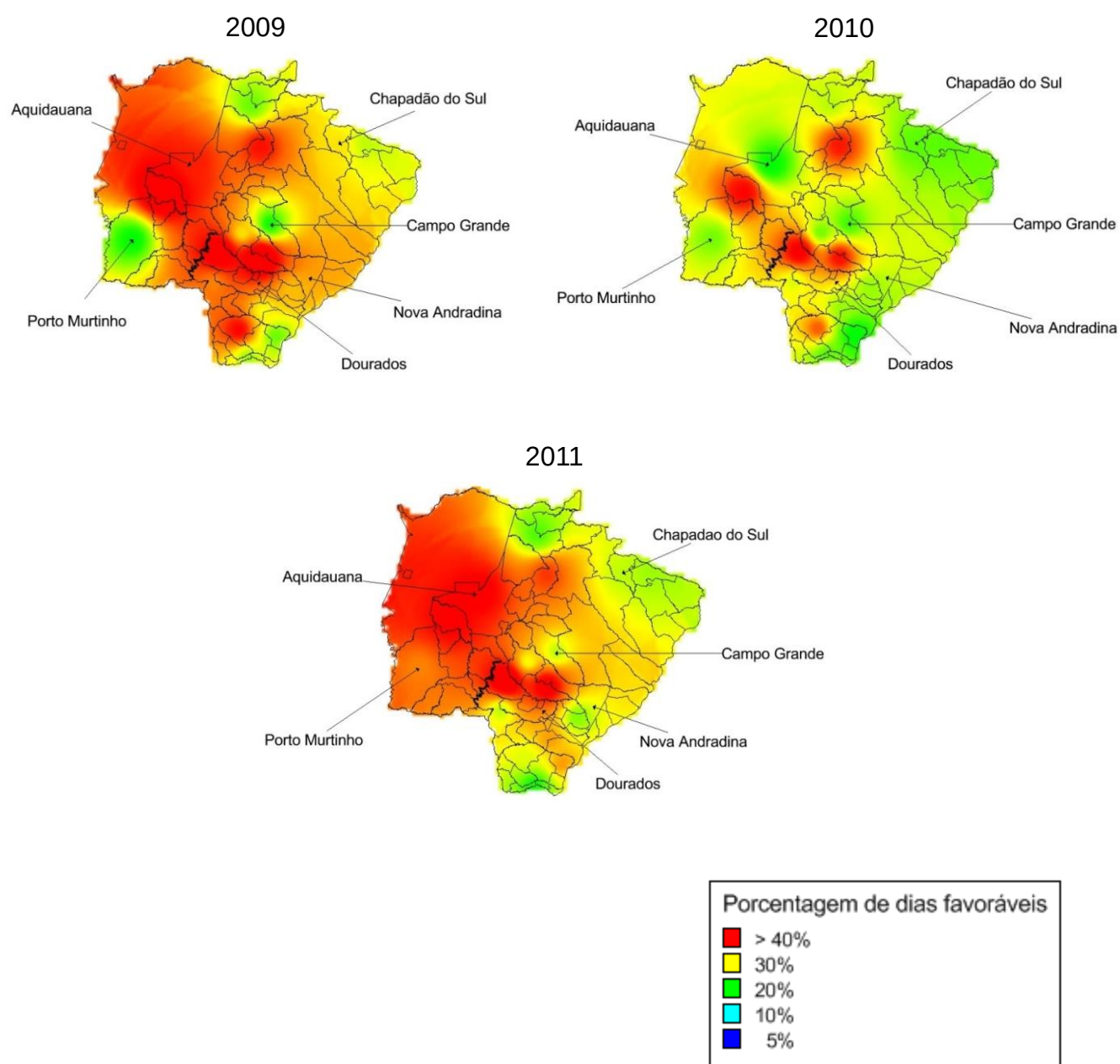


Figura 9. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso do Sul durante os anos de 2009, 2010 e 2011.

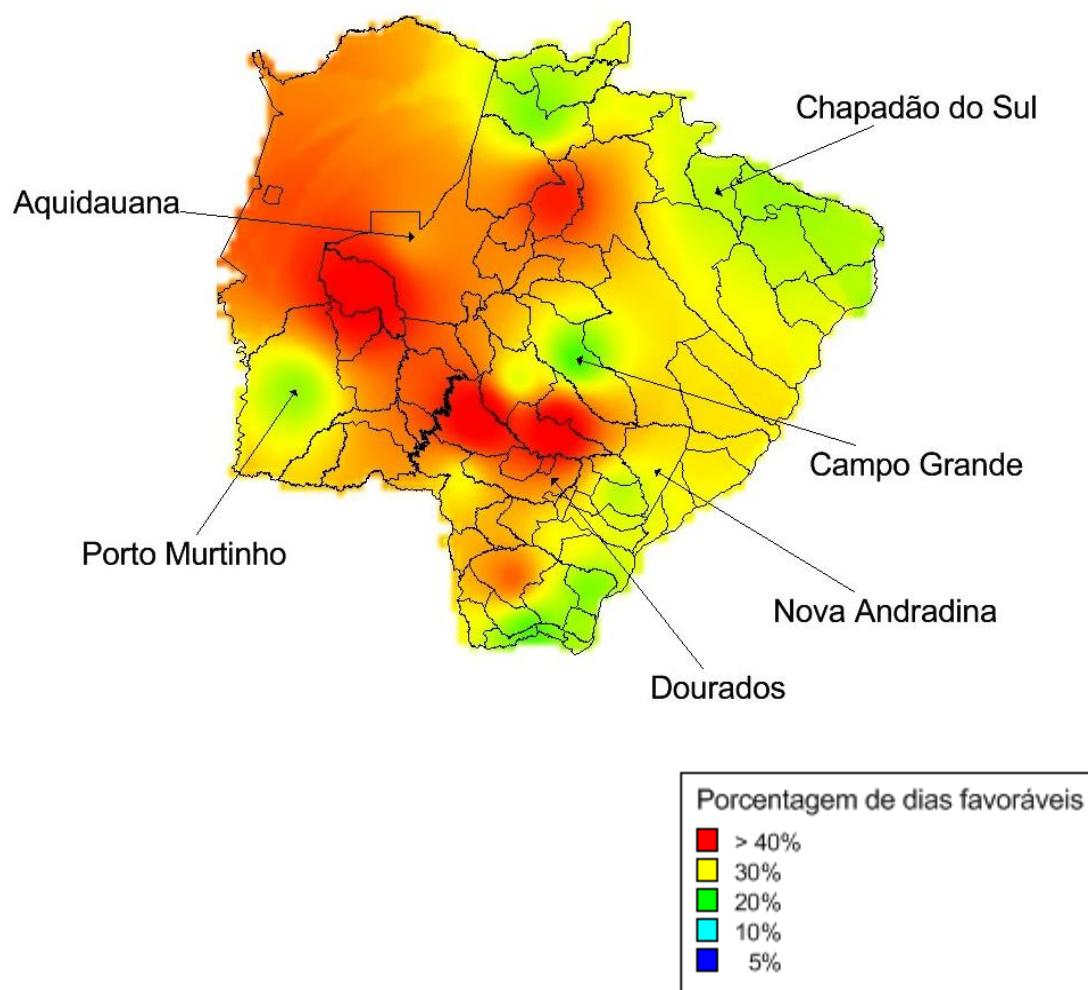


Figura 10. Porcentagem de dias favoráveis à ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no estado do Mato Grosso do Sul no período de três anos de 2009 a 2011.

Pode-se observar nas Figuras 1, 3, 5, 7 e 9 que o ano de 2009 foi mais favorável a ferrugem alaranjada em São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Paraná e Mato Grosso do Sul, coincidindo com os primeiros relatos oficiais da doença no país que foi em Dezembro de 2009 no estado São Paulo e posteriormente constatada nos estados do Paraná, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo (BARBASSO et al., 2010 ; CRUZ ; MONTEIRO ; BARBOSA, 2012).

Segundo avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar realizado pela CONAB (2009), o ano de 2009 também aponta precipitação acima da média nos meses de setembro, outubro e principalmente novembro, nas principais regiões

produtoras do Centro-Sul, o que pode ter favorecido o aumento da umidade relativa e o desenvolvimento da doença que é favorecida por alta umidade relativa.

Martins (2010) cita outro evento importante para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, durante a estação de verão nos países em que a doença foi relatada, seria a alta pluviosidade que pode auxiliar o seu desenvolvimento, já que as bainhas da cana-de-açúcar acumulam água e podem manter a umidade por muitas horas.

Conforme Neubauer et al. (2011), em estudos de mapeamento espaço-temporal de zonas de risco para ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar no Brasil, constataram que a doença está presente nas principais regiões produtoras e que essas regiões apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento da doença.

Quando observa-se o ano de 2010, verifica-se que este apresentou-se menos favorável à ferrugem alaranjada quando comparado a 2009 principalmente nos estados de Goiás e Minas Gerais (Figura 3 e 5). No entanto não significa que não tenha ocorrido a doença, apenas que não apresentaram índices tão elevados como no ano de 2009. Isso se deve provavelmente ao clima mais seco no Centro-Sul nesse período. Houve estiagens de abril até final de agosto atingindo praticamente todo o estado de São Paulo, além do norte do Paraná, triângulo mineiro e partes do sul de Minas Gerais e do Centro-sul de Goiás (CONAB, 2010).

Nos estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso Sul no ano de 2011 houve altas porcentagens de dias favoráveis (Figura 1, 3 e 9) principalmente Goiás e Mato Grosso do Sul, apesar da seca no segundo semestre de 2010 que atingiu Centro-sul.

Deve-se salientar que é necessário ter bastante cautela na avaliação dos mapas de zonas de risco. Segundo Zoldan, (2008) não é apenas o clima que controla a ocorrência da doença, e sim o conjunto: clima - planta em estágio suscetível e presença de inóculo do patógeno na região. Mapas de zonas de risco são ferramentas adicionais para a avaliação de condições climáticas favoráveis à ocorrência de epidemias.

Todas as regiões estudadas nesse trabalho apresentaram condições climáticas favoráveis para causar epidemias de ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar. O manejo da doença nessas regiões tem sido realizado basicamente com a utilização de variedades resistentes e aplicação de fungicidas no período mais favorável ao desenvolvimento da doença e no início do ciclo das infecções. Devido à ocorrência recente da doença alguns fatores importantes como condições climáticas, épocas e locais mais favoráveis para o desenvolvimento da doença precisam ser conhecidos para que se possa realizar o manejo adequado e racional.

O mapeamento de zonas de riscos de epidemias de cana-de-açúcar pode ser uma ótima alternativa no auxílio da tomada de decisão, de escolha de áreas para expansão da cultura, indicação de qual a melhor época da aplicação de fungicidas e onde seria necessário utilizar variedades resistentes. Conforme Bardin et al. (2010) a geração de mapas facilita a visualização da distribuição das áreas de risco ou de escape à ocorrência de doenças, as quais poderão contribuir no planejamento do sistema produtivo ou na expansão das áreas produtoras.

Um fator importante que não se deve deixar de lado quando se optar pela utilização do mapeamento de zonas de riscos seria a utilização de dados climáticos que apresentem poucas falhas e um número de estações que represente bem a região em estudo.

4. CONCLUSÕES

Com os resultados desse trabalho pode-se concluir que:

Todas as regiões canavieiras da região centro-sul apresentam condições favoráveis à ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar.

5. REFERÊNCIAS

BARBASSO, D.; JORDÃO, H.; MACCHERONI, W.; BOLDINI, J.; SANGUINO, A. First report of *Puccinia kuehnii*, causal agent of orange rust of sugarcane, in Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, p.1170, 2010.

BARDIN, L.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; MORAES, J.F.L. Risco climático de ocorrência de doenças fúngicas na videira 'Niagara Rosada' na região do Polo Turístico do Circuito das Frutas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 1019-1026, 2010.

CANASAT – Monitoramento da cana-de-açúcar (Via imagens de satélite). Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/tabelas.html>. Acesso em 8 jun.2013.

CANTERI, M.G.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; TSUKAHARA, R.Y. Emprego da tecnologia da informação para simulação de epidemias e zoneamento agroclimático aplicáveis no controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.33, p.104-160, 2007.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Cana-de-açúcar: safra 2009, (primeiro levantamento). São Paulo, Abril 2009. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1cana_de_acucar. Acesso em: 10 Jun.2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Cana-de-açúcar: safra 2010-2011 (terceiro levantamento). São Paulo, Janeiro 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011..pdf. Acesso em: 10 Jun.2013.

CRUZ, M.M.; MONTEIRO, J.H.A.; BARBOSA, G.V.S. Primeiro relato da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) no nordeste do Brasil. In: XLV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, v.37., 2012, Manaus. **Resumos ...** Manaus: Tropical Plant Pathology, 2012. p. 169.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. cap.3, p. 33.

LANDAU, E.C.; TAVARES, R.B.; OLIVEIRA, E.; FERNANDES, F.T. Geoespacialização do risco fitossanitário de severidade de doença foliar em milho (*Zea mays* L.) no Brasil. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte. **Anais eletrônico...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2009. Disponível em: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/scaf/publicacoes/PC2-Tendencias%20-%20CBAgro1.PDF/view>. Acesso em: 12 jan. 2013.

MARTINS, T.D. **Aspecto epidemiológico da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. 2010. 65 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

NEUBAUER, R.A.; SANCHES, P.R.B.; GILIO, T.A.S.; FAGUNDES, C.; BASSAN, B.E.; RODERO, D.P.; RODERO, D.C.P.; ARAÚJO, K.I.; GIGLIOTI, E.A.; CANTERI, M.G. Mapeamento espaço-temporal de zonas de risco para ocorrência da Ferrugem Alaranjada da Cana-de-açúcar (*Puccinia kuehnii*) no Brasil. In XLIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36., 2011, Bento Gonçalves. **Resumos ...** Bento Gonçalves: Tropical Plant Pathology, 2011.p. 1079.

PRADO, T.A. **Metodologia para o zoneamento de risco climático de ocorrência de requeima do tomateiro**. 2006. 53 f. Monografia (Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2006.

ZOLDAN, S.M. **Região de risco, caracterização da antese em cereais de inverno e sistema de alerta para a giberela, em trigo**. 2008. 152 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Fitopatologia). Universidade Passo Fundo, Passo Fundo, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE 1A. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas do estado de São Paulo.

Municípios	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Ariranha	-21,1328°	-48,8403°	525,00
Avaré	-23,0997°	-48,9455°	725,00
Barra Bonita	-22,4711°	-48,5575°	543,00
Barra do Turvo	-24,9631°	-48,4164°	667,00
Campos do Jordão	-22,7500°	-45,6039°	999,99
Casa Branca	-21,7797°	-47,0750°	730,00
Franca	-20,5844°	-47,3825°	999,99
Ibitinga	-21,8556°	-48,8000°	492,00
Iguape	-24,6717°	-47,5461°	3,00
Itapeva	-23,9814°	-48,8853°	707,00
Itapira	-22,4150°	-46,8053°	633,00
Ituverava	-20,3594°	-47,7750°	600,00
Jales	-20,0954°	-50,3542°	457,00
Lins	-21,6655°	-49,7344°	459,00
Ourinhos	-22,9486°	-49,8942°	448,00
Piracicaba	-22,7026°	-47,6230°	571,00
Pradópolis	-21,3383°	-48,1139°	544,00
Presidente Prudente	-22,1166°	-51,4000°	435,55
Rancharia	-22,3725°	-50,9742°	350,00
São Carlos	-21,9800°	-47,8836°	863,00
São Luís do Paraitinga	-23,2283°	-45,4172°	874,00
São Miguel Arcanjo	-23,8516°	-48,1645°	644,00
São Paulo	-23,4964°	-46,6200°	792,06
Sorocaba	-23,4256°	-47,5852°	609,00
Taubaté	-23,0419°	-45,5302°	571,00
Valparaíso	-21,3192°	-50,9303°	374,00
Votuporanga	-20,4200°	-49,9800°	502,50

APÊNDICE 2A. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas do estado do Paraná.

Municípios	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Castro	-24,7894°	-49,9997°	1.008,00
Curitiba	-25,4486°	-49,2300°	924,00
Diamante do Norte	-22,6394°	-52,8901°	362,00
Dois Vizinhos	-25,6948°	-53,0946°	520,00
Foz do Iguaçu	-25,6017°	-54,4842°	231,00
General Carneiro	-26,3986°	-51,3544°	1.018,00
Goioerê	-24,1850°	-53,0286°	468,00
Ibaiti	-23,7731°	-50,1806°	930,00
Icaraíma	-23,2325°	-53,3895°	385,00
Inácio Martins	-25,5658°	-51,0894°	1.260,00
Ivaí	-25,0133°	-50,8544°	808,00
Joaquim Távora	-23,5053°	-49,9464°	522,00
Marechal Candido Rondon	-24,3209°	-54,0111°	392,00
Morretes	-25,5090°	-48,8087°	59,00
Nova Fátima	-23,4152°	-50,5778°	668,00
Nova Tebas	-24,4373°	-51,9631°	654,00
Paranapoema	-22,6581°	-52,1344°	311,00
Planalto	-25,7217°	-53,7481°	346,00

APÊNDICE 3A. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas do estado do Mato Grosso do Sul.

Municípios	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Amambai	-23,0025°	-55,3294°	431,00
Aquidauana	-20,4756°	-55,7839°	155,00
Campo Grande	-20,4500°	-54,6166°	530,00
Cassilândia	-19,1225°	-51,7208°	516,00
Chapadão do Sul	-18,8022°	-52,6028°	818,00
Coxim	-18,3044°	-54,4409°	252,00
Itaquirai	-23,4494°	-54,1817°	336,00
Ivinhema	-22,3000°	-53,8166°	373,29
Juti	-22,8572°	-54,6056°	379,00
Maracaju	-21,6092°	-55,1778°	401,00
Miranda	-20,3956°	-56,4317°	140,00
Ponta Porã	-22,5333°	-55,5333°	650,00
Porto Murtinho	-21,7058°	-57,5533°	85,00
Rio Brilhante	-21,7750°	-54,5281°	329,00
São Gabriel do Oeste	-19,4201°	-54,5531°	647,00
Sete Quedas	-23,9669°	-55,0242°	402,00
Sidrolândia	-20,9817°	-54,9719°	464,00

APÊNDICE 4A. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas do estado de Goiás.

Municípios	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Alto Paraíso de Goiás	-14,1331°	-47,5231°	999,99
Aragarças	-15,9058°	-52,2439°	347,00
Caiapônia	-16,9667°	-51,8175°	737,00
Catalão	-18,1578°	-47,9264°	890,00
Cristalina	-16,7881°	-47,6117°	999,99
Goianésia	-15,2203°	-48,9903°	667,00
Goiânia	-16,6428°	-49,2200°	770,00
Goiás	-15,9392°	-50,1414°	347,00
Itumbiara	-18,4097°	-49,1919°	488,00
Jataí	-17,9239°	-51,7178°	582,00
Luziânia	-16,2634°	-47,9665°	958,00
Mineiros	-17,5725°	-52,5953°	706,00
Monte Alegre de Goiás	-13,2481°	-46,8897°	999,99
Morrinhos	-17,7166°	-49,1000°	771,42
Niquelândia	-14,4666°	-48,4500°	583,00
Paraúna	-16,9625°	-50,4253°	678,00
Pires do Rio	-17,3075°	-48,2831°	752,00
Posse	-14,0892°	-46,3664°	834,00
Rio Verde	-17,7856°	-50,9647°	782,00
São Simão	-18,9697°	-50,6289°	488,51

APÊNDICE 5A. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas do estado de Minas Gerais

Municípios	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Águas Vermelhas	-15,7544°	-41,4578°	750,00
Aimorés	-19,5033°	-41,0647°	193,00
Araxá	-19,6000°	-46,9333°	999,99
Barbacena	-21,2166°	-43,7667°	999,99
Belo Horizonte	-19,8839°	-43,9694°	869,00
Buritís	-15,5242°	-46,4356°	894,00
Caldas	-21,9178°	-46,3828°	999,99
Campina Verde	-19,5347°	-49,5286°	547,00
Capelinha	-17,7053°	-42,3892°	932,00
Caratinga	-19,7358°	-42,1372°	615,00
Curvelo	-18,7478°	-44,4536°	670,00
Espinosa	-14,9167°	-42,8000°	570,00
Formiga	-20,4550°	-45,4539°	878,00
Guanhães	-18,7867°	-42,9431°	860,00
Governador Valadares	-18,7906°	-41,9864°	263,00
Guarda Mor	-17,5614°	-47,1992°	999,99
Ibirité	-20,0314°	-44,0111°	999,99
Itaobim	-16,3432°	-41,2909°	266,00
Ituiutaba	-18,9528°	-49,5253°	560,00
Mantena	-18,7808°	-40,9864°	270,00
Maria da Fé	-22,3142°	-45,3731°	999,99
Montalvânia	-14,4081°	-44,4042°	512,00
Monte Verde	-22,8500°	-46,0500°	999,99
Muriaé	-21,1050°	-42,3758°	270,00
Ouro Branco	-20,5567°	-43,7561°	999,99
Passa Quatro	-22,3961°	-44,9617°	999,99
Passos	-20,7453°	-46,6339°	875,16
Patrocínio	-18,9967°	-46,9856°	963,00
Pirapora	-17,2581°	-44,8356°	503,00
Sacramento	-19,8753°	-47,4342°	912,00
São João Del Rei	-21,1061°	-44,2506°	991,00
São Romão	-16,3622°	-45,1236°	460,00
Teófilo Otoni	-17,8928°	-41,5153°	475,00
Três Marias	-18,2001°	-45,4600°	921,00
Uberlândia	-18,9166°	-48,2500°	869,00
Unaí	-16,5539°	-46,8819°	631,00
Varginha	-21,5667°	-45,4044°	925,00