

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

CARLOS WENDELL SOARES DIAS

**EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS DE ARROZ INFECTADAS
POR *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn Meyerno.**

São Luís

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA

EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS DE ARROZ INFECTADAS
POR *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn Meyerno.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis

São Luís

2018

Dias, Carlos Wendell Soares.
Eficiência fotossintética de plantas de arroz infectadas por *Curvularia lunata*
(Wakker) Boedijn Meyerno / Carlos Wendell Soares Dias. – São Luís, 2019.

75 f.

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual
do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis

1. *Oryza sativa* L. 2. Fisiologia vegetal. 3. Doenças de plantas. I. Título

CDU: 633.18-24

CARLOS WENDELL SOARES DIAS
Engenheiro Agrônomo

EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS DE ARROZ INFECTADAS
POR *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn Meyerno.

Aprovado em: 28/09/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis (Orientador)
Doutor em Produção Vegetal
Universidade Estadual do Maranhão

Prof^ª Dr^a Antônia Alice Costa Rodrigues (1º Examinadora)
Doutora em Fitopatologia
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dra. Erlen Keila Candido e Silva (2º Examinadora)
Doutora em Fitopatologia
Universidade Estadual do Maranhão

São Luís
2018

DEDICO

Àqueles que com tanto esforço forjaram a pessoa que sou hoje, meus pais e irmãos de quem sempre tive apoio e amor incondicional.

OFEREÇO

Ao ser maior que rege essa grande orquestra chamada vida.

AGRADEÇO

Aos verdadeiros amigos que mantêm a coragem de ficar junto a mim, apesar de mim...

AGRADECIMENTOS

Agradeço infinitamente aos meus pais, Rosanira Soares Dias e Antônio Carlos Dias, que sempre fizeram o possível e o impossível para me proporcionar condições de seguir nessa difícil jornada, me mantendo no caminho da humildade e honestidade.

Agradeço a minha avó Maria Botão (*in memoriam*) e meus irmãos, Paula, Fernanda, Vanessa, Sansão e Neto, que sempre me apoiaram e me deram forças nos momentos de dificuldade.

Ao meu orientador, Prof. Fabrício Reis, que me veio como um paraquedas no meio de uma descida vertiginosa. Pela orientação que tornou possível a elaboração deste trabalho e pela confiança depositada, meu muito obrigado.

A Prof.^a Alice Rodrigues, que “topou” o desafio e que contribuiu de maneira imensurável para a conclusão dessa etapa, além de me ensinar a importância de sempre se ter um “plano B”.

Agradeço aos colegas do laboratório de Fitopatologia, em especial Leonardo, Francisco, Daniele, Erlen, Elizabeth, Marlisson e Mônica Shirley, com quem muito aprendi e que dia a dia contribuíram para a realização deste trabalho. Ainda, agradeço aos colegas da fisiologia vegetal, Letícia, Ayla, Rawlisson, pelas manhãs de muita “disposição” para conduzir os experimentos, sem vocês seria impossível.

Aos amigos do curso da agroecologia/agronomia, Luís, Danilo, Zélia, Lisandra, Raysa, Francisneide, Assystone, Rayane, Danúbia, Nathália, Julio César, Watsom, Antonio Marcos, Rozalino, Áthyla (*in memoriam*), Elys, Marianna, por todas as histórias cômicas e trágicas vividas, que guardarei para sempre em minha mente e em meu coração, pelas conversas de corredor, e por tornar a vida acadêmica muito mais agradável, meu muito obrigado.

Aos meus amigos Welisom, Willyam, Vilson, Wilderson, Rafael, Dionísio, Sr. Carlos, Luciano e Pedro pelos anos de dedicação a essa sólida amizade, pelos conselhos valorosos e por compreenderem minha ausência durante muitos momentos da vida acadêmica, meu muito obrigado.

A todos os professores e servidores da UEMA, que de alguma forma contribuíram para a finalização desta fase da minha vida, meus agradecimentos.

*“(...) Tantas vezes me afastaram
Tantas reapareci
Ao meu próprio enterro fui só e chorando
Mas depois de tanto pranto
Eu aos poucos percebi
Que o meu sonho não tem dono
E segui cantando
Cantando ao sol
Como as cigarras
Depois de um ano embaixo da terra
Igual a um sobrevivente
Regressando da guerra (...)”*

Mercedes Sosa/Renato Teixeira

*“O choro pode durar uma noite, mas a alegria
vem pela manhã”.*

Salmos 30:5.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	i
LISTA DE TABELAS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1: CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. Origem e distribuição do Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	13
2.1.1 Cultivar BRS Primavera	16
2.1.2 Cultivar IRGA 424.....	16
2.2 <i>Curvularia lunata</i>	17
2.3 Fisiopatologia Vegetal	19
2.3.1 Efeito na eficiência fotoquímica	21
2.3.2 Efeito no teor de clorofila	22
2.3.3 Efeito de doença de plantas na Assimilação fotossintética de CO ₂	24
2.3.4 Efeito de doença de plantas na condutância estomática	25
2.3.5 Índice de Ball-Berry.....	27
REFERÊNCIAS	29
CAPÍTULO 2: EFEITO DA MANCHA FOLIAR NA FISIOLOGIA DE VARIEDADES DE ARROZ.....	41
RESUMO	42
ABSTRACT	43
INTRODUÇÃO.....	43
MATERIAL E MÉTODOS.....	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	58
NORMAS DA REVISTA	67

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Plantio de arroz cultivar BRS Primavera. 16
- Figura 2.** Plantio de arroz Variedade IRGA 424.. 17
- Figura 3.** Mancha causada por *C. lunata* e estrutura dos conídios em arroz. 19

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Relação entre a severidade da mancha foliar e de mancha de grãos em duas variedades de arroz inoculadas com *C. lunata*. 65
- Figura 1.** Análise de regressão entre o Índice de Ball-Berry e Condutância Estomática em duas variedades de arroz sob diferentes números de inoculações de *C. lunata*. 66

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Análise de variância de parâmetros fitopatológicos em plantas de arroz com diferentes números de inoculações de *C. lunata* 63

Tabela 2. Análise de variância para as variáveis assimilação fotossintética de carbono, condutância estomática, razão entre a concentração interna e externa de CO₂, estimativa do teor de clorofila (SPAD), rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v /F_m), rendimento quântico máximo efetivo (F_v/F_o), índice fotossintético (PI) e densidade de centro de reação por molécula de clorofila (RC/ABS) em plantas de arroz inoculadas com *C. lunata* com diferentes números de inoculações. 64

RESUMO

Dentre os fatores que diminuem a produtividade da cultura do arroz, os problemas fitossanitários derivados de doenças fúngicas são potencialmente causadores de perda em todo o mundo. A mancha foliar associada a *Curvularia lunata* só foi relatada no Brasil e na Índia, e tem se tornado comum nos arrozais do Estado do Maranhão. Conhecer os danos que essa doença pode causar tanto na fenologia quanto na fisiologia das plantas de arroz é essencial para desenvolver, caso haja necessidade, estratégias de controle. Dessa forma, objetivou-se avaliar o desenvolvimento da doença mancha foliar em função de diferentes números de inoculações com *C. lunata* e variáveis fisiológicas nas plantas de arroz. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se um esquema fatorial 2x6, sendo duas variedades (BRS Primavera e IRGA 424) e seis tratamentos, sendo duas testemunhas, uma absoluta (sem adubação – T0), uma relativa (com adubação – T1), plantas com uma inoculação, duas inoculações, três inoculações e quatro inoculações (T2, T3, T4 e T5) e cinco repetições. Não foram encontradas diferenças estatísticas entre as variedades ao avaliar a área lesionada e número de folhas lesionadas. Quando avaliada o número de lesões, a variedade BRS Primavera se sobressaiu com maior quantidade em relação a IRGA 424, embora a severidade foliar tenha sido maior na variedade IRGA 424. O Tratamento T5 apresentou diferença significativa em relação aos demais em todos os parâmetros fitossanitários avaliados. Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos T2, T3 e T4 quanto a área lesionada, número de folhas lesionadas e severidade foliar. Com a análise de regressão observou-se uma correlação linear positiva altamente significativa ($p < 0.001$) nas duas variedades estudadas entre a severidade da mancha foliar e da mancha nos grãos causadas por *C. lunata*. Quanto aos parâmetros fisiológicos, foram observadas variações de índice fotossintético entre os tratamentos da variedade IRGA 424, comportamento similar a densidade de centro de reação por molécula de clorofila (RC/ABS). A análise de regressão entre a condutância estomática e o Índice de Ball-Berry demonstrou uma correlação linear positiva muito significativa ($p < 0,01$) na variedade Primavera. A variedade IRGA 424 apresentou uma correlação exponencial positiva altamente significativa ($p < 0,001$) Quanto a assimilação fotossintética de CO₂, as médias dos tratamentos na variedade IRGA 424 com três e quatro inoculações e maior severidade (T4 e T5) tiveram um aumento da assimilação fotossintética de CO₂ superior aos demais tratamentos (2,14 e 2,46 molm⁻²s⁻¹) e superior ainda na comparação entre variedades nos mesmos tratamentos, o que levanta a necessidade de mais estudos para o esclarecimento dos mecanismos associados à esses resultados.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L. Doenças de plantas. Fisiologia vegetal.

ABSTRACT

Among the factors that decrease rice crop productivity, phytosanitary problems arising from fungal diseases are potentially causing loss worldwide. The leaf spot associated with *Curvularia lunata* has only been reported in Brazil and India, and has become common in the rice fields of the State of Maranhão. Knowing the damage that this disease can cause both in phenology and in the physiology of rice plants is essential to develop, if necessary, control strategies. The objective of this study was to evaluate the development of leaf spot disease as a function of different numbers of inoculations with *C. lunata* and physiological variables in rice plants. The experiment was conducted in a greenhouse, using a 2x6 factorial scheme, with two varieties (BRS Primavera and IRGA 424), six treatments, two controls, one absolute (without fertilization - T0), one relative (T1), plants with one inoculation, two inoculations, three inoculations and four inoculations (T2, T3, T4 and T5) and five replications. There were no statistical differences between the varieties when evaluating the injured area and number of lesions. When the number of lesions was evaluated, the BRS Primavera variety showed the highest amount of IRGA 424, although the leaf severity was higher in the IRGA 424 variety. The T5 Treatment showed a significant difference in relation to the others in all evaluated phytosanitary parameters. No significant differences were found between treatments T2, T3 and T4 regarding the injured area, number of lesions and leaf severity. With regression analysis, a highly significant positive linear correlation ($p < 0.001$) was observed in the two varieties studied between leaf spot severity and leaf spot severity caused by *C. lunata*. As regards the physiological parameters, variations of the photosynthetic index between the treatments of the variety IRGA 424, similar behavior to the density of reaction center per molecule of chlorophyll (RC / ABS) were observed. The regression analysis between stomatal conductance and the Ball-Berry Index showed a very significant positive linear correlation ($p < 0.01$) in the Primavera variety. IRGA 424 showed a highly significant positive exponential correlation ($p < 0.001$). As for the photosynthetic CO₂ assimilation, the mean values of IRGA 424 treatments with three and four inoculations and higher severity (T4 and T5) had an increase in photosynthetic assimilation of CO₂ higher than the other treatments (2.14 and 2.46 mol⁻²s⁻¹) and higher still in the comparison between varieties in the same treatments, which raises the need for further studies to clarify the mechanisms associated with these results.

Keywords: *Oryza sativa* L. Plant diseases. Plant Physiology.

CAPÍTULO 1:

CONSIDERAÇÕES GERAIS

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) está difundida por todo o mundo em regiões de diferentes climas, e continua sendo uma das principais fontes de alimento, especialmente nos países asiáticos e subdesenvolvidos. É um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, com uma produção anual de 759 milhões de toneladas em, aproximadamente, 163 milhões de hectares (FAO, 2018).

A produção de arroz no Brasil, em 2017, foi da ordem de 12,4 milhões de toneladas, com área total plantada de pouco mais de 2 milhões de hectares, correspondendo a menos de 2 % da produção e da área plantada mundial. Em nível estadual, o Maranhão é o terceiro estado em área plantada de arroz com 159.974 hectares, e atrás apenas do Rio Grande do Sul com 1.104.732 hectares e Mato Grosso com 206.217 hectares (IBGE, 2018).

Quando avaliada a produtividade o Maranhão está em 22º lugar, com cerca de 1,54 toneladas/ha, o que equivale a 20 % da produtividade do primeiro colocado (Rio Grande do Sul, 7,9 toneladas/ha). As razões para essa baixa produtividade estão relacionadas à inexistência de variedades de alta produtividade adaptadas ao clima da região, o fato da maior parte da produção ser de agricultores familiares com utilização de pouca tecnologia e assistência técnica, e ainda, a ocorrência de pragas e doenças.

O ambiente, principalmente quando se trata de arroz irrigado, é propício à ocorrência de diversos fitopatógenos responsáveis pela diminuição da produtividade em escalas variáveis. As condições microclimáticas encontradas nos arrozais, como a elevada umidade, são essenciais ao desenvolvimento e disseminação de doenças, podendo-se considerar as doenças de origem fúngica o maior problema fitossanitário da orizicultura mundial (PRABHU et al., 2006).

Ainda, as doenças fúngicas foliares diminuem a área foliar útil das plantas de arroz e, conseqüentemente, a capacidade da planta de realizar fotossíntese e produzir fotoassimilados, influenciando no enchimento de grãos em plantas infectadas (BEDENDO, 1997). Segundo Balardin e Borin (2001), tais doenças são responsáveis por danos variáveis entre 20 e 50 % na produtividade.

O fungo *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn Meyerno é bastante conhecido por sua associação a outros fungos (*Drechslera oryzae* (Breda de Hann) Subr.; *Phoma* sp., *Pyricularia oryzae* (Cooke) Sacc., *Nigrospora oryzae* (Berk; Broome), *Alternaria* sp., *Microdochium oryzae* (Hashioka & Yokogi) Samuels & Hallett; *Sarocladium oryzae*

(Sawada) W. Gams & D. Hawksw na ocorrência de mancha de grãos do arroz. Esta doença é comum nas lavouras de arroz de todo Brasil, provocando perdas de produção, menor qualidade dos grãos e diminuição rendimento na industrialização (UTUMI; LOBO, 2008).

O fungo *C. lunata* está ainda associado a manchas foliares de várias espécies de gramíneas. Vaz-de-Melo et al. (2010) relataram o aumento da ocorrência da mancha-de-curvularia na região sul do Estado do Tocantins nos últimos anos, encontrando efeito negativo na produtividade, assim como Nechet e Halfeld-Vieira (2005) citam a queima foliar em grama esmeralda (*Zoysia japonica* Steud.) causada por esse mesmo patógeno.

Na cultura do arroz, existem relatos recentes da ocorrência de mancha foliar causada por *C. lunata* (SILVA et al., 2014; NASCIMENTO, 2017), demandando mais estudos sobre a severidade da doença e o efeito nas respostas fisiológicas do hospedeiro. Conhecer as respostas fisiológicas por meio da avaliação de parâmetros como fotossíntese, teor de clorofila e eficiência fotoquímica podem contribuir para avaliar o impacto real na produção da planta, que muitas vezes é subestimado por avaliações baseadas na interpretação visual.

Diante do exposto, esse trabalho objetivou avaliar a severidade da doença mancha foliar em função do número de inoculações de *Curvularia lunata* e seu efeito na fisiologia de plantas de arroz.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Origem e distribuição do Arroz (*Oryza sativa* L.)

Conforme EMBRAPA (2006), em muitos idiomas a palavra arroz e a palavra alimento são sinônimas, de forma que pode-se assegurar que esta cultura já era a principal fonte de alimento há milhares de anos atrás. As numerosas migrações humanas ocorridas confundem bastante a identificação de sua origem. Entretanto, estudos arqueológicos e antiga literatura apontam-no como cultivado na China há 5.000 anos atrás, e cultivado na Índia, 1.000 anos mais tarde.

O arroz existe em duas formas distintas: a silvestre e a cultivada, esta última tendo se originado da primeira. Dentro dessas duas formas, existem duas distintas origens para o arroz, e a tendência moderna é a de classificá-lo em arroz asiático e arroz africano. A forma cultivada do arroz asiático (*Oryza sativa* L.) teve sua origem na região Sudoeste

do Himalaia. As cultivares conhecidas, tanto as irrigadas como as de sequeiro, pertencem a este grupo.

A forma cultivada do arroz africano (*Oryza glaberrima* Steud.) teve sua origem ao longo do rio Niger. Convém destacar que a área de cultivo desse arroz é diminuta, sem muita relevância, e a tendência é que seja completamente substituído pelo arroz asiático, por serem as cultivares desse grupo melhoradas e de maior produtividade. O arroz só tornou-se conhecido na Europa aos 300 anos da era cristã. Nessa época foi também introduzido no Japão. Relatos indicam que sua introdução nas Américas Central e do Norte, pelos espanhóis ocorreu por volta de 1600. Atualmente, a cultura do arroz está disseminada por todo o mundo, em regiões de clima tropical e temperado, e continua sendo uma das principais fontes de alimento, especialmente nos países asiáticos (EMBRAPA, 1992).

No Brasil, informações sobre a cultura do arroz remetem aos portugueses, que o teriam introduzido entre 1530 e 1540, na capitania de São Vicente – SP, embora a primeira descrição sobre o arroz no Brasil tenha sido encontrada em missivas de Américo Vespúcio, provavelmente pouco antes da descoberta oficial do Brasil de 1500. Segundo ele, o arroz encontrado em vasta área ao longo do rio Amazonas era semelhante ao cultivado na Europa (MYAZAKI, 1998).

É considerada a espécie de maior potencial de aumento da produção para o combate da fome no mundo (AZAMBUJA; VERNETTI; MAGALHÃES, 2004), portanto, nos países em desenvolvimento, o arroz mantém uma estreita relação com a segurança alimentar (IRRI, 2013).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO), os principais produtores mundiais de arroz são o continente asiático que produz 90,47 %, África com 4,23 % e a América do Sul com 3,29 %. A China lidera a lista com 210,3 milhões de toneladas/ano⁻¹, a Índia com 166,5 milhões de toneladas/ano⁻¹, seguido por Indonésia e Bangladesh, com 73,9 e 50,8 milhões de toneladas/ano⁻¹, respectivamente, enquanto o Brasil e Paquistão ocupam o nono e décimo lugares, com 12,3 e 11,1 milhões de toneladas/ano⁻¹ (FAO, 2018).

No Brasil, o arroz é a terceira cultura mais importante depois da soja e do milho, com 2,34 milhões de hectares e produtividade média é de 6,12 toneladas/ha. Entre as regiões, o Sul do país corresponde a 80,56 % da produção nacional e por 62,8 % da área plantada, dados orientados pelos excelentes índices obtidos pelo arroz irrigado, sendo os

maiores produtores o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A região nordeste possui a segunda maior área plantada de arroz que corresponde a 12,52 % do total nacional, no entanto, está em terceiro lugar em volume de produção, com 3,64 % do total nacional, o que evidencia a baixa produtividade da região (IBGE, 2018).

A FAO (2016) afirma que a produção mundial de arroz triplicou nos últimos 50 anos até atingir, em 2010, cerca de 672 milhões de toneladas, sendo superada apenas pelo milho, que atingiu mais de 800 milhões de toneladas. Como é sabido, a produção de arroz depende em grande parte do abastecimento de água em cada região, de modo que o consumo de água para produzir um quilograma de arroz é maior do que o utilizado em muitas culturas, estimando-se, assim, que no ano 2050, aproximadamente, cerca de 9 bilhões de pessoas vão exigir cerca de 1 bilhão de euros em produção de grãos. O impacto é preocupante, uma vez que existem as necessidades alimentares, no que se refere às despesas de água para manter a capacidade de produção para fornecer alimento ao aumento inevitável da população mundial.

Ferreira, Rucatti e Mendez (2006) comentam que, existem diferenças muito importantes de produtividade entre diferentes sistemas de produção. De acordo com um levantamento sistemático da produção agrícola realizado pelo Instituto Riograndense do Arroz – IRGA (2012), observou-se entre 1996 e 2001 que a produtividade média de grãos de arroz irrigado foi de 6,3 toneladas/ha, enquanto que o arroz cultivado em terras altas foi de 2,0 toneladas/ha. Segundo esse mesmo instituto a safra 2010/2011, a produção nacional totalizou 11,6 milhões de toneladas em 2,7 milhões de hectares, das quais 43 % foram cultivadas no sistema de arroz irrigado, com uma produtividade média de 7,7 toneladas/ha em comparação com 57 % da área com arroz no sistema de sequeiro, com uma produtividade média de apenas 1,1 toneladas/ha.

Dessa forma, as áreas de arroz irrigado representaram 79,3 % da produção nacional e o sistema de arroz de sequeiro contribuiu com apenas 20,7 %. Estes resultados demonstram a superioridade da produtividade do sistema de arroz irrigado em comparação ao arroz de sequeiro, uma vez que o fornecimento de água aumenta a eficiência de cada parte do trabalho agrícola, considerada importante dentro do sistema de produção de arroz (IRGA, 2012).

2.1.1 Cultivar BRS Primavera

Atendendo a demanda por novas cultivares de arroz de terras altas (sequeiro) com qualidade de grãos comparáveis aos oriundos de sistemas irrigados, a Embrapa disponibilizou em 1998 a cultivar BRS Primavera. Resultante do cruzamento dos híbridos índica e japônica, a cultivar representou para o arroz de terras altas um novo padrão para as variedades indicadas para esse sistema de produção no Brasil.

É recomendada para plantio em áreas pouco ou moderadamente férteis, devido à sua tendência ao acamamento em condições de alta fertilidade. Pode também ser plantada em solos férteis, com aplicação moderada de fertilizantes. A produtividade da Primavera é estável e elevada em variadas condições de cultivo (EMBRAPA, 2016).

A variedade é umas das mais plantadas pelos agricultores familiares do Maranhão e participa de diversos programas governamentais de distribuição de sementes. Possui alto potencial produtivo, grãos de qualidade elevada, tolerância ao déficit hídrico e e moderadamente resistente à mancha parda (*Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoem), escaldadura das folhas (*Monographella albescens* (Thümen) Parkinson, Sivanesan & C. Booth) e mancha de grãos associada a mais de um patógeno fúngico.

Figura 1. Plantio de arroz cultivar BRS Primavera. Fonte: José Bonifácio/GPI



2.1.2 Cultivar IRGA 424

Essa variedade foi produzida pelo Instituto Rio Grandense de Arroz, é uma das variedades mais utilizadas por grandes produtores no Estado do Maranhão. Destaca-se pelo alto potencial produtivo e de boa qualidade industrial e cocção dos grãos, exceto o índice de centro branco, que é considerado intermediário.

Apresenta ciclo médio, porte baixo e folhas pilosas. É tolerante à toxidez por excesso de ferro e é resistente à brusone (*Pyricularia grisea*). Essa cultivar é especificamente indicada para cultivo nas regiões da Zona Sul e Campanha, onde apresenta boa adaptação às condições de temperatura média baixa, porém mostra excelente desempenho também nas demais regiões do Estado do Rio Grande do Sul. É uma cultivar que apresenta alta resposta à adubação (CTAR, 2016).

Figura 2. Plantio de arroz Variedade IRGA 424. Fonte: Do autor.



2.2 *Curvularia lunata*

O gênero *Curvularia* pertence ao Reino Fungi, Filo Ascomycota, Classe Euascomycetes, Ordem Pleosporales e Família Pleosporaceae (SIVANESAN, 1987). Segundo Kirk et al. (2001), o gênero é composto por 35 espécies, das quais algumas já foram relacionadas ao seu estado teleomorfo, como o exemplo *Cochliobolus lunatus* cujo anamorfo é a espécie *Curvularia lunata*.

A variabilidade morfológica observada nos fungos pertencentes ao gênero *Curvularia* fez com que as espécies fossem separadas em três grupos, ‘geniculata’, com a espécie-tipo *C. geniculata* (Tracy e Earle) Boedijn, ‘lunata’, com a espécie tipo *C. lunata* (Tracy & Earle) Boedijn, e ‘maculans’, com a espécie-tipo *C. maculans* (Bancroft) Boedijn (*C. eragrostidis* (Henn.) Mey.), que se diferenciam pela forma dos conídios e número de septos (CORBETTA, 1964).

Nos grupos ‘lunata’ e ‘maculans’ ficaram as espécies que possuem conídios com três septos e no grupo ‘geniculata’ as espécies que tem conídios com quatro septos ou com maior número de septos. As espécies do grupo ‘lunata’ distinguiram-se das do grupo ‘maculans’ principalmente por apresentarem curvatura mais pronunciada, célula mediana mais volumosa e habitual presença de estroma em cultura (FERREIRA, 2010).

Dentro de estudos sobre a micoflora de muitos ecossistemas, os fungos do gênero *Curvularia* constituem um dos mais fascinantes grupos, devido à grande frequência com que exemplares são encontrados e ao elevado número de espécies que são normalmente identificadas em diferentes substratos vegetais e no solo, podendo ainda ser isolada a partir do solo e do ar.

Apesar da maioria dos espécimes do gênero *Curvularia* ser conhecido como saprófita, alguns são fitopatogênicos, sobretudo em gramíneas em regiões de clima tropical e subtropical (SIVANESAN, 1987). É muito sério o dano que fungos desse gênero causam nas plantas, onde estudos descrevem uma ampla gama de doenças afetando espécies das famílias Arecaceae, Curcubitaceae, Malvaceae, Poaceae, entre outras. Autores consideram que houve um aumento significativo na ocorrência e na severidade das doenças causadas por esse patógeno nos plantios de gramíneas, como de arroz, trigo (*Triticum aestivum*. L), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), milho (*Zea mays* L.), e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) (NASCIMENTO, 2017; ALI; YAN, 2012; SOUSA, 2013; VAZ-DE-MELO et al., 2010; FLÁVIO et al., 2014).

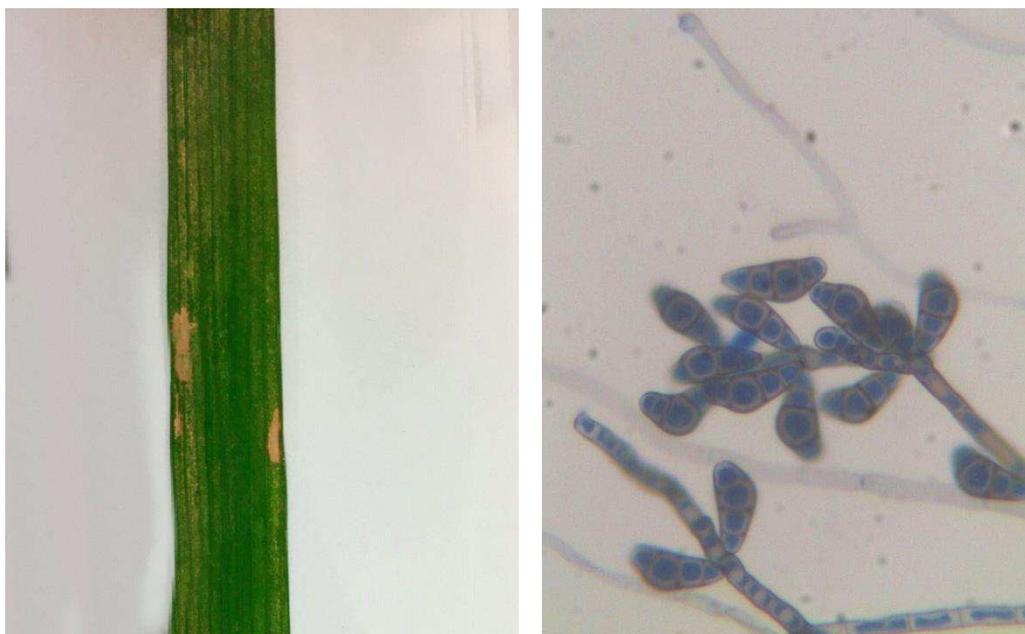
A este fato é atribuída uma soma de fatores, entre eles: a infestação da planta por microrganismos, como os fungos dematiáceos. São chamados dematiáceos, os fungos que têm por característica hifas e conídios de coloração escura (conídios feodictos). Nos vegetais, há inúmeros exemplos de patologias provocadas por estes fungos, como a helmintosporiose ou manchas em diversas famílias de plantas, tendo uma grande importância em culturas como o trigo, milho, arroz, sorgo, cevada (*Hordeum vulgare* L.), aveia (*Avena sativa* L.) e centeio (*Secale cereale* L.) (FERREIRA, 2010).

Majeed et al. (2016) e Kamaluddeen & Abhilasha (2013) identificaram manchas foliares na cultura do arroz, em estudos realizados no ano de 2012, em diferentes distritos da Índia. Os sintomas apareceram como manchas marrons na folha e nas folhas emergentes pequenas. Os sintomas primários eram pequenas manchas redondas e ovóides com um halo clorótico, uniformemente distribuídas sobre a folha. O tamanho dos pontos

variou de 10 mm a 1 cm. Ao longo do tempo, manchas se fundiram e se tornaram grandes (MAJEED et al. 2016). O agente causador se tratava do fungo *C. lunata*.

No Brasil, Silva et al. (2014) já haviam relatado a ocorrência desse fungo em folhas de plantas de arroz no Estado do Maranhão, podendo se considerar o primeiro relato publicado dessa forma de atuação de *C. lunata* encontrado na literatura no Brasil e no Mundo.

Figura 3. Mancha causada por *C. lunata* e estrutura dos conídios em arroz (Fonte: do autor).



2.3 Fisiopatologia Vegetal

O processo de infecção caracteriza-se pela desagregação celular e pela utilização de nutrientes, o que resulta em alterações na morfologia e no metabolismo, levando ao aparecimento de sintomas (PASCHOLATI, 2011a). Para isso, os agentes patogênicos, sejam eles fungos, bactérias, oomicetos ou vírus, criaram ao longo do tempo diferentes estratégias para invadir as plantas, afim de se alimentar e se reproduzir (BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007).

Geralmente atribuída a bactérias ou fungos, a estratégia utilizada é considerada uma característica essencial na classificação do microrganismo invasor (OLIVER; IPCHO, 2004). Os patógenos biotróficos precisam de tecido vivo para crescimento e reprodução; em muitas interações, o tecido morrerá nos estágios finais da infecção (patógenos hemi-biotróficos) (BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007).

Já os patógenos necrotróficos matam o tecido hospedeiro no início da infecção e se alimentam do tecido morto. Os vírus, em geral, precisam de tecido vivo para nutrição, enquanto estratégias biotróficas e necrotróficas são mais comumente encontradas entre bactérias e fungos. No entanto, similaridades nos métodos e vias envolvidas na defesa das plantas contra fungos e bactérias biotróficas, ou contra fungos e bactérias necrotróficas têm sido descritas na literatura (BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007).

Dessa forma as plantas, quando atacadas, tendem a mostrar sinais visíveis da interação com o patógeno e os efeitos posteriores resultantes. Os sintomas podem ser úteis não apenas na identificação de uma planta afetada, mas também na indicação da causa do problema e até mesmo da natureza do patógeno agressor (WALTERS, 2015).

Por outro lado, simultaneamente à penetração e colonização dos tecidos, os hospedeiros podem reagir a presença de patógenos em potencial, por meio de mecanismos estruturais e produção de substância químicas. Assim, o hospedeiro pode ser considerado vencedor quando consegue suprimir a doença e a mesma não se estabelece (resistência). Caso haja o aparecimento de sintomas, o patógeno pode ser considerado vencedor (suscetibilidade) (PASCHOLATI, 2011b). Dentre aos efeitos comuns, a fisiologia vegetal possui uma série de mudanças possíveis resultantes da interação entre plantas e patógenos, independente de quem vença essa batalha.

A exemplo disso, Luna, Watson & Paulitz (2002) ao avaliarem 13 cultivares de arroz inoculadas com *Curvularia tuberculata* e *Curvularia oryzae* observaram resistência em 7 dessas cultivares. As cultivares resistentes apresentaram apenas pequenas manchas foliares e escurecimento das pontas das folhas e margens, o que indicou uma reação adversa a doença. Já as cultivares suscetíveis apresentaram atraso no crescimento além de esporulação das manchas necróticas causadas pelos patógenos. A histologia da interação demonstrou o acesso do fungo nas cultivares suscetíveis por meio de apressórios formados sobre a abertura estomática, que pode se dar por estímulos químicos presentes na planta hospedeira.

PASCHOLATI (2011b) comentou que, embora seja intensamente explorada em outros países, a fisiopatologia vegetal, também conhecida como fisiologia do parasitismo ou bioquímica fitopatológica, encontra-se ainda em gestação no Brasil. A pequena densidade de trabalhos encontrados nessa área para fins de revisão bibliográfica orienta que não houveram mudanças no panorama descrito pelo referido autor. Por ser uma área

notadamente multidisciplinar, é correto dizer que há uma carência de profissionais para desenvolver esse tipo de pesquisa.

Em suma, a fisiopatologia vegetal consiste no estudo de bases genéticas envolvidas na patogênese, bem como estratégias fisiológicas, bioquímicas e moleculares das plantas decorrentes da interação com patógenos. Conhecer essas estratégias de defesa de plantas e ataques de patógenos e seu efeito a nível fisiológico e bioquímico é essencial na tomada de decisão do controle desses patógenos abaixo do nível de dano econômico de plantas cultivadas.

2.3.1 Efeito na eficiência fotoquímica

Segundo Strasser, Srivasta & Tsimilli-Michael (2000), os primeiros estudos sobre o fenômeno da fluorescência da clorofila α foram realizados por Kautsky e Hirsch em 1931 quando descreveram a curva polifásica de indução contínua da fluorescência. Em especial, o estudo da cinética da fluorescência transiente da clorofila a é uma técnica que fornece avaliação da eficiência fotoquímica da fotossíntese e, principalmente, da estrutura e função do fotossistema II (ADAMSKI et al., 2011). A emissão da fluorescência deriva de aumento transitório do processo a partir da fluorescência inicial, F_0 , até a intensidade máxima, F_M (PASCOALINI, 2014).

O estudo da fluorescência é uma ferramenta bastante poderosa para avaliar o desempenho fotossintético de plantas, em especial nos dias de hoje onde se tem uma sólida compreensão da relação entre parâmetros de fluorescência e transporte de elétrons (BAKER, 2008). Aliado a isso, atualmente se tem de forma acessível a uma gama de equipamentos que fazem esse tipo de medição.

Os níveis característicos principais e as relações entre os mesmos comumente estudados são: a fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), a relação F_v / F_m (rendimento quântico máximo do fotossistema II) e a razão F_v / F_0 (rendimento quântico máximo efetivo) e PI (Índice Fotossintético), onde a diferença entre F_m e F_0 é chamada de fluorescência variável, F_v ($F_v = F_m - F_0$).

A relação F_v / F_m é praticamente constante para espécies diferentes quando medido sob condições isentas de estresse e com o aparato fotossintético da planta intacto, sendo igual a $0,75 \leq F_v / F_m \leq 0,85$ (TROVÃO et al., 2007). Incrementos nos valores de F_v / F_m indicam aumento na eficiência de conversão fotossintética do FII (SHU et al., 2013; MEHTA et al., 2011).

A relação F_v/F_0 é um indicador muito sensível da potencial atividade fotossintética, tanto em plantas em condição de estresse quanto saudáveis (OZFIDAN et al., 2013). A avaliação de F_v/F_0 também tem sido recomendada para detectar alterações induzidas pelo estresse salino, visto que amplifica as pequenas variações detectadas pela relação F_v/F_m (AZEVEDO NETO et al., 2011). Reduções nesses valores em plantas sob estresse severo apontam que a eficiência do processo fotossintético e da cadeia de transporte de elétrons foi comprometida (LI et al., 2013; SHU et al., 2013).

Já o Índice fotossintético ou Índice de Desempenho (PI) é um parâmetro relativamente novo que permite quantificar as principais etapas fotoquímicas no FSII e no FSI (THACH et al., 2007). Esse índice é considerado um indicador da vitalidade da planta, visto que seu cálculo considera a densidade de centros de reação expressos com base na absorção (RC/ABS), no rendimento quântico máximo do FSII e na habilidade de transferência de elétrons, na cadeia transportadora, entre o FSII e FSI (CHRISTEN et al., 2007). Esse índice permite melhor identificar situações de estresse e ainda melhor diferenciar tratamentos experimentais, se comparado ao parâmetro F_v/F_m (STIRBET; GOVINDJEE, 2011).

Diversos autores tem utilizado parâmetros de fluorescência em tecidos foliares no estudo fotossintético de plantas sob estresse biótico, seja causado por fungos (DIAS et al., 2018; BEHR et al., 2010), bactérias (RASOULNIA et al., 2018; IQBAL et al., 2012; RODRIGUEZ-MORENO et al., 2008; TAO et al., 2003) ou vírus (LEI et al., 2017; SPOUSTOVÁ et al., 2013; PINEDA et al., 2011; GUO; DE-PING et al., 2005). A fluorescência tem se mostrado bastante promissora na identificação de danos causados por patógenos no aparato fotossintético e mais especificamente nos fotossistemas, principalmente quando relacionadas a estudos de teor de clorofila e trocas gasosas.

2.3.2 Efeito no teor de clorofila

O teor de clorofila é um importante índice fisiológico, que muitas vezes, está diretamente relacionado à fotossíntese em plantas (MA et al., 2011). As literaturas científicas enfatizam as reduções no teor de clorofila e sua direta associação a danos causados por estresse biótico e abiótico, como estresse salino e hídrico (NEDJIMI, 2014; YU; RENGEL, 1999) e plantas sob ataque de pragas e doenças (GONZALEZ et al., 2013; GOMES, 2016; CH et al., 2016).

A degradação da clorofila em plantas sob estresse abiótico pode ser parcialmente atribuída à sensibilidade das membranas ao estresse oxidativo (HASEGAWA et al., 2000). Essas condições ambientais levam ao incremento no nível de espécies reativas de oxigênio (EROs), culminando na peroxidação do lipídio das membranas, desintegração dos tilacóides e redução na concentração de clorofila (PARIDA; DAS, 2005; MA et al., 2011).

A clorose é um sintoma comum em folhas infectadas com patógenos fúngicos biotróficos, é associada frequentemente a um declínio progressivo no conteúdo de clorofila nessas folhas. Scholes e Farrar (1987) observaram um declínio constante na clorofila total em folhas de cevada infectadas com ferrugem marrom, enquanto o declínio na concentração de clorofila em folhas de *Arabidopsis thaliana* infectadas com *Albugo candida* se correlacionou bem com o declínio na assimilação fotossintética de CO₂ em folhas infectadas (TANG et al., 1996).

Uma correlação significativa entre reduzidos valores de fotossíntese e de clorofila também foi encontrada em folhas de *Vigna unguiculata* Subsp. *sesquipedalis* infectadas com ferrugem (SO; THROWER, 1976). Já Gonçalves et al. (2012) quando avaliaram o teor de clorofila de duas variedades de arroz em diferentes graus de severidade de brusone não encontraram diferenças nos teores de clorofila em plantas com diferentes graus de severidade da doença, embora tenham observado diferenças de teores de clorofila entre as variedades estudadas.

A clorose, resultado da diminuição de clorofila, é uma resposta bastante comum em interações patógeno-planta em que há geração de EROs, que ocasionam alterações proteicas (GARG; MANCHANDA, 2009), e ainda provocam degradação de pigmentos fotossintéticos, dentre estes, as clorofilas (STADINIK; RIVERA, 2001; PSHIBYTKO et al., 2006) e os carotenoides (KIM et al., 2004).

Tanto as moléculas de clorofila quanto os cloroplastos tem elevada sensibilidade, o que possibilita inferir em erros no método extrativo de determinação dos seus teores. Ainda, a espessura das folhas orientada por alta intensidade luminosa pode mascarar a proporção de clorofila *a* ou *b* por unidade de área em relação ao conteúdo por unidade de peso ou volume (KHAN et al., 2000; TERASHIMA et al., 2006).

A estimativa do conteúdo relativo de clorofila usando o medidor de SPAD é uma maneira rápida, não-destrutiva, eficiente e relativamente confiável de definir os sintomas desenvolvidos durante a fotossíntese como resultado da exposição da planta ao estresse.

Estimar o conteúdo de clorofila sem sacrificar as plantas permite o monitoramento de vários parâmetros nas mesmas plantas e a obtenção de dados mais confiáveis (PAVLOVIC et al., 2014).

2.3.3 Efeito de doença de plantas na Assimilação fotossintética de CO₂

Uma característica comum aos patógenos heterotróficos de plantas é que dependem da fotossíntese de seus hospedeiros para seu próprio desenvolvimento. Eles fornecem mecanismos singulares, mas complexos de serem estudados, da regulação do metabolismo do hospedeiro (GACHON et al., 2006). A fotossíntese pode ser alterada consideravelmente após o ataque, embora a natureza da alteração (ou seja, taxas fotossintéticas diminuídas ou aumentadas) e os mecanismos subjacentes dependam da interação patógeno-hospedeiro (WALTERS, 2015).

A infecção por patógenos frequentemente leva ao desenvolvimento de áreas cloróticas e necróticas, e à diminuição da produção de assimilados fotossintéticos. O efeito na fotossíntese pode ser analisado monitorizando a fluorescência da clorofila *in vivo*. Este método é baseado na medição da fluorescência da clorofila em uma planta adaptada ao escuro e após a saturação de pulsos de luz (SCHREIBER, 2004).

Outros mecanismos podem estar associados à redução da fotossíntese de plantas infectadas, incluindo redução da abertura estomática, diminuição das concentrações de clorofila, perturbações nas reações da fase fotoquímica da fotossíntese e reduções nas atividades e quantidades de enzimas do ciclo de Calvin. Infecções por oídios ou ferrugens podem levar a uma redução da condutância estomática, e tais mudanças podem influenciar direta ou indiretamente nas taxas de fotossíntese (WALTERS, 2015).

É possível ocorrer alterações na fotossíntese até de interações incompatíveis, como no caso de estirpes não virulentas, de tão intrigantes que são as respostas fisiológicas. Bonfig et al. (2006) comparando diretamente a interação de *Arabidopsis* com uma linhagem virulenta e avirulenta de *Pseudomonas syringae* mostraram que a principal diferença entre as estirpes se deu na velocidade dos efeitos sobre a fotossíntese. Uma diminuição na fotossíntese foi detectada mais cedo com a cepa avirulenta do que com a cepa virulenta. Isto indica uma semelhança entre os efeitos no metabolismo primário e secundário, uma vez que, em ambos os casos, as reações são mais precoces na interação incompatível.

O advento da tecnologia de imagem revelou a complexidade e a heterogeneidade de efeitos da interação patógeno-hospedeiro. Em folhas de *A. thaliana* infectadas com *A. candida* (CHOU et al., 2000) e em plantas de tomateiro infectadas com *Botrytis cinerea* (BERGER et al., 2004), detectou-se um anel com taxas de fotossíntese mais elevadas em torno da área com fotossíntese diminuída no local da infecção. Atualmente, não está claro se esta estimulação da fotossíntese é devida à estratégia de defesa da planta.

Ainda, Roberts e Walters (1988) encontraram valores de fotossíntese muito baixos nas pústulas fúngicas de folhas de alho poró (*Allium ampeloprasum* L.) infectadas, mas a redução da fotossíntese foi muito mais acentuada entre as pústulas fúngicas. A redução da atividade da Rubisco não foi identificada nas áreas entre as pústulas, mas tão somente nas áreas das pústulas. Já Scholes e Farrar (1986) ao estudarem plantas de cevada infectadas por ferrugem marrom (*Puccinia hordei* Otth.) atribuíram a redução da fotossíntese por conta das baixas taxas fotossintéticas determinadas nas regiões entre as pústulas, visto que as taxas fotossintéticas nas pústulas foram maiores do que aquelas encontradas nos tecidos entre as pústulas e curiosamente maiores que a fotossíntese de folhas não infectadas. Ainda são desconhecidos os mecanismos que podem explicar esse comportamento fisiológico.

É inquestionável o progresso nos últimos anos sobre estudos estruturais e bioquímicos da localização da transferência de nutrientes das plantas hospedeiras para seus parasitas biotróficos. No entanto, considerando que as folhas infectadas com patógenos fúngicos biotróficos são frequentemente heterogêneas, tem-se no processo de interação células invadidas pelo fungo, células não invadidas, e ainda células que são modificadas pela presença do patógeno (WALTERS, 2015). Assim, medições diretas de reações fotossintéticas à luz no contexto de patologias permaneceram intrinsecamente difíceis (GACHON et al., 2006).

2.3.4 Efeito de doença de plantas na condutância estomática

Os estômatos são pequenos poros localizados na superfície das folhas que permitem as plantas trocar gases com o meio ambiente. Eles desempenham um papel essencial na assimilação de CO₂ para a fotossíntese, mas, ao mesmo tempo, permitem a perda de água pela transpiração (GUDESBLAT; TORRES; VOJNOV; 2009). Já a condutância estomática estima a taxa de troca gasosa, ou seja, absorção de dióxido de carbono, e transpiração (perda de água) através dos estômatos foliares, conforme

determinado pelo grau de abertura estomática e, portanto, as resistências físicas ao movimento de gases entre o ar e o interior da folha (PIETRAGALLA; PASK, 2012).

Sua posição entre os tecidos vegetais e o meio ambiente torna os estômatos convenientes para a entrada e colonização endofítica por patógenos. Por essa razão, as plantas desenvolveram a capacidade de ajustar a abertura estomática por diversos mecanismos, entre eles a resposta a hormônios como o ácido abscísico (ABA), resposta aos fatores ao ambiente, como luz, umidade do ar e dióxido de carbono, e ainda em resposta a patógenos (GRIMMER et al., 2012).

Para invadir as folhas, os patógenos podem agir de duas formas: passar pelos poros estomatais ou romper a cutícula (AYRES, 1981). Os agentes patogênicos podem produzir estruturas portadoras de esporos da folha que podem passar pelos poros estomatais ou entrar em erupção pela epiderme, abrindo a cutícula. A esporulação causada por ferrugem em especial, está associada com violação cuticular. Ainda, infecções podem ocorrer dentro da cavidade subestomática e afetar a função estomática e conseqüentemente todas as trocas gasosas (GRIMMER et al., 2012).

Grimmer et al. (2012) em sua concisa revisão descreveram, ainda, os mecanismos comuns de entrada de patógenos em plantas. Os oídios têm sua entrada baseada na penetração do haustório na epiderme da folha e se propagam por meio de estruturas portadoras de esporos na superfície da folha. As ferrugens acessam comumente a planta pelos estômatos e depois rompem a epiderme liberando esporos para se propagar. As lesões necróticas causadas por fungos podem tanto penetrar a planta pela epiderme assim como pelo estômato, sendo a propagação na epiderme por estruturas esporulantes. Já as bactérias acessam a planta pelos estômatos ou por ferimentos foliares, onde multiplicam-se e se exsudam pelos próprios estômatos ou lesões. As partículas virais entram principalmente pela alimentação de insetos ou ácaros e se replicam, ocasionando sintomas locais ou sistêmicos, se propagando para outras plantas pela alimentação destes.

Experimentos realizados com patógenos fúngicos e bacterianos, que invadem as folhas através dos estômatos, mostraram que muitos desses organismos exibem movimentos trópicos em direção a eles (GUDESBLAT; TORRES; VOJNOV, 2009). Após a infecção, esses microrganismos podem afetar o comportamento estomático de diversas maneiras, fato que tem sido atribuído à interação entre os compostos fúngicos e vegetais secretados durante a interação planta-patógeno (WILMER, 1996).

O efeito de alguns compostos purificados envolvidos nos movimentos estomáticos tem sido relatado por diversos autores. O fechamento estomático foi associado pelos elicitores fúngicos, ácido oligogalacturônico e quitosana (LEE et al., 1999), e no caso de bactérias, a toxina siringomicina, (MOTT et al., 1989). Já abertura estomática foi associada à fusicocina derivada do fungo *Fusicocum amygdali* Delacr. (TURNER; GRANITI, 1969), e a coronatina derivada da bactéria *Pseudomonas syringae* pv.tomate (MINO et al., 1987; MELOTTO et al., 2006).

Apesar dessas descobertas, o papel dos estômatos na defesa contra patógenos tem sido muitas vezes negligenciado (AGRIOS, 2005). Recentemente pesquisas elucidaram que padrões moleculares associados a patógenos bacterianos (PAMPs) são capazes de desencadear o fechamento estomático, mesmo na presença de luz, fornecendo evidências convincentes de que estômatos efetivamente funcionam como parte da imunidade natural da planta (MELOTTO et al., 2006; ZHANG et al., 2008; CAVALCANTE et al., 2013), e não somente uma resposta às condições ambientais. Esses trabalhos têm impulsionado a realização de mais pesquisas nessa área.

2.3.5. Índice de Ball-Berry

Conforme já foi dito, é comumente aceito que os estômatos funcionam para restringir a perda de água das células fotossintéticas do mesófilo das folhas, mas também devem permitir a entrada CO_2 na folha para ocorrência da fotossíntese. Mecanismos fisiológicos complexos ajustam a abertura dos estômatos em resposta a mudanças nas condições ambientais, afetando a condutividade total dos estômatos das folhas (G_s), sendo sensível à intensidade da radiação de ondas curtas (R_s), umidade do ar (E_a), pressão parcial de CO_2 do ar (C_a), temperatura da folha, estresse hídrico e hora do dia, bem como às condições fisiológicas na planta e de sanidade (JARVIS, 1976; STEWART, 1988; JONES; HIGGS, 1989; CAVALCANTE et al., 2013).

Alguns aspectos do mecanismo estomático, e os movimentos dependentes de turgor que abrem ou fecham o poro são razoavelmente bem compreendidos, principalmente com relação às respostas ao ambiente e ao estresse abiótico (estresse hídrico e salino), mas os processos de transporte iônico e o sistema sensorial que os controlam ainda são um enigma (COLLATZ, 1991; WOLF et al., 2006).

Lobet et al., (2014) comentam que, apesar dos numerosos trabalhos que abordam o mecanismo de resposta dos estômatos aos estímulos ambientais, ainda não há um modelo amplamente aceito, pois a condutância estomática (g_s) pode variar em função de diversos fatores, sejam eles climáticos, genéticos e sistema de manejo, tornando os modelos por demais simplificados, de difícil validação.

Ball (1988) e Ball e Berry (1991) propuseram uma equação para descrever a resposta da taxa de captação líquida de CO_2 (A_n) e a umidade relativa (h_s) e a fração molar de CO_2 (C_s) do ar que não se limitasse ao estudo de correlações entre duas variáveis ambientais, conforme modelos que o antecederam. O modelo de Ball-Berry, diferente dos modelos anteriores que consideravam a resposta estomática às condições ambientais (JARVIS, 1976; AVISSAR et al., 1985; LINDROTH; HALLDIN, 1986), considera as condições ambientais na superfície da folha.

Assim, os modelos fisiológicos (Eficiência fotossintética de assimilação de CO_2 e condutância estomática) são combinados com um modelo que dá o ambiente na superfície da folha e o balanço energético da folha em função da condutância estomática (COLLATZ, 1991). Em suma, a superfície da folha é considerada como a fronteira que separa os processos fisiológicos que operam dentro da folha dos processos de transporte que operam na camada limítrofe.

Baeza et al. (2011), comparando cultivares de videira em dois regimes hídricos ao cruzar o índice de Ball-Berry com a condutância estomática puderam constatar que a disponibilidade de água pesa mais no desempenho dos estômatos do que as possíveis diferenças existentes entre cultivares, não havendo diferença entre as variedades estudadas quanto ao regime hídrico.

Existem várias maneiras de usar esse modelo de comportamento estomático, incluindo a simulação de respostas foliares na natureza (BALL; WOOD; BERRY, 1987). Diante disso, e diante dos estudos já revisados que abordam o comportamento da condutância estomática de plantas infectadas, há razões intrínsecas para supor que a colonização da superfície foliar por patógenos pode interferir neste índice, pela alteração do ambiente na superfície foliar, e conseqüentemente, alterar a sensibilidade da abertura estomática.

REFERÊNCIAS

ADAMSKI, J.M. et al. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 2056-2062, 2011.

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. San Diego: Academic Press, 2005. 922 p.

ALI F.; YAN J.B. Disease resistance in maize and the role of molecular breeding in defending against global threat. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 54, p. 134–151, 2012.

AVISSAR, R. et al. A model to simulate response of plant stomata to environmental conditions. **Agric. For. Meteorol.**, v. 34, p. 21-29, 1985.

AYRES, P. G. 1981. Responses of stomata to pathogenic microorganisms. In: JARVIS P.G.; MANSFIELD T.A. (ed.) **Stomatal physiology**. Cambridge: Cambridge University press, 1981, p. 205–221.

AZAMBUJA, I.H.V.; VERNETTI Jr., MAGALHÃES Jr., A.M. Aspectos socioeconômicos da produção do arroz. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 23-44.

AZEVEDO NETO, A. D. et al. Fluorescência da clorofila como ferramenta possível para a seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.893-897, 2011.

BAEZA, P. et al. Agronomic performance of graciano, petit verdot and tempranillo grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) under two water. **17th GiESCO Symposium proceedings**, n. June 2014, p. 389–392, 2011.

BAKER, N. R. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 89–113, 2008.

BALARDIN, R. S.; BORIN, R. C. **Doenças na cultura do arroz irrigado**. Santa Maria: Ed. do Autor, 2001. 48p.

BALL, J.T. **An analysis of stomatal conductance**. 1988, 89f. Tese (PhD) - Stanford University, California, 1988.

BALL, J.T.; BERRY, J.A. An analysis and concise description of stomatal responses to multiple environmental factors. **Planta**, in press 1991.

BALL J.T.; WOODROW I.E.; BERRY J.A. A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. In: BIGGENS, J. (ed) Progress in photosynthesis research. **Proceedings of the VII International Photosynthesis Congress**. Martinus Nijhoff Publishers: Dordrecht, p.221-224, 1987.

BEDENDO, I. P. Doença do arroz. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Ceres, 1997. p.85-104.

BEHR M. et al. The hemibiotroph *Colletotrichum graminicola* locally induces photosynthetically active green islands but globally accelerates senescence on aging maize leaves. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 23, 879-892, 2010.

BERGER, S. et al. Complex Regulation of Gene Expression, Photosynthesis and Sugar Levels by Pathogen Infection in Tomato. **Physiol Plantarum**, v. 122, p. 419-428, 2004.

BERGER, S.; SINHA, A. K.; ROITSCH, T. Plant physiology meets phytopathology: Plant primary metabolism and plant-pathogen interactions. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 4019–4026, 2007.

BONFIG et al. Infection with virulent and avirulent *P. syringae* strains differentially affects photosynthesis and sink metabolism in Arabidopsis leaves. **Planta**, v. 225, p. 1-12, 2006.

CAVALCANTE, F. M, L. et al. Interação patógeno planta: respostas frente ao ataque. **Revista de Saúde e Biologia**, [S.l.], v. 8, n. 3, 2013.

CH, C. M.; KAPOOR, R. T.; GANJEWALA, D. Alleviation of abiotic and biotic stress in plants by silicon supplementation. **Scientia Agriculturae**, v.13, p.59-73, 2016.

CHOU, H. -M. et al. Infection of *Arabidopsis thaliana* leaves with *Albugo candida* (White Blister Rust) Causes a Reprogramming of Host Metabolism. **Mol. Plant Pathol.**, v. 1, p. 1- 15, 2000.

CHRISTEN, D. et al. Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by in situ chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, p. 504-514, 2007.

COLLATZ, G. J. et al. Physiological and environmental-regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration - a model that includes a laminar boundary-layer. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 54, n. 2-4, p. 107-136, 1991.

CORBETTA, G. **Rassegna del specie del genere Curvularia**. Riso: Milano v. 4, p. 3-23, 1964.

CTAR. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Sociedade Brasileira de arroz irrigado. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200p.

DIAS, C.S.; et al. Water relation, leaf gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence imaging of soybean leaves infected with *Colletotrichum truncatum*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p.119-128, 2018.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Serviço de Produção e Informação [Brasília]. **Recomendações técnicas para arroz irrigado no Centro Oeste, Norte e Nordeste; Zonas 1, 15, 17, 40, 43, 58, 59, 61, 77 e 78**. Brasília, 1992. 140p.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura. **Cultivar** [Brasília], 2016. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fesi63xi02wx5eo0y53mhyhtbts8a.html>>. Acesso em: 20 jan. 2018.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). Portal Arroz e Feijão, 2006. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/arroz/historia.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

FERREIRA, C; RUCATTI, E; MENDEZ, P. Produção e Aspectos Econômicos. In: SANTOS, A. dos; STONE, L.; VIEIRA, N. De. **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão. 2006. Cap. 4. p 97-116.

FERREIRA, L. S. **Caracterização de isolados de *Curvularia ssp. Endofíticos de milho (ZeaMays L.) por parâmetros morfológicos e moleculares***. 2010. 118f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITEDNATIONS). **Rice Market Monitor**, v.XXI, n° 1, abril 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9243EN/i9243en.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2018.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITEDNATIONS). **Rice Market Monitor**, v.XIX, n° 4, dez 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Rice/Images/RMM/RMM-Dec16H.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2018.

FLÁVIO, N.S.D.S et al. Health and physiological quality of sorghum seeds treated with aqueous extracts and essential oils. **Semina: Ciênc. Agrár. Londrina** v.35, p. 7-20, 2014.

GACHON, C. M. M. et al. Single-cell chlorophyll fluorescence kinetic microscopy of *Pylaiella littoralis* (Phaeophyceae) infected by *Chytridium polysiphoniae* (Chytridiomycota). **European Journal of Phycology**, v. 41, n. 4, p. 395–403, 2006.

GARG, N.; MANCHANDA, G. ROS generation in plants: Boon or bane? **Plant Biosystems, Essex**, v. 143, p. 1-96, 2009.

GONÇALVES, F. J. et al. Controle Químico da Brusone em Arroz de Terras Altas: Efeitos Nos Fungos Não Alvos do Filoplano. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 42, n. 1, p. 77–81, 2012.

GOMES, A. M. S. V. **Parâmetros fisiológicos em plantas de *Citrus spp.* infestadas por mosca negra dos citros**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2016.

GONZALEZ, G. C. et al. Pigmentos fotossintéticos em clones de seringueira sob ataque

de oídio. **Ciênc. Florest.**, v. 23, p. 499–506, 2013.

GRIMMER, M.K.;FOULKES, J.M.;PAVELEY, N.D. Foliar pathogenesis and plant water relations: a review. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 2, p. 695–709, 2012.

GUDESBLAT, G. E.; TORRES, P. S.; VOJNOV, A. A. Stomata and pathogens: Warfare at the gates. **Plant signaling & behavior**, v. 4, n. 12, p. 1114–6, 2009.

GUO D-P. et al. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (*Brassica juncea* var. tsatsai) after turnip mosaic virus infection. **Plant Science**, v. 168, p. 57–63, 2005.

HASEGAWA P.M. et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **Plant Mol. Biol.**, v.51, p. 463–499, 2000.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). 2018. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 06 jul. 2018.

IQBAL, M.J. et al. Spatial and temporal changes in chlorophyll fluorescence images of *Nicotiana benthamiana* leaves following inoculation with *Pseudomonas syringae* pv. tabaci. **Plant Pathology**, v. 61, p. 1052-1062, 2012.

IRGA (INSTITUTO RIO GRANDENSE DE ARROZ). Levantamento sistêmico da produção de arroz 2011/2012. Disponível em: <http://www3.irga.rs.gov.br/uploads/anexos/1329418135Area_Producao_e_Produtivida de.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.

IRRI 2013, **International Rice Research Institute**.< <http://irri.org/> >. Acesso: março de 2018.

JARVIS, P.G. The interpretations of the variation in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philos. Trans. R. Soc. London. Ser. B.**, v. 273, p. 593- 610, 1976.

JONES, H.G.; HIGGS, K.H. Empirical models of the conductance of leaves in apple orchards. **Plant Cell Environ.**, v. 12, p. 301-308, 1989.

KAMALUDDEEN, S. S.; ABHILASHA, A. L. A New Blight Disease of Rice Caused by *Curvularia lunata* from Uttar Pradesh. **International Journal of Agricultural Science and Research**, v. 3, p.13-16, 2013.

KAUTSKY, H.; HIRSCH, A. Neue Versuche zur Kohlensäureassimilation. **Die Naturwis-senschaften**, v. 19. p. 964-964, 1931.

KHAN, S.R. et al. Effects of shade on morphology, Chlorophyll concentration and chlorophyll fluorescence of four pacific northwest conifer species. **New forests**, v.19 p.171-186, 2000.

KIM, Y. H. et al. Methanobactin, a copper-acquisition compound from methane-oxidizing bacteria. **Science**, v. 305, p.1612-1615, 2004.

KIRK, P.M. et al. **Ainsworth e Bisby's Dictionary of the fungi**. 9 ed. CAB International, 2001, 655 p.

LEE, S. et al. Oligogalacturonic acid and chitosan reduce stomatal aperture by inducing the evolution of reactive oxygen species from guard cells of tomato and *Commelina communis*. **Plant Physiology**, v.121, p. 147–52, 1999.

LEI, R. et al. Chlorophyll fuorescence lifetime imaging provides new insight into the chlorosis induced by plant virus infection. **Plant Cell Rep**, v. 36, p. 327–341. 2017.

LI, G. L. et al. Response of Chlorophyll Fluorescence Parameters to Drought Stress in Sugar Beet Seedlings. **Russ J. Plant Physiol.**, v. 60, p. 337-342, 2013.

LINDROTH, A; HATLDIN, S. Numerical analysis of pine forest evaporation and surface resistance. **Agric. For. Meteorol.**, v. 38 p. 59-79, 1986.

LOBET, G et al. A modeling approach to determine the importance of dynamic regulation of plant hydraulic conductivities on the water uptake. **Dynamics in the Soil-Plant-Atmosphere System**, v. 290, p. 65-75, 2014.

LUNA, L. Z.; WATSOM, A.K.; PAULITZ, T.C. Reaction of rice (*Oryza sativa*) cultivars to penetration and infection by *Curvularia tuberculata* and *C. oryzae*. **Plant. Dis.** v. 86, p. 470–476, 2002.

MA, Q. et al. Sodium chloride improves photosynthesis and water status in the succulent xerophyte *Zygophyte xanthoxylum*. **Tree Physiology**, v.32, p.4-13, 2011.

MAJEED, R. A. et al. First Report of *Curvularia lunata* Causing Brown Leaf Spots of Rice in Punjab, Pakistan. **Plant Disease**, v. 100, n. 1, p. 219–219, 2016.

MEHTA, P. et al. Analysis of salt stress induced changes in Photosystem II heterogeneity by prompt fluorescence and delayed fluorescence in wheat (*Triticum aestivum*) leaves. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.104, p.308-313, 2011.

MELOTTO, M. et al. Plant stomata function in innate immunity against bacterial invasion. **Cell**, v. 126, p. 969–80, 2006.

MINO, Y.; MATSUHITA, Y.; SAKAI, R. Effect of coronatine on stomatal opening in leaves of broadbean and italian ryegrass. **Ann Phytopath Soc Japan**, v.53, p. 53-55, 1987.

MOTT, K.A.; TAKEMOTO, J.Y. Syringomycin, a bacterial phytotoxin, closes stomata. **Plant Physiol**, p. 90, p. 1435-1439, 1989.

MYAZAKI, N. (Org). **A cultura japonesa pré-industrial: aspectos socioeconômicos**. São Paulo: EDUP, 1998. 139 p.

NASCIMENTO, I. O. **Manejo ecológico de doenças em arroz (*Oryza sativa* L) de terras altas**. 2017. 135 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2017.

NECHET, K.; HALFELD-VIEIRA, B. *Curvularia lunata* var. aerea causando queima foliar em *Zoysia japonica*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 438, 2005.

NEDJIMI, B. Effects of salinity on growth, membrane permeability and root hydraulic conductivity in three saltbush species. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.52, p.4-13, 2014.

OLIVER R.P.; IPCHO S.V.S. Arabidopsis pathology breathes new life into the necrotrophs-vs.-biotrophs classification of fungal pathogens. **Molecular Plant Pathology**, v.5, p. 347–352, 2004.

OZFIDAN, C. et al. Time course analysis of ABA and non-ionic osmotic stress-induced changes in water status, chlorophyll fluorescence and osmotic adjustment in *Arabidopsis thaliana* wild-type (Columbia) and ABA-deficient mutant (*aba2*). **Environmental and Experimental Botany**, v.86, p.44-51, 2013.

PARIDA A.K.; DAS A.B. Salt tolerance and salinity effect on plants: a review. **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, v. 60, p. 324–349, 2005.

PASCOALINI, V. I. A. S. **Eficiência fotossintética de manguezais na baía de Vitória, ES**. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

PASCHOLATI, S. F. Fisiologia do parasitismo: como patógenos atacam as plantas. In: AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A; (Eds)_ **Manual de Fitopatologia. Volume I: Principios e Conceitos**. São Paulo, SP. p. 543-591, 2011a.

PASCHOLATI, S. F. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A; (Eds)_ **Manual de Fitopatologia. Volume I: Principios e Conceitos**. São Paulo, SP. p. 593-635, 2011b.

PAVLOVIC, D. et al. Chlorophyll as a measure of plant health: Agroecological aspects. **Pesticidi i fitomedicina**, v. 29, n. 1, p. 21–34, 2014.

PIETRAGALLA, J.; PASK, A. Stomatal conductance. In:_____ **Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping**. CIMMYT, Mexico, p 58–62, 2012.

PINEDA M. et al. Tracking viral movement in plants by means of chlorophyll

fluorescence imaging. **Plant Physiol.**, v. 168, p. 2035-2040, 2011.

PRABHU, A.S.; FILLIPI, M.C.C.; RIBEIRO, A.S. Doenças e seu controle. In: SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2.ed. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA/CNPAP, 2006. p.561-590.

PSHIBYTKO, N. L., ZENEVICH, L. A.; KABASHNIKOVA, L. F. Changes in the photosynthetic apparatus during fusarium wilt of tomato. **Russian Journal Plant Physiology**, v. 53, p. 25-31, 2006.

RASOULNIA, A. et al. Effects of *Xanthomonas citri* subsp. *citri* Infection on Chlorophyll Pigment Content, Chlorophyll Fluorescence and Proteins Change in *Citrus aurantifolia*. **J. Agr. Sci. Tech.** v. 20, p. 571-582, 2018.

ROBERTS, A.M.; WALTERS D.R. Photosynthesis in discrete regions of leek leaves infected with rust. **New Phytologist**, v. 110, p. 371–376, 1988.

RODRIGUEZ-MORENO, L.; PINEDA, M.; SOUKUPOVA, J. Early detection of bean infection by *Pseudomonas syringae* in asymptomatic leaf areas using chlorophyll fluorescence imaging. **Photosynthesis Research**. v. 96, p. 27–35, 2008.

SCHOLES, J.D.; FARRAR, J.F. Increased rates of photosynthesis in localised regions of a barley leaf infected with brown rust. **New Phytologist**, v. 104, p. 601–612, 1986.

SCHOLES, J.D.; FARRAR, J.F. Development of symptoms of brown rust of barley in relation to the distribution of fungal mycelium, starch accumulation and localised changes in the concentration of chlorophyll. **New Phytologist**, v. 107, p. 103–117, 1987.

SCHREIBER, U. Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: an overview. In: PAPAGEORGIOU, C.G.; GOVINDJEE. Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. **Advances in Photosynthesis and Respiration**, v. 19. Springer, Dordrecht, p. 43-63, 2004.

SHU, S. et al. Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.63, p.209-216, 2013.

SILVA, M. S. B. DOS S. E et al. Sanidade de sementes de arroz, biocontrole, caracterização e transmissão de *Curvularia lunata* em semente-plântula de arroz. **Revista Ceres**, v. 61, n. 4, p. 511–517, 2014.

SIVANESAN, A. Graminicolous species of Bipolaris, Curvularia, Drechslera, Exserohilum and their teleomorphs. **Mycological Papers**, v.158,p.1-261, 1987.

SO, M.L.; THROWER, L.B. The host-parasite relationship between *Vigna sesquipedalis* and *Uromyces appendiculatus*. I. Development of parasitic colonies and the pattern of photosynthesis. **Phytopathologische Zeitschrift**, v. 85, p. 320–332, 1976.

SOUSA, J.P.S. **Avaliação ecofisiológica e metabólica de quatro variedades de cana-de-açúcar**. 2017. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2013.

SPOUSTOVÁ, P. et al. Chlorophyll *a* fluorescence as a tool for a study of the *Potato virus Y* effects on photosynthesis of nontransgenic and transgenic *Pssu-ipt* tobacco. v. 51, p.191-201, 2013.

STADNIK, M. J.; RIVERA, M. C. **Oídios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2001. 484 p.

STEWART, J.B. Modelling surface conductance of pine forests. **Agric. For. Meteorol.**, v. 43,p. 19-35, 1988.

STIRBET, A.; GOVINDJEE. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll *a* fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 104, n. 1, p. 236– 257, 2011.

STRASSER, R. J.; SRIVASTA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. The fluorescence transiente as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY, P. (Ed.) **Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation**. Taylor and Francis, London, 2000. p. 443-480.

TANG, X.; ROLEE, S. A.; SCHOLE, S. D. The effect of *Albugo Candida* (white blister

rust) on the photosynthetic and carbohydrate metabolism of leaves of *Arabidopsis thaliana*. **Plant, Cell and Environment**, v. 19, p. 967-975, 1996.

TAO Y. et al. Quantitative nature of Arabidopsis responses during compatible and incompatible interactions with the bacterial pathogen *Pseudomonas syringae*. **The Plant Cell**, v. 15, p. 317–330, 2003.

TERASHIMA I. et al. Irradiance and phenotype: comparative eco-development of sun and shade leaves in relation to photosynthetic CO₂ diffusion. **Journal Experimental Botany**, v.57, p. 343–354, 2006.

THACH, L. B. et al. The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress responses. **Photosynthesis Research**, v. 94, n. 2-3, p. 423-436, 2007.

TROVÃO, D.M.B.M. et al. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.11, p.307-311, 2007.

TURNER, N.C.; GRANITI, A. Fusicoccin: a Fungal Toxin that opens Stomata. **Nature**, v. 223, p. 1070-1071, 1969.

UTUMI, M. M.; LOBO, V. L. DA S. **Manchas de grãos no arroz em Goiás, Mato Grosso e Rondônia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa arroz e feijão. 2008. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/?q=node/100194>>. Acesso em: 08 jan. 2017.

VAZ-DE-MELO, A. et al. Reação de híbridos de milho à *Curvularia* ssp, sob dois níveis de adubação com nitrogênio, no sul do Tocantins. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 2, p. 149-154, 2010.

WALTERS, D. R. **Physiological Responses of Plants to Attack**. Oxford, 2015. 117p.

WILMER, C.; FRICKER, M. **Stomata**. 2ed. London: Chapman and Hall 1996. 135p.

WOLF, A. et al. Inverse estimation of V_cmax, leaf area index, and the Ball-Berry parameter from carbon and energy fluxes. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, n. D8, p. D08S08, 2006.

YU, Q.; RENGEL, Z. Drought and salinity differentially influence activities of superoxide dismutase in narrow-leafed lupines. **Plant Science**, v. 142, p. 1-11, 1999.

ZHANG, W.; HE, S. Y.; ASSMANN, S. M. The plant innate immunity response in stomatal guard cells invokes G-protein dependent ion channel regulation. **Plant Journal**, v. 56, n.6, p. 984-996, 2008.

CAPÍTULO 2

EFEITO DA MANCHA FOLIAR NA FISIOLOGIA DE VARIEDADES DE ARROZ

Efeito da mancha foliar na fisiologia de variedades de arroz

Carlos Wendell Soares Dias^{1*}, Fabrício de Oliveira Reis¹, Antônia Alice Costa Rodrigues¹, Luís Manuel Hernández-García¹.

RESUMO

A mancha foliar causada por *Curvularia lunata*, até o momento, só foi relatada no Brasil e na Índia, e tem se tornado comum nos arrozais do Estado do Maranhão, o que justifica avaliar a fenologia e fisiologia do arroz atacado por essa doença. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se um esquema fatorial 2x6, duas variedades (BRS Primavera e IRGA 424), e seis tratamentos, duas testemunhas, uma absoluta (sem adubação – T0), uma relativa (com adubação – T1), e os tratamentos consistiram em plantas das duas variedades com uma inoculação, duas inoculações, três inoculações e quatro inoculações (T2, T3, T4 e T5). A variedade BRS Primavera se sobressaiu com maior quantidade de lesões em relação a IRGA 424, embora a severidade foliar tenha sido maior na variedade IRGA 424. O Tratamento T5 apresentou diferença significativa dos demais em relação a todos os parâmetros fitossanitários avaliados. Com a análise de regressão, observou-se uma correlação linear positiva altamente significativa ($p < 0.001$) nas duas variedades estudadas entre a severidade da mancha foliar e da mancha nos grãos. Alterações na fisiologia vegetal puderam ser observadas na análise de regressão entre a condutância estomática e o Índice de Ball-Berry que demonstrou uma correlação linear positiva muito significativa ($p < 0,01$) na variedade Primavera e correlação exponencial positiva altamente significativa ($p < 0,001$) na IRGA 424. A assimilação fotossintética de CO₂ foi maior nos tratamentos T4 e T5 da variedade IRGA 424 e superior entre variedades nos mesmos tratamentos.

¹ Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, São Luís, Maranhão, Brasil. wendellsdias@hotmail.com; fareoli@gmail.com; aacrodriues@outlook.com; hglm72@gmail.com.

* Autor para correspondência: wendellsdias@hotmail.com

Palavras-chave: *Oryza sativa* L; *Curvularia lunata*; Fisiologia vegetal.

ABSTRACT

Leaf spot effects and effect on the physiology of rice varieties

The leaf spot caused by *Curvularia lunata* has so far only been reported in Brazil and India and has become common in the rice fields of the State of Maranhão, which justifies the evaluation of the phenology and physiology of the rice attacked by this disease. The experiment was conducted in a greenhouse, using a 2x6 factorial scheme, two varieties (BRS Primavera and IRGA 424), and six treatments, two controls, one absolute (T0), one relative (with fertilization - T1), and treatments consisted of plants of both varieties with one inoculation, two inoculations, three inoculations and four inoculations (T2, T3, T4 and T5). The BRS Primavera variety showed a greater number of lesions compared to IRGA 424, although the leaf severity was higher in the IRGA 424 variety. The T5 Treatment showed a significant difference of the others in relation to all phytosanitary parameters evaluated. With regression analysis, a highly significant positive linear correlation ($p < 0.001$) was observed in the two varieties studied between the severity of leaf spot and spot on the grain caused by *C. lunata*. Changes in plant physiology could be observed in the regression analysis between stomatal conductance and the Ball-Berry Index showed a very significant positive linear correlation ($p < 0.01$) in the Primavera variety and a highly significant positive exponential correlation ($p < 0.001$). The photosynthetic assimilation of CO_2 was higher in the treatments T4 and T5 of the variety IRGA 424 and superior between varieties in the same treatments.

Keywords: *Oryza sativa* L; *Curvularia lunata*; Plant Physiology.

INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) concorre com o trigo como a cultura alimentícia mais importante do mundo. É considerada a espécie de maior potencial de aumento da

produção, sendo cultivado em mais de 100 países, principalmente em países em desenvolvimento, onde o arroz mantém uma estreita relação com a segurança alimentar (IRRI, 2013).

O Maranhão é o maior produtor de arroz da região nordeste e o 5º do Brasil, no entanto, em produtividade está em 22º, produzindo por hectare 20 % do que produz o primeiro colocado (IBGE, 2018). A baixa produtividade se dá por diversos motivos, dentre eles o fato de grande parte da produção ser realizada por agricultores familiares em sistema de terras altas, caracterizado pela baixa utilização de insumos agrícolas. Contribui ainda, a inexistência de variedades adaptadas a esse tipo de cultivo com elevada produtividade, e a ocorrência de pragas e doenças.

A literatura relata mais de 80 doenças de arroz em diferentes países, causadas pelos mais diversos agentes etiológicos. No Brasil, ainda não se tem um número exato de doenças, por conta, principalmente, daquelas que ocorrem em menor escala e sua ocorrência ainda não foi relatada ou validada por meio de estudos científicos (Ghini & Hamada, 2008). As doenças mais importantes para a cultura do arroz são a brusone (*Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc), mancha parda (*Drechslera oryzae* (Breda de Hann) Subr.&Jain (sin. *Bipolaris oryzae*), mancha estreita (*Cercospora janseana* Miyek), escaldadura (*Microdochium oryzae*), queima das bainhas (*Rhizoctonia oryzae* Riker & Gooch) e manchas dos grãos (*Phoma* sp., *Drechslera oryzae*, *Curvularia lunata*, *Nigrospora oryzae*, *Alternaria* sp., *Fusarium* sp.) (Dallagnol, et al., 2006).

Os fitopatógenos, especialmente foliares, ao estabelecerem relação com plantas hospedeiras tem o efeito mais comum na redução da fotossíntese, seja pela diminuição da área foliar ou pela geração de substâncias que promovem a inibição desse processo (BEDENDO, 1997). A alteração na fisiologia de plantas sob ataque de patógenos possui

processos complexos e muitas vezes pouco elucidados pela ciência, mas geralmente culminam da mesma forma: diminuição da produtividade das plantas parasitadas.

O fungo *Curvularia lunata* é bastante conhecido na rizicultura por causar a mancha de grãos em associação a outros fungos, sendo uma das principais doenças de final de ciclo em arroz de terras altas (Silva-Lobo *et al.*, 2011). Esse patógeno, apesar de ser considerado secundário, teve seu processo infeccioso estendido para a região foliar, e tem sido constante a ocorrência nos arrozais de terras altas do Maranhão. No primeiro relato, Silva *et al.* (2014) observaram que além das manchas foliares, o patógeno permanece na planta durante todo o ciclo, sendo transmitido de semente à semente. Nascimento *et al.* (2018) confirmou a presença desse patógeno como causador de manchas marrons, sem padrão de forma definida nas folhas da cultivar BRS Primavera, em área de produção de arroz de Terras Altas no Maranhão. Relato de *C. lunata* associada a manchas foliares em plantas de arroz também foi verificado em diversos distritos da Índia (Majeed *et al.*, 2016; Kamaluddeen & Abhilasha, 2013).

A ação do fungo *C. lunata* nas folhas do arroz ainda é pouco estudada, onde se desconhece a severidade da doença, a influência na fisiologia da planta e sua relação com a mancha dos grãos. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar parâmetros de incidência, severidade, fisiológicos e a relação entre a mancha foliar e a mancha de grãos de arroz submetidos a diferentes números de inoculações.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fitopatologia e em Casa de Vegetação, da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Campus Paulo VI, São Luís, coordenadas 2° 59' 19" S, 44° 21' 20" W, no período de abril a outubro de 2017. O isolado de *C. lunata*, oriundo de arroz, sob registro MGSS-161, foi

obtido da Micoteca “Prof. Gilson Soares da Silva”/UEMA, conservado sob método de óleo mineral.

Condução do experimento

Foram utilizadas sementes de variedade BRS Primavera e variedade IRGA 424. As sementes foram semeadas em solo autoclavado, em vasos de 3 kg. O solo utilizado apresentava textura classificada como areia-franca, a adubação foi feita conforme recomendação para a cultura (25 kg/ha de ureia, 195kg/ha de superfosfato triplo e 67kg/ha de kcl).

O experimento foi instalado seguindo um delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial (2x6), sendo duas variedades de arroz, seis tratamentos (T0= sem inoculação - sem adubação; T1= sem inoculação; T2= 1 inoculação; T3= 2 inoculações; T4 = 3 inoculações; T5 = 4 inoculações) com cinco repetições.

As plantas foram mantidas em casa de vegetação sob irrigação automatizada com temperatura média de 28,8°C e umidade relativa do ar média de 68 %. As condições ambientais (temperatura do ar e umidade relativa do ar) foram monitoradas por meio de *datalogger* e se mostraram controladas, com pouca variação em relação às condições externas, principalmente quando observadas as amplitudes desses parâmetros ambientais.

Preparo do inóculo e inoculação

O fungo foi repicado em meio V8 e mantido em BOD por 14 dias sob temperatura de 28,5°C, sendo esse processo realizado semanalmente para que não houvesse diferença de idade dos inóculos utilizados entre períodos de inoculações. Para a preparação da suspensão foram acrescentados 10 ml de água destilada em cada placa com meio de cultura contendo crescimento de *C. lunata*, efetuando-se raspagem e filtragem para a remoção das estruturas fúngicas. Realizou-se a contagem de conídios com auxílio de uma

câmara de Neubauer e, em seguida, a suspensão foi ajustada para 1×10^5 conídios mL^{-1} e transferida para pulverizador manual.

A inoculação foi feita a cada sete dias de acordo com cada tratamento, por meio da pulverização da suspensão de conídios até o ponto de escorrimento. Os vasos foram submetidos a câmara úmida por um período de 48 horas para criar um ambiente saturado e propício ao desenvolvimento do patógeno. Posteriormente as plantas foram removidas da câmara úmida e uma semana após a inoculação, foram feitas outras inoculações, conforme tratamentos.

Avaliação de manchas foliares em folhas de arroz

As manchas foliares causadas por *C. lunata* foram avaliadas aos 28 dias, ao fim dos tratamentos, sendo cada inoculação realizada a cada sete dias. Foram avaliados o número de folhas doentes/sadias, número de lesões, tamanho das lesões, área foliar total e severidade. Por não haver escala de nota para essa doença nas folhas de arroz utilizou-se uma régua milimetrada para a medição da área das lesões e da área das folhas, sendo que a área foliar (AF) final de cada uma das folhas foi calculada com base no comprimento (C) e na maior largura (L) através da fórmula $AF=C*L*0,74$ (Tivet *et al.*, 2001).

Após o estabelecimento da doença, o isolamento dos fungos associados às manchas foi feito por meio da transferência tecidos lesionados para o meio V8. Para cada isolado foi feita microcultura com discos de meio V8 acrescidos da estrutura do fitopatógeno, montados com lâmina. A avaliação das microculturas foi feita sete dias depois em microscópio óptico, através da observação das estruturas do fungo, para a confirmação da presença de *C. lunata* nas lesões foliares.

Ao final do ciclo das plantas e das medições das folhas, foi avaliada a severidade da mancha dos grãos conforme escala de notas de Silva-Lobo *et al.* (2011), onde: 0 = sem

manchas; 1 = 1 a 25% da superfície do grão manchada; 2 = 26 a 50% da superfície do grão manchada; 3 = 26 a 50% da superfície do grão manchada; 4 = 51 a 75% da superfície do grão manchada. E o índice de doença foi calculado pela fórmula $ID = \sum (\text{valor de classe} \times \text{frequência de classe}) / \text{número total de grãos}$.

Determinação das trocas gasosas

As trocas gasosas foram determinadas pela assimilação fotossintética de CO_2 (A), a condutância estomática (g_s), a transpiração instantânea (E), o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$), a relação da concentração interna de CO_2 no mesófilo foliar pela concentração externa de CO_2 do ar (C_i/C_a) e o Índice de Ball-Berry (AHs/Cs). Para essa avaliação utilizou-se o Sistema Portátil de Medição das Trocas Gasosas (IRGA), modelo LI-6400[®], LI-COR, Lincoln, NE, USA, e um sistema de luz artificial acoplado ao IRGA (Infrared Gas Analyser,) com leds azuis e vermelhos e intensidade de $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Essa avaliação foi feita pela manhã (entre 7:00h e 9:00h).

Determinação da eficiência fotoquímica

A fluorescência da clorofila *a* foi medida em uma folha localizada no terço médio da planta, no período da manhã (entre 7:00h e 9:00h), com o auxílio do fluorímetro Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser - Hansatech, Norfolk, UK). Foram utilizadas pinças fornecidas pelo fabricante para a adaptação do tecido foliar ao escuro, fixadas por 30 minutos antes da avaliação, para que os centros de reação adquirissem a condição de abertos (Q_a oxidada) e posteriormente foram determinados os parâmetros fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e rendimento quântico máximo potencial do fotossistema II (F_v/F_m).

De posse dos valores de F_v e F_m , foi possível obter a razão F_v/F_m (rendimento quântico máximo do fotossistema II). A indução da fluorescência ocorreu após a adaptação da parte da folha ao escuro, por meio de um único pulso saturante de luz de 1

segundo ($3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que foi aplicado com o auxílio de três diodos emissores de luz (650 nm). O índice fotossintético (PI) foi obtido com emprego do fluorímetro, que integra três outros parâmetros independentes sendo: a densidade dos centros de reação ativos (RC) por unidade de moléculas de clorofilas no sistema antena do FS II (RC/ABS); a eficiência do elétron que reduziu Quinona A e entrou na cadeia transportadora de elétrons (ET/ (TR-ET)); a relação entre a capacidade de redução de Qa pelo fóton absorvido, e a energia dissipada na forma de calor (Fv/F₀).

Estimativa do teor de clorofila

A estimativa do teor de clorofilas foi avaliada por meio do Medidor Portátil de Clorofila, modelo SPAD-502® “Soil Plant Analyser Development” (Minolta, Japão), sendo realizadas nas mesmas folhas utilizadas para as medições da emissão da fluorescência (folhas no terço médio da planta). Em cada folha, foram determinadas cinco leituras, e destas obtida a média. As determinações foram realizadas entre 7:00h e 9:00h da manhã.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise exploratória e à análise de variância (ANOVA) e as médias obtidas comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, após determinação da normalidade dos dados e homogeneidade de variância das variáveis. Os dados que não se ajustaram às análises paramétricas foram transformados mediante funções específicas (logaritmo natural, raiz quadrada, seno). Testes de regressão com ajuste linear e exponencial foram feitas entre algumas variáveis de interesse (Severidade em grãos, severidade da mancha foliar e índice de Ball-Berry).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Severidade de *C. lunata* em plantas de arroz

O aumento da severidade da mancha foliar (e mancha de grãos) foi condicionada pela maior quantidade de inóculo de *C. lunata*. O tratamento que recebeu maior quantidade de inoculações (T5) tanto na variedade BRS Primavera quanto na variedade IRGA 424 apresentou maior área lesionada. Não houve diferença significativa ($p < 0.05$) entre os tratamentos que receberam um, dois e três inoculações (T2, T3 e T4), assim como a comparação entre variedades, o que demonstra que a expansão do patógeno em área é igual nas duas variedades estudadas e que o tratamento T5 (quatro inoculações) provavelmente sofreu efeito cumulativo do número de inoculações, e por isso foi significativamente superior aos demais (figura 1). Berger *et al.* (1997) ressaltam a importância do uso da área da lesão para seleção de cultivares resistentes, sendo útil para definir a agressividade de isolados ou raças de patógenos em diversos patossistemas.

O comportamento da média do número de folhas lesionadas foi similar à área total lesionada não havendo diferença estatística entre as variedades estudadas. Comparando-se a média entre tratamentos, o tratamento que levou maior número de inoculações (tratamento T5) apresentou maior número de folhas lesionadas. Não houve diferença estatística entre os tratamentos T2, T3 e T4 (uma, duas e três inoculações, respectivamente) para essa variável. Não foram identificadas lesões nos tratamentos controle.

A variedade BRS Primavera (V1), embora tenha área de lesões e número de folhas lesionadas iguais estatisticamente à variedade IRGA 424 (V2), apresentou número maior de lesões totais (tabela 1). As lesões se apresentaram em tamanhos muito pequenos, o que não representou aumento na área total lesionada para que houvesse diferença significativa. Em relação aos tratamentos, observou-se que as plantas que receberam

maior número de inoculações (T5) tiveram maior número de lesões. Os tratamentos com duas e três inoculações (T3 e T4) não diferiram significativamente entre si, mas diferiram dos demais tratamentos. Silva-Lobo *et al.* (2014) ao avaliarem o número de lesões causadas por *Bipolaris oryzae* em folhas bandeiras de arroz observou que quanto maior o número de lesões, menor o tamanho das mesmas nos 12 genótipos estudados. Mesmo em lesões isoladas delimitadas por tecido foliar sadio apresentavam variabilidade de tamanho.

Quanto à severidade, os tratamentos T2, T3 e T4 não apresentaram diferença significativa, evidenciando que a quantidade de inóculo não acrescenta danos em termos de severidade. O tratamento T5 (quatro inoculações) apresentou maior severidade, diferindo estatisticamente dos demais. A variedade IRGA 424 apresentou maior severidade em relação à variedade BRS Primavera.

Segundo Kranz (2003), a variação genotípica entre cultivares pode influenciar no grau de resistência a doenças. Os níveis de resistência estão relacionados à interação entre patógeno e hospedeiro, em função de variações morfológicas, anatômicas, bioquímicas e fisiológicas. Tratando-se de severidade, mecanismos de resistência podem atuar na taxa de crescimento da doença, o que faz com que o crescimento da epidemia seja mais lento ou mais rápido (Vanderplank, 1984). A diferença existente entre as variedades pode ser explicada pela presença de um ou mais mecanismos de resistência na variedade IRGA 424.

Não houve significância no número de grãos quanto aos tratamentos e variedades estudadas. Esse resultado coincide com os encontrados por Prabhu *et al.* (1980) que ao avaliar seis cultivares de arroz sob condições propícias de desenvolvimento de *Bipolaris oryzae*, observou que a mancha parda do arroz não contribuiu para a redução dos componentes de produção, embora tenham afetado o peso dos grãos.

Ao avaliar a severidade da mancha de grãos, observou-se haver diferença significativa entre variedades nos tratamentos com uma e duas inoculações (T2 e T3), tendo a variedade IRGA 424 maior severidade de mancha dos grãos. Houve diferença entre tratamentos em ambas as variedades, onde na variedade BRS Primavera, o tratamento com maior número de inoculações (T5) diferiu apenas do tratamento com uma inoculação e dos tratamentos controle (T0, T1 e T2). Já a variedade IRGA 424, o tratamento com maior número de inoculações (T5) foi igual estatisticamente dos tratamentos com duas e três inoculações (T3 e T4), embora o tratamento com duas inoculações tenha tido igual severidade dos tratamentos T3 e T4. Diante da permanência do patógeno nas folhas e da severidade apresentada nos grãos das plantas que receberam apenas uma inoculação (T2) e a igualdade estatística que esse tratamento obteve aos que receberam maior número de inoculações, é possível afirmar que o patógeno *C. lunata* possui um longo período infeccioso, fator que é considerado uma forma de sobrevivência do patógeno, mesmo com baixa intensidade da esporulação (Bergamin Filho & Amorim, 1996).

Com a análise de regressão (figura 3) observou-se uma correlação linear positiva altamente significativa ($p < 0.001$) nas duas variedades estudadas entre a severidade da mancha foliar e da mancha nos grãos causadas por *C. lunata*. Aguiar *et al.* (2011) citam a existência de indicativos da ocorrência de mancha parda (*B.oryzae*) em folhas bandeira de arroz favorecendo a ocorrência de manchas de grãos de arroz associadas a diversos patógenos, entre eles o fungo *C. lunata*. Da mesma forma, Prabhu *et al.* (1980) identificaram o efeito significativo da mancha parda (*B.oryzae*) na severidade dos grãos assim como no peso, tendo analisado demais folhas sintomáticas, diferentemente de Aguiar *et al.* (2011).

Eficiência fotoquímica

A análise de variância do rendimento quântico máximo no FSII (Fv/Fm) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos nem entre as variedades, com exceção do tratamento T0 (sem inoculação e sem adubação), onde a variedade Primavera apresentou maior valor de Fv/Fm (0,81) do que a variedade IRGA 424 (0,76).

Trovão *et al.* (2007) comentam que em plantas saudáveis e não estressadas a razão Fv/Fm tem valor aproximadamente de $0,80 \pm 0,05$, correspondendo a máxima eficiência no uso de energia no processo fotoquímico, já valores inferiores a 0,75 revelam que o aparato fotossintético da planta foi comprometido, ou seja, a planta encontra-se em condição de estresse. Araújo *et al.* (2004) acentuam ainda que esses valores inferiores, indicam um declínio no rendimento quântico do fotossistema II e consequente redução do potencial fotossintético da planta, que nessas condições as folhas apresentam fotoinibição.

Incrementos nos valores de Fv/Fm indicam aumento na eficiência de conversão fotossintética do FSII (Shu *et al.*, 2013). Os valores de Fv/Fm apresentados na literatura (Li *et al.*, 2013; Shu *et al.*, 2013) para plantas sob condições sem estresse correspondem àqueles encontrados neste estudo (0,76 e 0,81). Esses valores coincidem ainda com os dados obtidos por Puteh *et al.* (2013) quando comparou quatro genótipos de arroz em dois regimes hídricos (média de plantas sem estresse de 0,78).

Fv/F₀, razão indicadora do rendimento quântico máximo efetivo da fotossíntese, apresentou-se maior na variedade BRS Primavera, não havendo diferença estatística entre tratamentos dessa variedade. Já a variedade IRGA 424 apresentou diferença entre a testemunha sem adubação e a com adubação (T0 e T1 respectivamente). Quando comparadas as variedades, houve diferença na testemunha absoluta (T0, sem inoculação e sem adubação), onde os valores da variedade IRGA 424 foram inferiores

estatisticamente, o que acentua a sensibilidade maior desta variedade à falta de adubação. Quando comparados os tratamentos dessa mesma variedade observou-se uma oscilação maior de valores, embora não tenham sido identificadas diferenças estatísticas entre a maioria dos tratamentos. Mesmo não havendo na literatura estudos que relacionem o rendimento quântico máximo efetivo da fotossíntese com a fisiologia de plantas doentes, a razão F_v/F_0 também tem sido recomendada para detectar mudanças induzidas pelos estresses, por conta da maior sensibilidade em relação a F_v/F_m (Santos *et al.* 2014).

Segundo Borkowska (2002), a diminuição de F_v/F_0 em plantas sob estresse poderia estar associada a um bloqueio do transporte de elétrons da fotossíntese na parte doadora do FSII. Os valores encontrados neste experimento diferem dos encontrados por Puteh *et al.* (2013), o que desconsidera a ocorrência de estresse biótico causados por *C. lunata*.

A variedade BRS Primavera não apresentou diferença significativa entre os tratamentos quando avaliado o Índice fotossintético. Já a variedade IRGA 424 apresentou diferença entre os tratamentos T0 (sem inoculação e sem adubação) e T1 (sem inoculação e com adubação), além de pequenas variações entre os demais tratamentos, em similaridade com a relação F_v/F_0 . Ainda, observou-se diferença estatística entre as variedades nos tratamentos T0, T1 e T5 (maior número de inoculações), sendo a variedade IRGA 424 com menor valor de PI, estatisticamente.

Enquanto o F_v/F_m expressa a eficiência quântica no FSII o PI expressa a eficiência tanto no FSI quanto no FSII. Não foram observadas variações na relação F_v/F_m , logo as diferenças encontradas na análise do PI implicam dizer que as alterações na eficiência quântica se deram em outra variável que compõe esse índice. Ainda, ao avaliar a densidade de centro de reação por molécula de clorofila (RC/ABS), observa-se um similar comportamento dos tratamentos em relação ao PI. Para Gonçalves & Santos

Jr (2005), reduções nos valores de PI podem indicar menor eficiência na transferência de energia no FSII, em detrimento da densidade de centros de reação.

Estimativa do teor de clorofila

Não houve diferença significativa de teor de clorofila entre os tratamentos. Quando comparadas a variedades, observou-se que há significativa diferença entre as variedades BRS Primavera (46,65a) e IRGA 424 (31,80b) em todos os tratamentos no teor de clorofila estimado. Os mesmos resultados foram encontrados por Gonçalves *et al.* (2012), quando avaliaram o teor de clorofila de duas variedades de arroz em diferentes graus de severidade de brusone, onde a variedade BRS Primavera (42,64a) se sobressaiu em relação a Bonança (36,42b). Essas diferenças do teor de clorofila entre espécies é comumente observado também entre variedades ou genótipos, como foram os casos relatados acima.

Diferentemente, Scholes & Farrar (1987) observaram um declínio constante na clorofila total em folhas de cevada infectadas com ferrugem marrom, enquanto o declínio na concentração de clorofila em folhas de *Arabidopsis thaliana* infectadas com *Albugo candida* se correlacionou bem com o declínio nos valores de assimilação fotossintética de CO₂ em folhas infectadas (Tang *et al.*, 1996). A clorose, é uma resposta bastante comum em interações patógeno-planta em que a geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), que ocasionam alterações proteicas (Garg & Manchanda, 2009) e de pigmentos como as clorofilas (Pshibytko *et al.*, 2006) e os carotenoides (Kim *et al.*, 2004).

Índice de Ball-Berry

Na avaliação do índice de Ball-Berry foram encontradas diferenças significativas entre variedades nos tratamentos que tiveram maior número de inoculações (T4 e T5) e entre tratamentos apenas na variedade IRGA 424, onde os tratamentos com duas, três e quatro inoculações (T3, T4 e T5) apresentaram maiores valores. A análise de regressão

entre a condutância estomática e o Índice de Ball-Berry demonstrou uma correlação linear positiva muito significativa ($p < 0,01$) na variedade BRS Primavera, assim como encontrado por Baeza *et al.* (2011). A variedade IRGA 424 apresentou uma correlação exponencial positiva altamente significativa ($p < 0,001$) nessa mesma análise (figura 4), demonstrando maior sensibilidade dos estômatos nas condições de infecção a que foram submetidas.

Esse resultado diverge dos encontrados por Baeza *et al.* (2011) que ao analisar diferentes variedades de *Vitis vinifera* L. em dois regimes hídricos puderam constatar que as variações na sensibilidade estomática eram mais importantes por conta do regime hídrico do que as possíveis diferenças existentes entre as variedades. Difere ainda das correlações realizadas por Ball *et al.* (1987), cujo modelo permite prever a condutância estomática em amplas faixas de condições ambientais, levando em consideração a superfície foliar (Buckley & Mott, 2013).

O índice de Ball-Berry deriva de um modelo empírico de condutância estomática que pode ser expresso como a sensibilidade da condutância estomática à assimilação (fotossíntese) e concentração de CO₂ e umidade relativa na superfície da folha (Ball, 1988; Ball & Berry, 1991). De acordo com os resultados encontrados nesse estudo, há razões para supor que a inoculação do patógeno *C. lunata* em plantas da variedade de arroz IRGA 424 pode interferir neste índice, pela alteração do ambiente na superfície foliar, e conseqüentemente modificar o desempenho dos estômatos de forma positiva.

Assimilação fotossintética de CO₂

As médias dos tratamentos na variedade IRGA 424 com três e quatro inoculações do patógeno, tratamentos de maior severidade T4 e T5, tiveram um aumento da assimilação fotossintética de CO₂ superior aos demais tratamentos (2,14 e 2,46 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente) e superior ainda na comparação entre variedades nos mesmos

tratamentos (Figura 5). Não houveram diferenças significativas entre os tratamentos da variedade BRS Primavera.

Redução na taxa fotossintética e na condutância estomática são especialmente relatadas sob condições de estresse por patógenos (Tang *et al.*, 1996; Sadras *et al.*, 2000; El Omari *et al.*, 2001; Stadinik & Rivera, 2001; Pshibytko *et al.*, 2006). De acordo com Tang *et al.* (1996), a redução da taxa fotossintética pode estar relacionada à diminuição do conteúdo de clorofila e/ou da ribulose bifosfato, carboxilase/oxigenase (Rubisco), mas não apresenta efeito na condutância estomática. No entanto, casos do aumento da fotossíntese sem que haja aumento da condutância estomática, ou ainda alterações no teor de clorofila não foram encontrados na literatura.

Berger *et al.* (2004) avaliando plantas de tomateiro infectadas com *Botrytis cinerea* por meio de fluorescência de imagem, detectou-se um anel com taxas de fotossíntese mais elevadas em torno da área com fotossíntese diminuída no local da infecção. Chou *et al.* (2000) obteve os mesmos resultados quando estudava folhas de *Arabidopsis thaliana* infectadas com *A. candida*. Ainda não foi esclarecido se os mecanismos que promoveram essa estimulação da fotossíntese estão associados à estratégia de defesa da planta.

Gachon *et al.* (2006), em seus estudos com organismos fotossintetizantes comenta que as abordagens macroscópicas da interação patógeno-hospedeiro podem ser inadequadas para fornecer uma visão sobre o metabolismo do hospedeiro, uma vez que as células infectadas estão intercaladas entre não infectadas, e ainda por conta da dependência existente da reação do hospedeiro ao do estágio de desenvolvimento da infecção. Os mecanismos para o comportamento encontrado neste trabalho, onde evidenciou-se o aumento da fotossíntese nos organismos que apresentaram maior severidade da doença, precisam ser elucidados por pesquisas futuras.

CONCLUSÕES

A quantidade de inóculo está diretamente relacionada ao estabelecimento da mancha foliar causada por *C. lunata*.

Severidade da mancha foliar é maior na variedade IRGA 424.

A correlação entre a severidade da mancha nas folhas de arroz e a mancha de grãos é positiva.

A avaliação da mancha de grãos pode ser feita com base na severidade da mancha foliar através de inoculações com isolado específico de *C. lunata*.

As diferenças encontradas entre variedades podem orientar na escolha de material genético promissor para a resistência à mancha foliar causada por *C. lunata*.

A variedade IRGA 424 tem sua sensibilidade estomática aumentada em função da severidade da mancha foliar causada por *C. Lunata*.

Há a necessidade de se elucidar os mecanismos associados ao aumento da fotossíntese e sensibilidade estomática de plantas de arroz infectadas por *C. lunata*.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Maranhão e Programa de Pós-graduação em Agroecologia pela disponibilização de recursos materiais e humanos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

Aguiar JT et al. (2011) Relação entre a mancha parda na folha bandeira e a mancha de grão em genótipos de arroz. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO. Santa Maria. Anais, UFSM. p. 69-72.

Araújo RA et al. (2004) Características Biométricas, índice SPAD-502 e emissão de fluorescência em porta enxertos de citros. Revista Ceres, 51:189-199

Ball JT (1988) An analysis of stomatal conductance. Tese de doutorado. Stanford University, California, 89p.

Ball JT & Berry JA (1991) An analysis and concise description of stomatal responses to multiple environmental factors. *Planta*, in press.

Ball JT, Woodrow IE & Berry JA (1987) A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. In: Biggens J. (ed) Progress in photosynthesis research. Proceedings of the VII International Photosynthesis Congress. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers. p.221-224.

Baeza, P et al. (2011) Agronomic performance of graciano, petit verdot and tempranillo grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.) under two water. In: 17^o GiESCO Symposium proceedings, Asti-Alban. p. 389–392.

Bergamin Filho A & Amorim L (1996) Doenças de Plantas Tropicais: Epidemiologia e Controle Econômico. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 289p.

Bedendo, IP (1997) Doença do arroz. In: Kimati, H et al. Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas. 3 ed. São Paulo, Ceres. 85-99.

Berger RD, Bergamin Filho A & Amorim L (1997) Lesion expansion as an epidemic component. *Phytopathology*, 87:1005-1013.

Berger, S et al. (2004) Complex Regulation of Gene Expression, Photosynthesis and Sugar Levels by Pathogen Infection in Tomato. *Physiol Plantarum*, 122:419-428.

Borkowska B (2002) Growth and photosynthetic activity of micropropagated strawberry plants inoculated with endomycorrhizal fungi (AMF) and growing under drought stress. *Acta Physiol Plant*, 24:365-370.

Buckley TN & Mott KA (2013) Modelling stomatal conductance in response to environmental factors. *Plant, Cell and Environment*, 36:1691-1699.

Chou, H-M. et al. (2000) Infection of *Arabidopsis thaliana* leaves with *Albugo candida* (White Blister Rust) Causes a Reprogramming of Host Metabolism. *Mol. Plant Pathol.*, 1:1-15.

Dallagnol, J I et al. (2006) Dano das doenças foliares na cultura do arroz irrigado e eficiência de controle dos fungicidas. *Revista Brasileira de Agrociência*, 12:313-318.

El Omari, B et al.(2001) Effect of fungal infection on leaf gas-exchange and chlorophyll fluorescence in *Quercus ilex*. *Annals of Science*, 58:165-174.

Gachon, C M M et al. (2006) Single-cell chlorophyll fluorescence kinetic microscopy of *Pylaiella littoralis* (Phaeophyceae) infected by *Chytridium polysiphoniae* (Chytridiomycota). *European Journal of Phycology*, 41:395–403.

Garg N & Manchanda G (2009) ROS generation in plants: Boon or bane? *PlantBiosystems*, Essex,143:1-96.

Gonçalves JFC & Santos Junior UMD (2005) Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17:307-313.

Gonçalves F J et al.(2012) Controle Químico da Brusone em Arroz de Terras Altas: Efeitos Nos Fungos Não Alvos do Filoplano. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 42:77–81.

Ghini R & Hamada E (2008) Mudanças Climáticas. Impactos sobre doenças de plantas no Brasil. 1 ed. São Paulo, Embrapa informação tecnológica. 331 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2018). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 06 de julho 2018.

IRRI - International Rice Research Institute (2013). Disponível em: < <http://irri.org/> >. Acessado em: 04 março de 2018.

Kim YH et al.(2004) Methanobactin, a copper-acquisition compound from methane-oxidizing bacteria. *Science*, 305:1612-1615.

Kamaluddeen SS & Abhilasha ALA (2013) New Blight Disease of Rice Caused by *Curvularia lunata* from Uttar Pradesh. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 3:13-16.

- Kranz J (2003) Comparative Epidemiology of plant Diseases. Berlin, Heidelberg, New-York. 211p.
- Li GL et al. (2013) Response of Chlorophyll Fluorescence Parameters to Drought Stress in Sugar Beet Seedlings. Russ J. Plant Physiol., 60:337-342.
- Majeed RA et al.(2016) First report of *Curvularia lunata* causing brown leaf spots of rice in Punjab, Pakistan. Plant Disease,100:219–219.
- Nascimento IO et al. (2018). Silicon fertilization and seed microbiolization on disease severity and agronomic performance of upland rice. Revista Caatinga 31:126-134.
- Nascimento IO (2017) Manejo ecológico de doenças em arroz (*Oryza sativa* L.) de terras altas. Tese de Doutorado.Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 135p.
- Prabhu AS, Lopes A de M & Zimmermann FJP (1980) Infecção da folha e do grão de arroz por *Helminthosporium oryzae* e seus efeitos sobre os componentes de produção. Pesquisa Agropecuária Brasileira,15:183-189.
- Pshibytko NL,Zenevich LA& Kabashnikova LF (2006) Changes in the photosynthetic apparatus during Fusarium wilt of tomato. Russian Journal Plant Physiology, 53:25-31.
- Puteh AB et al. (2013) Chlorophyll fluorescence parameters of cultivated (*Oryza sativa* L. ssp. indica) and weedy rice (*Oryza sativa* L. var. nivara) genotypes under water stress. Australian Journal of Crop Science, 9:1277-1283.
- Sadras VO et al.(2000) Effect of *Verticillium dahliae* on Photosynthesis, Leaf Expansion and Senescence of Field-grown Sunflower. Annual Botanic, 86:1007-1015.
- Santos LM de J, Silva EC & Silva Junior CD da (2014) Análise preliminar das trocas gasosas, fluorescência da clorofila e potencial hídrico de plantas de juazeiro em uma região semi-árida de Sergipe, Brasil. Scientia Plena, 10:1-10.
- Scholes JD & Farrar JF (1987) Development of symptoms of brown rust of barley in relation to the distribution of fungal mycelium, starch accumulation and localised changes in the concentration of chlorophyll. New Phytologist,107:103–117.

Silva MSBDS et al. (2014) Sanidade de sementes de arroz, biocontrole, caracterização e transmissão de *Curvularia lunata* em semente-plântula de arroz. *Revista Ceres*,61:511-517.

Silva-Lobos VL et al. (2014) Critérios para avaliação da resistência à mancha parda e relação entre a mancha parda na folha bandeira e a mancha de grãos em genótipos de arroz. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão. 25 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 39).

Silva-Lobos VL et al. (2011) Influência da adubação nitrogenada, época de plantio e aerossomos sobre a severidade da mancha de grãos em arroz de terras altas. *Sum. Phytop.*, 37:110-115.

Shu S et al. (2013) Effects of exogenous spermine on chlorophyll fluorescence, antioxidant system and ultrastructure of chloroplasts in *Cucumis sativus* L. under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63:209-216.

Stadnik MJ & Rivera M C (2001) Oídios. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 484 p.

Tang X, Rolee SA & Scholes SD (1996) The effect of *Albugo Candida* (white blister rust) on the photosynthetic and carbohydrate metabolism of leaves of *Arabidopsis thaliana*. *Plant, Cell and Environment*, 19:967-975.

Tivet F et al. (2001) Leaf blade dimensions of rice (*Oryza sativa* L. and *Oryza sativa* glaberrima Steud) relationships between tillers and the main stem. *Annals of Botany*,88:507-511.

Trovão DMBM et al. (2007) Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 11:307-311.

Vanderplank JE (1984) *Disease Resistance in Plants*. 2 ed. New York: Academy press,194p.

Tratamentos		TA	TR	1 inoculação	2 inoculações	3 inoculações	4 inoculações
Área Lesionada	BRS Primavera	0±0bA	0±0bA	0.06±0.03bA	0.09±0.02bA	0.13±0.01bA	0.54±0.25aA
	IRGA 424	0±0bA	0±0bA	0.11±0.08bA	0.1±0.06bA	0.14±0.09bA	0.26±0.07aB
Número de lesões	BRS Primavera	0±0cA	0±0cA	1.6±0.89bA	1.8±0.84bA	2.4±0.89bA	3.8±0.45aA
	IRGA 424	0±0A	0±0A	2±0.71A	2.2±0.45A	2.2±1.1A	2.2±1.3B
Número de folhas lesionadas	BRS Primavera	0±0cA	0±0cA	1.6±1.34bcA	2.4±1.67bcA	4.4±1.82bA	9±3.74aA
	IRGA 424	0±0bA	0±0bA	2.6±1.52abA	3.2±1.1aA	2.8±1.92abA	3±1.58abB
Severidade na folha	BRS Primavera	0±0b	0±0b	0.03±0.02b	0.05±0.01b	0.07±0.02b	0.29±0.11a
	IRGA 424 ^{ns}	0±0	0±0	0.08±0.06	0.09±0.07	0.11±0.07	0.2±0.09
Severidade nos grãos	BRS Primavera	0±0cA	0±0cA	0.18±0.28bcB	0.98±0.42abB	1.21±0.37aA	1.75±0.56aA
	IRGA 424	0±0dA	0±0dA	1.18±0.44bcA	2.03±0.16abA	2.14±0.53abA	2.46±0.40aA
Número de grãos ^{ns}	BRS Primavera	96.00±16.87	94.60±16.20	86.40±26.24	68.20±24.15	66.20±20.62	63.40±23.33
	IRGA 424	114.20±19.94	112.80±22.38	92.60±21.21	101.80±22.24	96.40±5.18	91.20±10.26

Tabela 1. Análise de variância de parâmetros fitopatológicos em plantas de arroz com diferentes números de inoculações de *C. lunata* (TA - Testemunha Absoluta sem inoculação e sem adubação e TR - testemunha relativa sem inoculação e com adubação).

Tratamentos		TA	TR	1 inoculação	2 inoculações	3 inoculações	4 inoculações
A	BRS Primavera	0.66±0.44aA	1.01±0.02aA	0.73±0.17aA	1.14±0.39aA	1.29±0.04aB	1.07±0.50aB
	IRGA 424	1.01±0.64bA	1.18±0.25bA	0.62±0.14bA	1.43±0.69bA	3.42±0.14aA	3.89±0.27aA
Gs ^{ns}	BRS Primavera	0.24±0.03	0.21±0.07	0.37±0.21	0.46±0.03	0.27±0.01	0.26±0.18
	IRGA 424	0.27±0.12	0.32±0.03	0.26±0.04	0.36±0.03	0.18±0.01	0.30±0.12
Ci/Ca	BRS Primavera	0.93±0.03aA	0.90±0.02aA	0.94±0.02aA	0.94±0.01aA	0.91±0.01aA	0.90±0.02aA
	IRGA 424	0.92±0.01aA	0.92±0.01aA	0.94±0.00aA	0.92±0.02aA	0.72±0.03bB	0.78±0.08bB
SPAD	BRS Primavera	42.12±2.32aA	50.42±2.36aA	43.48±2.24aA	44.68±2.61aA	45.16±1.72aA	42.44±1.33aA
	IRGA 424	27.38±4.02aB	33.50±2.42aB	33.76±7.03aB	33.90±5.69aB	31.62±6.66aB	30.64±7.24aB
Fv/Fm	BRS Primavera	0.81±0.01aA	0.81±0.01aA	0.81±0.01aA	0.81±0.01aA	0.81±0.01aA	0.80±0.02aA
	IRGA 424	0.76±0.01aB	0.80±0.02aA	0.79±0.03aA	0.79±0.01aA	0.78±0.02aA	0.77±0.02aA
Fv/F0	BRS Primavera	4.18±0.32aA	4.38±0.31aA	4.20±0.29aA	4.35±0.15aA	4.21±0.16aA	4.12±0.53aA
	IRGA 424	3.20±0.22cB	4.13±0.61abA	3,84±0.60abcA	3.80±0.31abcA	3.61±0.36abcA	3.32±0.29bcA
PI	BRS Primavera	3.59±0.45aA	5.14±0.98aA	3.36±0.72aA	3.35±0.79aA	3.49±0.98aA	3.41±0.78aA
	IRGA 424	0.77±0.15cB	2.80±1.92abB	2.22±0.59abcA	1.88±0.79abcA	1.79±1.24abcA	1.17±0.65bcB
RC/ABS	BRS Primavera	1.44±0.13aA	1.82±0.29aA	1.36±0.20aA	1.37±0.20aA	1.43±0.27aA	1.38±0.21aA
	IRGA 424	0.59±0.07cB	1.19±0.45abB	1.07±0.17abcA	0.97±0.23abcA	0.92±0.40abcA	0.76±0.24bcB

Tabela 2. Análise de variância para as variáveis assimilação fotossintética de carbono, condutância estomática, razão entre a concentração interna e externa de CO₂, estimativa do teor de clorofila (SPAD), rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv /Fm), rendimento quântico máximo efetivo (Fv/Fo), índice fotossintético (PI) e densidade de centro de reação por molécula de clorofila (RC/ABS) em plantas de arroz inoculadas com *C. lunata* com diferentes números de inoculações (TA - Testemunha Absoluta sem inoculação e sem adubação e TR - testemunha relativa sem inoculação e com adubação).

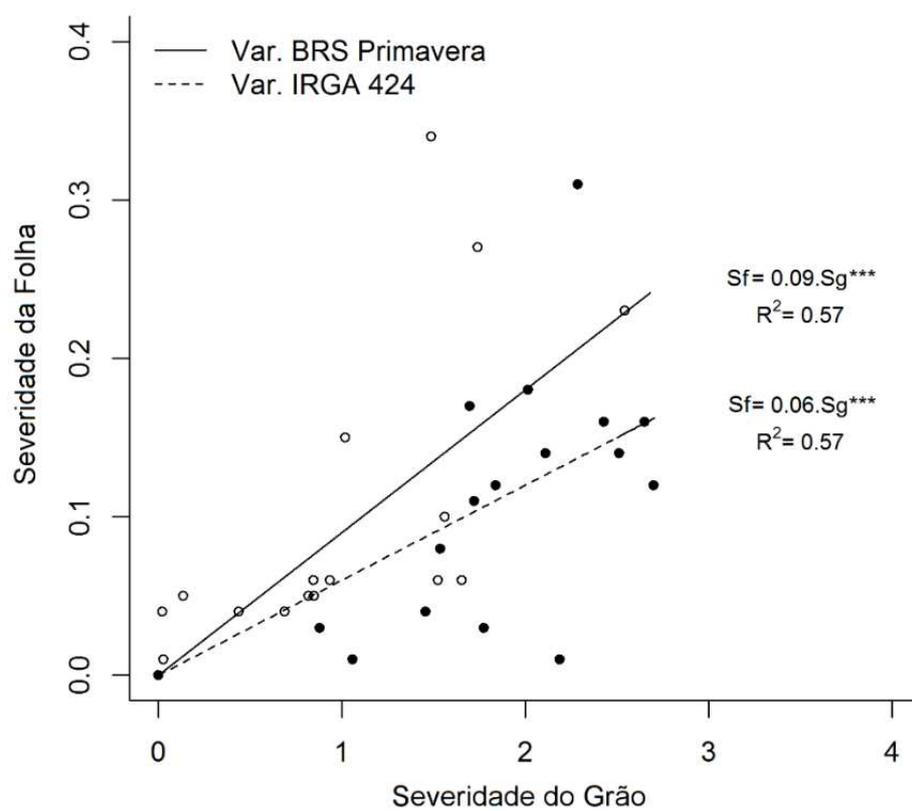


Figura 1. Relação entre a severidade da mancha foliar e de mancha de grãos em duas variedades de arroz inoculadas com *C. lunata*.

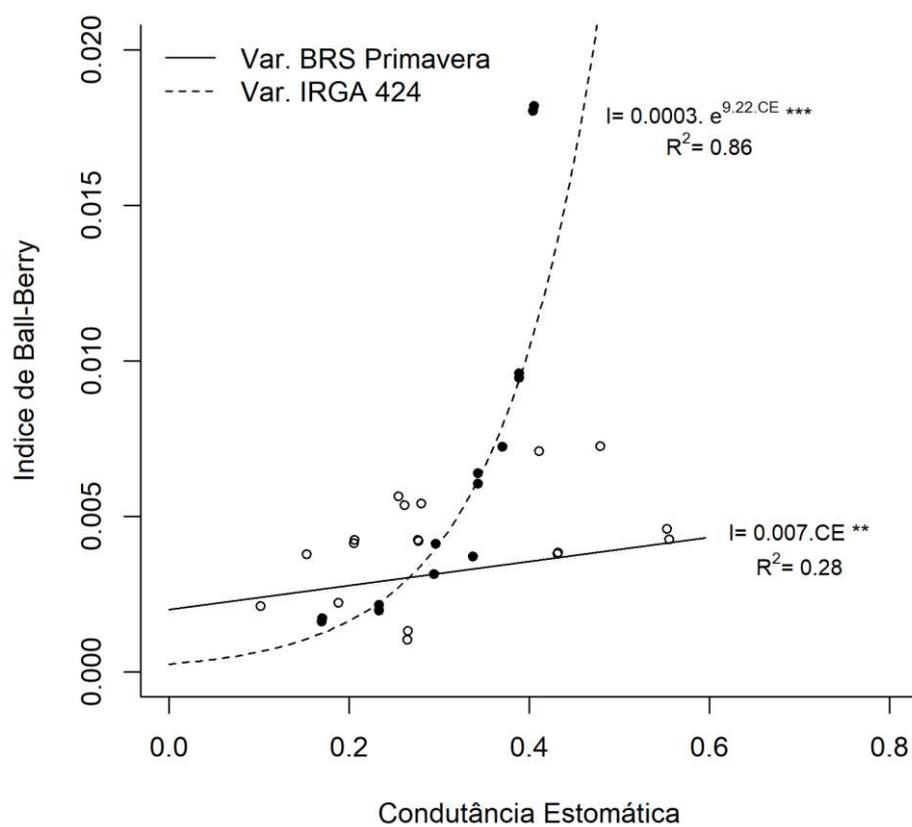


Figura 2. Análise de regressão entre o Índice de Ball-Berry e Condutância Estomática em duas variedades de arroz sob diferentes números de inoculações de *C. lunata*.

NORMAS DA REVISTA

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

Submissões

Os trabalhos devem ser submetidos exclusivamente *on line* acessando-se o site www.ceres.ufv.br.

Tipos de trabalhos

A **Revista Ceres** publica Artigos, Comunicações, Revisões (a convite) e Cartas ao Editor.

Artigo: Deve relatar um trabalho original completo, em que a reprodutibilidade dos resultados está claramente estabelecida. O texto deve ter no máximo 25 páginas, incluindo-se as referências, figuras e tabelas.

Comunicação: Deve relatar resultados conclusivos e não dados preliminares. É um formato alternativo para descrever, de forma mais concisa, resultados parciais de um trabalho mais amplo, ou de relatar resultados conclusivos baseados em um menor volume de dados. O texto completo deve ter no máximo 15 páginas, incluindo-se as referências, figuras e tabelas.

Revisão: Deve reportar, em profundidade, o estado da arte de determinado tema, após convite da Comissão Editorial, sem limite de páginas.

Carta ao editor: Deve retratar, de forma informal, algum tema técnico-científico de interesse da comunidade de ciências agrárias ou biológicas. Sua publicação fica a critério da Comissão Editorial.

Diretrizes para Autores

Formatação

- O texto deve ser digitado em Microsoft Word (versão 97-2003), justificado, em espaço duplo, fonte Times New Roman, tamanho 12.
- O formato da página deverá ser A4, com margens de 3 cm.
- As páginas devem apresentar linhas numeradas sequencialmente (a numeração é feita da seguinte forma: layout da página / número de linhas / contínuo).

Paginação

- Os artigos devem ter, **no máximo**, 25 páginas, incluindo-se as referências, **figuras e tabelas**.
- As comunicações devem ter, **no máximo**, 15 páginas, incluindo-se as referências, figuras e tabelas.

Autoria

Os artigos e comunicações devem ter, no máximo, seis autores.

Idioma

A Revista Ceres aceita a submissão e publica artigos nas línguas portuguesa, inglesa e espanhola. A partir de 2016, independentemente do idioma em que o artigo tenha sido submetido, pelo menos 50% dos artigos serão publicados em inglês, cabendo à Comissão Editorial decidir quais artigos de um fascículo deverão ser publicados nessa língua. A Comissão Editorial utilizará como critérios decisórios a abrangência global do tema abordado e o aumento da visibilidade da ciência brasileira. Uma vez escolhidos os artigos que serão publicados em inglês, caso eles tenham sido submetidos em língua diferente, caberá aos autores providenciar sua tradução e enviar o texto traduzido para a revista, acompanhado do certificado de tradução emitido pelo responsável, num prazo máximo de vinte dias.

Serão aceitas traduções/versões das seguintes pessoas físicas ou jurídicas:

Pessoas físicas:**(Português/Inglês – Inglês/Português)**

Evelyn Jardim de Oliveira - evelyn_jardim@yahoo.com.br

Isabel Rademaker Valença - isa.valenca8@gmail.com

(Português/Espanhol – Espanhol/Português)

Leidy Yibeth Deantonio Florido - leidydeflo@gmail.com

Lina Carazo - candylinch@hotmail.com

Pessoas jurídicas:

www.journalexerts.com

www.wsr-ops.com

www.journaleditorsusa.com

<http://www.queensenglishediting.com/>

www.canalpage.com

<http://www.editage.com.br/manuscriptediting/index.html>

<http://webshop.elsevier.com/languageservices/>

<http://www.proof-reading-service.com>

<http://www.academic-editing-services.com/>

<http://www.publicase.com.br/formulario.asp>

<http://www.stta.com.br/servicos.php>

<http://americanmanuscripteditors.com/>

SEÇÕES DE ARTIGO OU COMUNICAÇÃO:

Título: Deverá ter no máximo 20 palavras, centralizadas e em negrito. Apenas a primeira palavra com a letra inicial em maiúscula e as demais em minúscula, exceto em casos pertinentes (p. ex., nomes científicos; *Phaseolus vulgaris*). Se necessário, introduzir nota de rodapé, ao seu final, usando algarismo arábico sobrescrito. (veja o item rodapé)

Nomes dos autores: Os nomes dos autores devem ser listados, sem abreviações, em sequência, separados por vírgula, centralizados abaixo do título, aplicando-se itálico, utilizando-se letras maiúsculas/ minúsculas. O autor

correspondente será sempre aquele que submeter o artigo.

Exemplo:

Maria Célia da Silva^{2*}, Antonio José da Silva³, Ana Maria da Silva², Simone da Silva Fonseca²

Rodapé: A primeira nota deve fornecer informações sobre o trabalho (se foi extraído de tese, dissertação, etc., e fonte financiadora) e as demais, informações sobre a afiliação de cada um dos autores, obedecendo à seguinte ordem: Instituição, departamento (quando houver), cidade, estado, país e e-mail. Não utilizar abreviações para nenhuma informação do rodapé.

Para autores vinculados à mesma instituição e departamento, deve-se utilizar a mesma nota de rodapé.

Exemplo:

¹Este trabalho é parte da dissertação de mestrado da primeira autora.

²Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitopatologia, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. maria@ufv.br; anamaria@ufv.br; simonefonseca@ufv.br

³Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. antonio@ufla.br

*Autora para correpondência: maria@ufv.br

Resumo: A palavra "RESUMO" deve ser escrita em letras maiúsculas, alinhada à esquerda e ter aplicação de negrito. Essa seção deve conter no máximo 250 palavras e ter apenas um parágrafo. O texto do resumo deve conter, em linhas gerais, a hipótese, os objetivos, material e métodos utilizados, resultados expressivos alcançados e a conclusão. O resumo deve ser iniciado na linha subsequente ao título dessa seção.

Palavras-chave: As palavras-chave devem ter um número mínimo de três e máximo de seis palavras e devem ser citadas em parágrafo subsequente ao resumo. Devem ser grafadas com inicial minúscula (exceto os nomes científicos) e separadas por **ponto e vírgula**, preferencialmente sem repetir palavras contidas no título do trabalho.

Abstract/Resumen: A palavra "ABSTRACT" deve ser escrita em letras maiúsculas, alinhada à esquerda e ter aplicação de negrito. Na linha subsequente, deve-se inserir o título (em inglês ou espanhol) centralizado e com aplicação de negrito. O Abstract e o Resumen devem corresponder ao resumo.

Key words / Palabras clave: As "Key words" devem ser citadas em parágrafo subsequente ao "Abstract" e ser separadas por ponto e vírgula. Devem corresponder às palavras-chave.

Introdução: O título dessa seção, "INTRODUÇÃO", deve ser escrito em letras maiúsculas, em negrito e alinhado à esquerda. A introdução deve ater-se ao problema do trabalho em pauta, situando o leitor quanto à sua importância, hipótese da pesquisa e os objetivos, estando estes últimos claramente expressos ao final da introdução.

Material e Métodos: O título dessa seção, "MATERIAL E MÉTODOS", deve ser escrito em letras maiúsculas, alinhado à esquerda. A seção "Material e Métodos" deve ser redigida com detalhes suficientes para que o trabalho possa ser repetido. A Revista CERES requer que estejam especificados no artigo os

procedimentos estatísticos, incluindo: o delineamento utilizado, o número de repetições e a técnica estatística empregada. Quando não houver delineamento, o artigo deve descrever claramente como foi feita a condução da pesquisa, e qual a técnica estatística utilizada para a análise dos dados. Quando os tratamentos se constituírem de fatores quantitativos com três ou mais níveis, as variáveis de resposta devem ser submetidas à análise de regressão. Se for de interesse comparar os níveis com o padrão ou testemunha, o teste adotado deve ser o Dunnett. Casos excepcionais serão avaliados pela Comissão Editorial. Trabalhos envolvendo experimentação animal ou humana devem explicitar no primeiro parágrafo o protocolo de aprovação do Comitê e Ética em Experimentação Animal ou Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos.

Resultados e Discussão: O título da seção, "RESULTADOS E DISCUSSÃO", deve ser escrito em letra maiúscula, em negrito e alinhado à esquerda. O texto deve ser claro e conciso, apoiado na literatura pertinente. Resultados e Discussão são seções que podem vir juntas ou separadas.

OBS.: As seções **Material e Métodos**, **Resultados e Discussão** poderão conter subseções, indicadas por subtítulos escritos em itálico e negrito, iniciados por letra maiúscula e centralizados.

Agradecimentos: Após a conclusão e, antes das Referências, poderão vir os agradecimentos a pessoas ou instituições.

Referências: O título da seção "REFERÊNCIAS" deve ser escrito em letra maiúscula, em negrito e alinhado à esquerda. As referências devem ser listadas por ordem alfabética. Seguem-se os exemplos:

a) Artigos de periódicos:

Anselme KL (2000) Review: Osteoblast adhesion on biomaterials. *Biomaterials*, 21:667-681.

Davies JE & Baldan N (1997) Scan electron microscopy of the bone-bioactive implant interface. *Journal of Biomedical Material Research*, 36:429-440.

Conz MB, Granjeiro JM & Soares GA (2005) Physicochemical characterization of six commercial hydroxyapatites for medical-dental applications on bone graft. *Journal of Applied Oral Sciences*, 13:136-140.

b) Livros:

Orefice RL, Pereira MM & Mansur HS (2006) *Biomateriais: Fundamentos e aplicações*. 3ª ed. Rio de Janeiro, Cultura Médica. 538p.

c) Capítulos de livros:

Costa EF, Brito RAL & Silva EM (1994) Cálculos e manejo da quimificação nos sistemas pressurizados. In: Costa EF, Vieira RF & Viana PA (Eds.) *Quimificação: Aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação*. Brasília, EMBRAPA. p.183-200.

d) Trabalhos em anais de congresso:

Junqueira Netto A, Sedyama T, Sedyama CS & Rezende PM (1982) Análise de adaptabilidade e estabilidade de dezesseis cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em seis municípios do sul de Minas Gerais. In: 1ª Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, Goiânia. Anais, EMBRAPA/CNPAF. p.47-48.

e) Teses e dissertações:

Wutke EB (1998) Desempenho do feijoeiro em rotação com milho e adubos verdes. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 146p.

f) CD-ROM:

França MHC & Omar JHDH (2004) Estimativa da função de produção do arroz no estado do Rio Grande do Sul: 1969 a 1999. In: 2º Encontro de Economia Gaúcha, Porto Alegre. Anais, FEE. CD-ROM.

g) Internet:

Darolt MR & Skora Neto F (2002) Sistema de plantio direto em agricultura orgânica. Disponível em: < <http://www.planetaorganico.com.br/daroltsist.htm>>. Acessado em: 23 de abril de 2009.

h) Boletim técnico:

Bastos DC, Scarpore Filho JA, Fatinansi JC, Pio R & Spósito MB (2004) A cultura da lichia. Piracicaba, DIBD/ESALQ. 23p. (Boletim técnico, 26).

i) Programas estatísticos:

R development core team (2010) R: A Language and environment for statistical computing. Vienna, R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: . Acessado em: 01 de janeiro de 2012.

SAS Institute Inc. (2002) Statistical Analysis System user's guide. Version 9.0. Cary, Statistical Analysis System Institute. 513p.

Universidade Federal de Viçosa (2007) SAEG: Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas. Versão 9.1. Viçosa, Fundação Arthur Bernardes. CD-ROM.

j) Legislação:

Brasil (2000) Instrução Normativa no. 01, de 07 de janeiro de 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta. DOU, 10/01/2000, Seção 1, p.259.

Brasil (2001) Resolução RDC n. 12, de 02 janeiro de 2001. Aprova o Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. DOU, 02/01/2001, Seção 1, p.174.

No texto, citar as referências nos formatos: (Autor, Ano), (Autor & Autor, Ano), (Autor *et al.*, Ano) ou (Silva, 1999; Arariki & Borges, 2003; Santos *et al.*, 2007), sempre em ordem cronológica ascendente. A referência deve ser citada ao final de um período que expresse uma idéia completa. Quando os nomes dos autores forem parte integrante do texto, menciona-se a data da publicação citada entre parênteses, logo após o nome do autor, conforme exemplos: Fontes (1999), Borges & Loreno (2007), Batista *et al.* (2005).

Citação de citação: Todo esforço deve ser empreendido para se consultar o documento original. Entretanto, nem sempre é possível. Nesse caso, pode-se reproduzir informação já citada por outros autores. Pode-se adotar o seguinte procedimento: no texto, citar o sobrenome do autor do documento não consultado com o ano de publicação, seguido da expressão **citado por** e o sobrenome do autor do documento consultado com o ano de publicação; na listagem das referências deve-se incluir a referência completa da fonte consultada.

Comunicação pessoal: Não faz parte da lista de referências, sendo colocada apenas em nota de rodapé. Coloca-se o sobrenome do autor seguido da expressão "comunicação pessoal", a data da comunicação, nome, estado e país da Instituição ao qual o autor é vinculado.

Financiamento e apoio: Os autores devem informar se receberam financiamento ou apoio de instituições de incentivo à pesquisa.

NORMAS PARA AS ILUSTRAÇÕES E TABELAS:

As figuras e tabelas, todas alocadas em páginas individuais ao final do texto, devem ser numeradas com algarismos arábicos, ficando a legenda posicionada abaixo nas figuras e acima nas tabelas. Figuras e tabelas não devem repetir os mesmos dados. Figuras submetidas em formato eletrônico devem apresentar resolução mínima de 300 dpi, em formato TIFF ou JPG. Toda ilustração que já tenha sido publicada deve conter, abaixo da legenda, dados sobre a fonte (autor, data) de onde foi extraída. A referência bibliográfica completa relativa à fonte da ilustração deve figurar na seção Referências. As despesas de impressão de ilustrações coloridas correrão por conta dos autores.

Tabela: O termo refere-se ao conjunto de dados alfanuméricos ordenados em linhas e colunas. Deve ser construída apenas com linhas horizontais de separação no cabeçalho e ao final da tabela. A legenda recebe inicialmente a palavra Tabela, seguida pelo número de ordem em algarismo arábico e é referida no texto como Tabela.

Figura: O termo refere-se a qualquer ilustração constituída ou que apresente linhas e pontos: desenho, fotografia, gráfico, fluxograma, esquema, etc. Os desenhos, gráficos, etc. devem ser bem nítidos. As legendas recebem inicialmente a palavra Figura, seguida do número de ordem em algarismo arábico e é referida no texto como Figura.

Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As

submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

1. A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista;
2. O arquivo da submissão está em formato Microsoft Word, versão 97-2003;
3. URLs para as referências foram informadas quando possível.
4. O texto está em espaço duplo e a fonte é Times New Roman, tamanho 12;
5. O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em [Diretrizes para Autores](#), na página Sobre a Revista.
6. Tabelas, figuras e equações estão em formato JPG, 300dpi, e inseridas após as Referências, uma em cada página;

Taxas

A Revista CERES não cobra taxa de submissão de artigos, com intuito de promover a universalização do conhecimento e permitir igualdade de condições para todos os pesquisadores.

Contudo, para os artigos aprovados e selecionados para publicação, será cobrada uma taxa de publicação de R\$ 250,00 (duzentos e cinquenta reais).

O pagamento da taxa de publicação deverá ser realizado através de boleto gerado no site da FUNARBE

(<http://www.eventos.funarbe.org.br/detalhes/publicacao-revista-ceres>). Os autores serão orientados sobre a emissão do boleto quando receberem a prova tipográfica.

Informamos que nosso Periódico não tem fins lucrativos. Portanto, essas taxas são cobradas exclusivamente para custeio da publicação.