

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

**WEYDSON ARAUJO BELO**

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS**  
**EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT DE NITROGÊNIO**

SÃO LUÍS-MA  
2020

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

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS**  
**EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT DE NITROGÊNIO**

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

Orientador: Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis

SÃO LUÍS-MA  
2020

Belo, Weydson Araujo.

Potencial fisiológico de genótipos de arroz de terras altas em condições de déficit de nitrogênio / Weydson Araujo Belo. – São Luís, 2020.

83 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício de Oliveira Reis.

1. Adubação nitrogenada. 2. Ecofisiologia. 3. Melhoramento de arroz  
4. *Oryza sativa* L. I. Título

CDU: 633.18-184

**WEYDSON ARAUJO BELO**

**Engenheiro Agrônomo**

**POTENCIAL FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS EM CONDIÇÕES  
DE DÉFICIT DE NITROGÊNIO**

**BANCA EXAMINADORA**



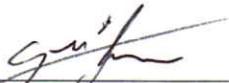
---

**PROF. DR. FABRÍCIO DE OLIVEIRA REIS**  
DOUTOR EM PRODUÇÃO VEGETAL  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO



---

**PROF. DR. TIAGO MASSI FERRAZ**  
DOUTOR EM PRODUÇÃO VEGETAL  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO



---

**DR. GUILHERME BARBOSA ABREU**  
DOUTOR EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS  
EMBRAPA COCAIS

SÃO LUÍS  
2020

## **DEDICO**

A meus pais, minha esposa e meu irmão, que sempre tiveram amor incondicional e me deram apoio nos melhores e piores momentos de minha estrada, que se chamada vida.

## **OFEREÇO**

Ao meu amado Deus, pois sem ele eu nada seria.

## **AGRADEÇO**

Aos verdadeiros amigos, que não colocaram dificuldade em me ajudar a realizar esse sonho...

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me deixar chegar até aqui. Agradeço infinitamente aos meus pais, Marcia Goreth Pereira de Araujo e Edson Belo, 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 amada esposa, Rayanne Belo, que a 8 anos caminha ao meu lado me dando força para que eu prosseguisse com meus objetivos e por zelar por nosso filho (Davi Lucca) nos momentos em que me ausentei. Agradeço a minha segunda mãe, Alcione Costa a meu irmão, Weyder Belo, que sempre me apoiaram e me deram forças nos momentos de dificuldade. Ao meu orientador, Prof. Fabrício Reis, que foi compreensível no momento que eu mais precisei e confiança depositada, meu muito obrigado. A Dr. João Batista Zonta e ao Dr. Guilherme Abreu, que contribuíram de maneira imensurável para a conclusão dessa etapa. Agradeço aos colegas da fisiologia vegetal, Luciene Souza, Lorena Campos, Wallyson Araujo, Mizael, Marcus, Carlos, Jessika, pelas manhãs de muita “disposição” para conduzir os experimentos, sem vocês seria impossível. A todos os professores e servidores da UEMA, que de alguma forma contribuíram para a finalização desta fase da minha vida, meus agradecimentos.

*“Depois de escalar uma montanha muito alta,  
descobrimos que há muitas outras montanhas por escalar.”*

Nelson Mandela

*“(…)O amor do SENHOR Deus não se acaba,  
e a sua bondade não tem fim.  
Esse amor e essa bondade são novos todas as manhãs;  
e como é grande a fidelidade do SENHOR!  
Deus é tudo o que tenho; por isso, confio nele.”*

Lamentações 3:22-24

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>IV</b>
<b>CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL E REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	<b>11</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>13</b>
2.1 A RIZICULTURA NO MUNDO	13
2.2 A RIZICULTURA NO BRASIL	14
2.3 A RIZICULTURA NO MARANHÃO	16
2.4 ARROZ DE TERRAS ALTAS	16
2.5 NITROGÊNIO NA CULTURA DO ARROZ	18
2.6 TROCAS GASOSAS	19
2.7 EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA	20
2.8 ÍNDICE SPAD	23
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>255</b>
<b>CAPITULO 2 – POTENCIAL FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT DE NITROGÊNIO</b>	<b>41</b>
<b>RESUMO</b>	<b>42</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>43</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>44</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>45</b>
LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	45
CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	46
DETERMINAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS	47
DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA	47
ÍNDICE SPAD	48
ANÁLISES ESTATÍSTICAS	48
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>50</b>
TROCAS GASOSAS	50
EFICIÊNCIA FOTOQUÍMICA	57
ÍNDICE SPAD	59
MASSA DE CEM GRÃOS E PRODUÇÃO TOTAL DE GRÃOS	62
<b>CONCLUSÕES</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>64</b>
<b>NORMAS DA REVISTA</b>	<b>75</b>

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

- Tabela 1.** Valor de P para Assimilação fotossintética de carbono, condutância estomática, carbono interno, transpiração,  $DPV_{\text{folha-ar}}$ ,  $F_v/F_m$ , índice fotossintético (PI) e índice SPAD aos 51, 80 e 100 dias e, massa de cem grãos aos 100 dias.....49
- Tabela 2.** Valores médios de assimilação fotossintética de carbono em genótipos de plantas de arroz em dois níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.....51
- Tabela 3.** Valores médios de condutância estomática em genótipos de plantas de arroz em dois níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.....52
- Tabela 4.** Valores médios de concentração interna de  $CO_2$  em genótipos de plantas de arroz em dois níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.....53
- Tabela 5.** Valores médios de taxa transpiratória em genótipos de plantas de arroz em dois níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.....54
- Tabela 6.** A Valores médios de Déficit de Pressão de Vapor<sub>folha-ar</sub> ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ) em genótipos de plantas de arroz em dois níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.....56
- Tabela 7.** Valores médios da variável índice Soil Plant Analysis Development (SPAD) em genótipos de plantas de arroz em dois níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.....57

**Tabela 8.** Valores médios de rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v / F_m$ ) em genótipos de plantas de arroz em dois níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.....58

**Tabela 9.** Valores médios de índice fotossintético (PI) em genótipos de plantas de arroz em dois níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.....60

**Figura 10.** Valores médios de Massa de Cem Grãos em genótipos aos 100 dias.....62

## RESUMO

No Maranhão, o arroz é cultivado em praticamente todos os municípios, predomina o ecossistema de terras altas, porém o seu rendimento em relação ao arroz irrigado é muito mais baixo. O nitrogênio é o macronutriente que limita a produção de arroz de terras altas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial fisiológico de genótipos de arroz de terras altas em condições de déficit de nitrogênio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em vasos plásticos com 10 kg de solo em cada. O substrato utilizado foi proveniente do solo da Fazenda Escola da Universidade Estadual do Maranhão. Utilizou-se um delineamento em blocos casualizados com esquema fatorial 8x2 com três repetições, sendo que os tratamentos foram constituídos de dois níveis de N, ou seja, sem aplicação de N (baixa) e uma aplicação de 800 mg N kg<sup>-1</sup> (alto) de solo, utilizando ureia e oito genótipos de arroz de terras altas. As avaliações foram feitas aos 51, 80 e 100 dias após o plantio quando determinou-se os parâmetros das trocas gasosas, da eficiência fotoquímica e, o índice SPAD. Na maturação fisiológica, foi determinada a produtividade de grãos. De maneira geral, a deficiência de nitrogênio não afetou significativamente as variáveis fisiológicas avaliadas e conseqüentemente a produção. Mas isoladamente os genótipos G2, G4, G5 e G6 sem nitrogênio tiveram resultados que ajudam na obtenção de produtividade satisfatória em ambientes com déficit de nitrogênio.

**Palavras Chaves:** Adubação nitrogenada; Ecofisiologia; Melhoramento de arroz; *Oryza sativa* L.

## ABSTRACT

In Maranhão, rice is grown in almost all municipalities, the highland ecosystem predominates, but its yield in relation to irrigated rice is much lower. Nitrogen is the macronutrient that limits upland rice production. Therefore, the objective of this work was to evaluate the physiological potential of upland rice genotypes under nitrogen deficit conditions. The experiment was carried out in a greenhouse, in plastic pots with 10 kg of soil in each. The substrate used came from the soil of the school farm of the State University of Maranhão. A randomized block design with an 8x2 factorial scheme with three replications was used, and the treatments consisted of two levels of N, that is, without application of N (low) and an application of 800 mg N kg<sup>-1</sup> (high) of soil, using urea and eight upland rice genotypes. The evaluations were made at 51, 80 and 100 days after planting when the parameters of gas exchange, photochemical efficiency and the SPAD index were determined. At physiological maturation, grain yield was determined. In general, nitrogen deficiency did not significantly affect the assessed physiological variables and consequently the production. But the nitrogen-free genotypes G2, G4, G5 and G6 alone had results that help to achieve satisfactory productivity in environments with nitrogen deficit.

**Keywords:** Ecophysiology; Improvement; Nitrogen fertilization; *Oryza sativa* L.; Rice breeding

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUÇÃO GERAL E REFERÊNCIAL TEÓRICO**

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma planta monocotiledônea da família das gramíneas com vasta adaptabilidade, cultivada em vários tipos de clima e de solos (ZONTA, 1996; BRONDANI et al, 2004; MARCONDES e GARCIA, 2009). É considerada uma das culturas mais importantes para a humanidade, sendo alimento básico de mais de 50% da população mundial (JUNG et al., 2008), tem uma produção anual de 759 milhões de toneladas em aproximadamente, 163 milhões de hectares (FAO, 2018). A maior parte da produção de arroz é produzida e consumida na Ásia (FAGERIA, 2001a).

De acordo com o Levantamento Sistemático de Pesquisa Agropecuária (2018), na safra 2017/2018 os maiores produtores de arroz no Brasil, foram os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, com participação de 80% na safra. O Maranhão é o maior produtor de arroz da região Nordeste, com área plantada de 159.974 hectares, atrás apenas do Rio Grande do Sul (1.104.732 hectares) e Mato Grosso (206.217 hectares) (IBGE, 2018).

Em relação os valores de produtividade, o Maranhão está em 22<sup>a</sup> 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 um manejo adequado, como a não utilização de insumos agrícolas essenciais como adubos nitrogenados, inseticidas, herbicidas e fungicidas, além do baixo nível tecnológico dessas propriedades.

Em termos de exigência nutricional, o nitrogênio (N) é um componente estrutural essencial da molécula de clorofila e, em níveis adequados, promove aumento da área foliar, proporciona melhor eficiência na interceptação da radiação solar e na assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, aumento da produtividade de grãos (BUZETTI

et al., 2006). Solos com baixos teores de matéria orgânica e ácidos apresentam um grande déficit de nitrogênio, sendo, na maioria das vezes, característica de propriedades que apresentam baixo nível tecnológico. A deficiência de nitrogênio também está relacionada à baixa eficiência do uso de nitrogênio pela cultura devido à perda por lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão (FAGERIA e BALIGAR, 2005). Dawson et al. (2008) relatam que a adubação nitrogenada utilizada de forma racional, aumenta a produtividade e reduz os custos de produção, além de reduzir os riscos de poluição ambiental.

Em lavouras com baixo nível tecnológico, plantas com eficiência no uso do nitrogênio são desejáveis (CANCELLIER et al., 2011; FIDELIS et al., 2012). Estudos de Fageria et al. (1995; 2007) mostram que existem genótipos de arroz de terras altas que diferem significativamente na eficiência de absorção e utilização de nitrogênio. Dessa forma, a seleção de genótipos eficientes na utilização de nitrogênio, é uma das maneiras mais adequadas para diminuir o custo de produção da cultura do arroz e aumentar a produtividade dos grãos (BORRELL et al., 1998). Visto isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial fisiológico de genótipos de arroz de terras altas em condições de déficit de nitrogênio.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A Rizicultura no mundo**

O local de origem do arroz é na Ásia, fato relatado por diversos pesquisadores (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2008). É a terceira cultura mais cultivada no mundo, com cerca de 160 milhões de hectares (CÂNDIDO et al., 2018).

Metade da população mundial tem o arroz como principal alimento. Em todo o mundo, mais de 3,5 bilhões de pessoas dependem do arroz, sendo responsável por mais de 20% de ingestão calórica diária (IRRI, AFRICARICE e CIAT, 2010).

A China é o maior produtor e consumidor de arroz no mundo, sendo que 80,67% ficam estocados e comercializados no país (CONAB, 2019). Na África, o consumo está crescendo mais rápido do que qualquer outra mercadoria, porque é visto como um alimento que é proporcional ao crescimento da população urbana (UNCTAD, 2010).

A área plantada na América do Sul tem um total de 5,2 milhões de hectares, no continente são produzidas duas subespécies que são a índica e japônica (ZORRILLA et al. 2013; GOULART et al. 2014; CONAB, 2015), sendo que o grupo índica representa 52% de todo o arroz irrigado e o grupo japônica 38% do arroz de sequeiro do continente (RICEPEDIA - AMÉRICA LATINA, AMÉRICA E CARIBE, 2015). Outro dado relevante foi feito pelo Instituto Rio Grandense do Arroz – IRGA (2012), que observou, 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.

No Brasil, a produção se dá pelo sistema irrigado e de terras altas, que corresponde a 20% da produção total de grãos no Brasil (CÂNDIDO et al., 2018).

## **2.2 A Rizicultura no Brasil**

Fora da Ásia, o Brasil é o maior produtor de arroz (SCHWANCK et al., 2015) com importantes regiões produtoras de arroz, incluindo Maranhão no Nordeste, Mato Grosso no Centro-Oeste, Minas Gerais no Sudeste, e Rio Grande do Sul e Santa Catarina na região Sul (ELTIS et al., 2007; SHARMA, 2010).

No Brasil, o arroz é um cereal de bastante importância, pois é unanimidade nos pratos do brasileiro. Dados do IBGE (2018), mostram que a área plantada de arroz no Brasil é de 2,34 milhões de hectares e produtividade média é de 6,12 toneladas/há, sendo cultivado em quase todas as 558 microrregiões do país. Na região do Rio Grande do Sul, a

produtividade média é de 7,5 toneladas/ha (CONAB, 2015), sendo cultivado em condições irrigadas e atingindo o maior rendimento do país.

De acordo com a CONAB (2019), de todos os países que compõem o MERCOSUL, o Brasil produziu na safra 2018/2019, 75,83% de todo arroz que é produzido no bloco. Acerca do consumo, o Brasil se destaca como maior consumidor do mercado sul americano, com consumo acima das 11 milhões toneladas.

A área cultivada com arroz no Brasil, no entanto, diminuiu 27% entre 2000 (3,1 milhões de ha) e 2014 (2,3 milhões de ha) (IRRI 2016; USDA FAS 2016). Esse declínio foi concentrado no arroz de sequeiro nas partes central e norte do país, uma vez que o produtor tem optado por culturas mais rentáveis, como por exemplo a soja (CONAB, 2019). De acordo com a CONAB (2019), a área brasileira de arroz, nessa safra 2018/2019, foi 13,5% menor que a área cultivada na safra 2017/2018.

Farias Filho (2006) destacou que o arroz tem duas funções, sendo uma para alimentação dos agricultores e a outra é abrir novas terras, onde posteriormente será plantada a soja ou capim destinado à alimentação dos rebanhos bovinos.

Em relação a exportações brasileiras de arroz em 2010, onde teve seu maior valor, foram exportados 1,3 milhão de toneladas e quatro anos depois caiu 34% (IRRI 2016) devido à redução da área cultivada com arroz e aos preços mais baratos dos grãos nos países vizinhos. Os custos de produção de arroz no Brasil são os mais altos entre muitos países vizinhos da América Latina (RICEPEDIA, 2015). No entanto, a produção de arroz é viável, particularmente na região sul, compreendendo o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, devido à mecanização avançada e à produção de arroz irrigado. Por outro lado, o Nordeste e outras regiões do Brasil produzem principalmente arroz de sequeiro e são menos mecanizados (RICEPEDIA, 2015).

### **2.3 A Rizicultura no Maranhão**

O arroz no Maranhão tem um papel fundamental, pois abrangem vários aspectos, com destaque para o social. A maioria das propriedades produtoras de arroz, tem áreas com tamanho inferior a 50 ha (EMBRAPA, 2012). Diante desse contexto, essa produção é oriunda de agricultores com menor grau técnico, que produzem em várias regiões do Maranhão, ainda que nem todas as variedades cultivadas em determinadas condições tenham uma produtividade satisfatória além de utilizar o arroz como principal fonte de alimento (MENDEZ et al. 2001; ARAÚJO et al, 2003).

Na década de 1970, o Maranhão chegou a ser o estado com maior produção de arroz do país (EMBRAPA, 2012). Atualmente, o Maranhão é o quinto maior produtor de arroz do Brasil e maior produtor do Nordeste referente às safras 2017/2018 e 2018/2019, com uma produção de 320,9 e 167,5 mil toneladas, respectivamente (CONAB, 2019).

Nos estados do Mato Grosso e Maranhão predominam cultivo de arroz em terras altas. Historicamente, o cultivo de arroz nessas regiões tem sido para a abertura de novas áreas, pois são consideradas áreas de fronteira agrícola. A cultura passou a ser utilizada como rotação e até mesmo na substituição de pastagens, como é o caso do Mato Grosso do Sul (CONAB, 2015).

O cultivo de arroz de terras altas no Maranhão apesar da expressividade no que se refere ao volume de produção, área plantada e importância econômica e social, apresentam uma baixa produtividade, pois é realizado por agricultores com baixo nível tecnológico (MENDEZ et al. 2001).

### **2.4 Arroz de Terras Altas**

O cultivo de arroz no ecossistema de sequeiro ou terras altas vem crescendo em importância mundial, devido à maior demanda populacional e industrial, principalmente na

Ásia onde concentra 90% da produção mundial desse cereal (PRASAD, 2011; NASCENTE et al., 2012a, 2012b, 2013a, 2013b). No Brasil, esse ecossistema ocupa aproximadamente 65% da área total cultivada com a cultura, contribuindo com apenas 41% da produção nacional (GUIMARÃES et al., 2010; CONAB, 2011). Entretanto, esse sistema ainda é considerado marginal (AZABUNJA, 2005) em comparação ao do arroz irrigado, ainda que ambos possuam a mesma importância em termos econômicos, ou seja, tenham praticamente a mesma contribuição no que se refere ao valor total da produção (MAGRINI e CANEVER, 2003). A baixa produtividade do arroz no ecossistema de terras altas é resultado da distribuição irregular de chuvas e do baixo nível tecnológico nas principais regiões produtoras, acarretando reduções significativas na produtividade de grãos (SANTOS et al., 2006; CRUSCIOL et al., 2013), além do subgrupo japônica que é plantado em terras altas apresentar um potencial produtivo menor que o subgrupo índica (Arroz irrigado).

No Maranhão, o arroz de terras altas tem um papel fundamental para os pequenos agricultores, pois garante segurança alimentar (SILVA et al., 2014), além de ter um papel importante no suprimento local, onde as marcas dos estados do Sul são mais caras e menos acessíveis às comunidades de baixa renda (IRRI, 2013).

Na região da transição do Maranhão com a Amazônia, o cultivo do arroz é no sistema de corte e queima, que, segundo Marques et al. (2011), baseia-se no corte da capoeira, seguido por queima e cultivo da cultura em monocultura ou consórcio com milho, feijão e mandioca por dois ou três anos e posterior abandono da área para o pousio, caracterizando um baixo nível tecnológico na lavoura.

A maior parte da produção de arroz é obtida nos sistemas de cultivo praticados pelos pequenos produtores, que não fazem uso de tecnologia e utilizam um elevado número de cultivares tradicionais ou nativas, com baixa adaptação ou pouco melhoradas

(CARDOSO; RIBEIRO, 2006; FONSECA et al., 2004). Farias Filho (2006) relata que nesse sistema para a intensificação da produção, os agricultores fazem uso de ambientes adversos para o plantio do arroz, inclusive em solos altamente ácidos. Fageria (2001) ressalta que solos ácidos estão correlacionados a problemas de deficiência e/ou toxidez nutricional, baixa capacidade de armazenamento de água e baixa atividade dos microrganismos.

Outro fator que é importante e a favor do arroz de terras altas é que para a segurança alimentar nos próximos anos se os sistemas irrigados e com alto poder tecnológico forem afetados por causar problemas ambientais o arroz de terras altas tem cunho ambiental e, portanto é importante manter a produção de arroz em várias regiões do país (RICEPEDIA, 2015).

### **2.5 Nitrogênio na cultura do arroz**

O nitrogênio (N) é um fator limitante quando se busca ótima produtividade, pois é um dos nutrientes mais absorvidos pela planta e a sua falta na lavoura limita o desenvolvimento e a biomassa da maioria das culturas, além de ser constituinte de moléculas, como clorofilas, citocromos, enzimas e coenzimas (FAGERIA et al., 2003). Também participa na formação da panícula e dos grãos de arroz (BARBOSA FILHO, 1987; LOPES et al. 2004).

O arroz absorve nitrogênio durante todo o seu ciclo, porém, existem duas fases fisiológicas críticas: o perfilhamento e o início do primórdio floral. Em razão desses pontos críticos e da alta exigência em nitrogênio, a aplicação parcelada se faz necessário devido à facilidade de lixiviação no solo (NEVES et al., 2004). Fageria e Prabhu (2004) afirmam que adubos nitrogenados poluem o meio ambiente, e por isso recomendam que se observe a dose adequada e faça aplicação na época certa. O uso racional da adubação nitrogenada é de extrema importância não somente para aumentar a eficiência de recuperação, mas também

para elevar a produtividade da cultura (FAGERIA; STONE, 2003). Em geral, a dose de nitrogênio a ser utilizada na cultura se baseia na produtividade esperada e no histórico da área (HERNANDES et al., 2010).

Recomenda-se em plantios comerciais uma aplicação na base (10-30 kg/ha), por ocasião do plantio, e uma aplicação (20-70 kg/ha) em cobertura, no perfilhamento das plantas (EMBRAPA 2009).

O nitrogênio contribui para o aumento da área foliar da planta que, por sua vez, aumenta a eficiência de intercepção da radiação solar e da taxa fotossintética, conseqüentemente, melhora-se a produtividade de grãos (FAGERIA; SLATON; BALIGAR, 2003).

Plantas com alta eficiência no uso de nitrogênio são desejáveis para as cultivares de arroz usadas na agricultura de baixo insumo. Estudos mostram a existência de diferenças genotípicas na eficiência de absorção de nitrogênio em arroz (FERRAZ JUNIOR et al., 1997; KISCHEL et al., 2011). Ferraz Junior (1997) observou alta eficiência de absorção de nitrogênio para produção de grãos em cultivares melhoradas, em comparação a outras cultivares de arroz que são conhecidas como tradicionais. Kischel (2011) constatou a diferença quanto à eficiência de absorção de nitrogênio em genótipos de arroz irrigado cultivados em várzea.

## **2.6 Trocas gasosas**

O nitrogênio é essencial para o aparato fotossintético, por isso tem recebido uma atenção especial de pesquisadores que buscam respostas fisiológicas das plantas à disponibilidade de N. Embora existam algumas divergências (HEITHOLT, 1989; ASHRAF et al., 2001), tanto a fotossíntese quanto a transpiração são significativamente afetadas pela

falta de N em uma variedade de espécies, tanto em nível de folha como em escala de planta inteira (NAGARAJAH, 1981; BORGHI, 2000; WU et al., 2008).

No aparato fotossintético, a disponibilidade e a eficiência dos nutrientes são fatores importantes para que não venha afetar a fotossíntese, entre os nutrientes minerais que mais limitam o potencial da planta realizar fotossíntese está o nitrogênio (EVANS, 1989). De acordo com Terashima e Evans (1988), a falta de nitrogênio limita a taxa fotossintética por meio da redução do teor de pigmentos cloroplastidiais e também por afetar a síntese de várias enzimas envolvidas no ciclo de Calvin, particularmente síntese de Rubisco.

Para que se observe esse dano aos componentes fotossintéticos, é necessário que se faça a medição das trocas gasosas em conjunto com as medições da fluorescência, que fornece informações adicionais em relação ao desempenho do uso da energia luminosa pelo aparelho fotossintético permitindo avaliar a eficiência fotoquímica e o estado fisiológico das plantas (BAKER e ROSENQVIST, 2004).

Ryle e Hesketh (1969) observaram em feijoeiro, que a deficiência de N altera a resistência difusiva do CO<sub>2</sub> em virtude de um aumento na resistência do mesófilo e em menor extensão na resistência estomática, e Prado (2008) detectou redução nas taxas fotossintéticas promovida por mudanças na síntese e atividade da Rubisco em hortaliças. Outro fator que colabora com o aumento na deficiência de nitrogênio é estresse hídrico, mas o grau do déficit varia com a espécie (GREENWOOD, 1976).

## **2.7 Eficiência Fotoquímica**

Para determinação da assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> é importante que se meça as trocas gasosas. Essa medida pode não ser suficiente para avaliar efeitos danosos nos cloroplastos, que podem ser ocasionados por diversos estresses, entre eles o déficit de nitrogênio (DURÃES, 2003). Uma alternativa é a avaliação da eficiência fotoquímica da

fotossíntese, obtida por meio das diversas variáveis da fluorescência da clorofila *a*. Dias (2018) ao estudar a fisiologia de plantas de arroz infectadas pelo vírus *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn Meyerno, relatou que os experimentos pioneiros a estudar o fenômeno da fluorescência da clorofila *a* foram realizados por Kautsky e Hirsch em 1931 quando descreveram a curva polifásica de indução contínua da fluorescência.

O rendimento da fluorescência da clorofila *a* revela o nível de excitação da energia no sistema de pigmentos que dirige a fotossíntese e fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989), além de fornecer 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).

Condições extremas de estresse ambiental podem afetar os eventos no tilacóide, interferindo na eficiência da fotossíntese e inativando o fotossistema II e a cadeia de transporte de elétrons que daria origem ao ATP e  $NADPH_2$  (KRAUSE E WEISS, 1991; COSTA et al., 2003).

Técnicas como a medida da fluorescência da clorofila *a* vem se tornando cada vez mais utilizada para identificar alterações na fisiologia das plantas, em consequências de estresses (OUKARROUM et al., 2016), gerando informações sobre as alterações estruturais e funcionais dos fotossistemas I e II (FSI e FSII), dos centros de reações (RC) e demais eventos que ocorrem na cadeia de transporte de elétrons da fotossíntese (BANKS, 2017). Essa técnica também se destaca por apresentar uma gama de equipamentos que fazem esse tipo de medição de forma rápida, não-destrutiva e sensível, constituindo importante avanço em estudos fisiológicos e em ecologia de plantas (KRAUSE E WEISS, 1991).

Trovão et al. (2007) relatam que plantas isentas de estresses e com o aparato fotossintético intacto, apresentam valores de rendimento quântico máximo do FSII ( $F_v/F_m$ ) entre 0,75 e 0,85. De acordo com Tester e Bacic (2005), esses valores de rendimento quântico máximo do FSII, é um indicador de uso da radiação fotoquímica e, conseqüentemente, na assimilação de carbono pelas plantas.

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). 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 (PI) é um indicador que avalia a vitalidade da planta, que permite quantificar as principais etapas fotoquímicas no FSII e no FSI (THACH et al., 2007).

Segundo Dias (2018), esse índice é considerado um indicador da vitalidade da planta, pois o cálculo dessa vitalidade 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, e permite identificar situações de estresse, e melhor diferenciar tratamentos experimentais, se comparado ao parâmetro  $F_v/F_m$ .

Estudos tem mostrado que deficiência de nitrogênio diminui o rendimento quântico do transporte de elétrons e o rendimento quântico máximo do fotossistema II, sugerindo que deficiência de nitrogênio pode promover dano ao fotossistema II em algum grau (NUNES et al, 1993, VERHOEVEN et al, 1997), outros estudos mostraram que deficiência de nitrogênio não teve efeito sobre esses parâmetros (LU E ZHANG, 2000).

## 2.8 Índice SPAD

O clorofilômetro é um medidor portátil que estima o valor do teor de clorofila das folhas. É considerada uma alternativa para relacionar o teor de clorofila com o teor de nitrogênio no tecido de vegetais (PENG et al., 1993, PENG et al., 1996, PRADO et al., 2008, LIN et al., 2010). Para a cultura do arroz, TURNER & JUND (1991) e PENG et al. (1993) encontraram correlação positiva entre a leitura do clorofilômetro e teor de N no tecido. No mercado existe o modelo SPAD-502, aparelho desenvolvido pela Minolta no Japão (MINOLTA, 1989).

O medidor SPAD-502 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).

Segundo Makino (2011) o potencial fotossintético de uma única folha pode ser fator importante para determinar o potencial de produção de biomassa da cultura. Pesquisas foram desenvolvidas para demonstrar a existência de correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de clorofila na folha de cereais (ARGENTA et al., 2001) e entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N nas folhas de plantas de diversas culturas evidenciando que as leituras realizadas com o clorofilômetro podem diagnosticar o status de N na planta (JINWEN et al., 2009).

Dwyer (1995) relata que plantas absorvem nitrogênio acima do necessário, tornando um consumo de luxo, porém isso não ocorre para a clorofila, pois a determinação indireta da clorofila atinge um ponto máximo, fazendo com que as leituras se tornem constantes com pouca variação.

Alguns autores têm sugerido este ponto de inflexão como indicativo da dose adequada de nitrogênio (BLACKMER; SCHEPERS, 1995).

## 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.

ARAÚJO, E. S. **Caracterização molecular através da RAPD e análise das proteínas de reserva em grãos de variedades locais de arroz do Maranhão**. Seropédica, RJ: UFFRJ, 2006. (Tese de doutorado).

ARAÚJO, E. S.; SOUZA S. R.; FERNANDES, M. S. **Características morfológicas e moleculares e acúmulo de proteína em grãos de variedades de arroz do Maranhão**. Revista Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 38, n.11, p. 1281-1288, nov. 2003.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.D.; BORTOLINI, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.715-722, 2001.

ASHRAF, M.; SHABAZ, M.; ASHRAF, M.Y. Influence of nitrogen supply and water stress on growth and nitrogen, phosphorus, potassium and calcium contents in pearl millet. **Biol. Plant**. 44: 459–462, 2001.

AZAMBUJA, I. H. V. **Contribuição do cultivo do arroz irrigado na economia brasileira**. Pelotas, RS: EMBRAPA Clima Temperado, 2005.

BAKER, N.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, p.1607-1621, 2004.

BANKS, J. M. Continuous excitation chlorophyll fluorescence parameters: a review for practitioners. **Tree Physiology**, p. 1-9, 2017.

BARBOSA FILHO, M. P. **Nutrição e adubação do arroz**: sequeiro e irrigado. Piracicaba: Potafos, 1987. 129 p. (Boletim Técnico, n. 9).

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll meter to monitor crop nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.8, p.56-60, 1995.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P., BAKER, N.R., et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v.3, p.497-514, 1989.

BORGHI, B. Nitrogen as determinant of wheat growth and yield. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.) **Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination**. Food Products Press, New York, NY, pp. 67–84, 2000.

BORRELL, A. K. et al. **Season and plant type affect the response of rice yield to nitrogen fertilization in a semi-arid tropical environment. Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 49, n. 2, p. 179-190, 1998.

BRONDANI, C. et al. **Utilização de marcadores de microssatélites no melhoramento populacional do arroz**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2004.

BUZETTI, S.; BAZANINI, G. C.; FREITAS, J. G.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SA, M. E.; MEIRA, F. A. **Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 12, p. 1731-1737, 2006.

CÂNDIDO H. M et al., 2018. **Seleção de Genótipos de Arroz de Terras Altas a Fontes de Tolerância à Deficiência Hídrica**. EMBRAPA.

CARDOSO, J. M.; RIBEIRO, V. Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função dos espaçamentos entre linhas e densidade de plantas sob regime sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 01, p. 102-105, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2011) - **CONAB. 4º Levantamento da produção de grãos - safra 2010/11**. Disponível em: Acesso em: 22 de março. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. – CONAB, 2015. **A cultura do arroz**. Organizador Aroldo Antonio de Oliveira Neto. – Brasília: Conab, 2015. Disponível: < <http://www.conab.gov.br>>

CONAB. (FEVEREIRO/MARÇO 2019). **Análise mensal - Arroz**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-arroz>

CONAB (2006). **Arroz – Brasil: série histórica de produção, produtividade e área plantada das safras de 1976/77 a 2005/06**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/safra/ArrozSeriehist.xls/>>.

**CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2015)** [Acessado em: 23/03/2020]. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>

COSTA, E.S; BRESSAN-SMITH, R.; OLIVEIRA, J.G.; CAMPOSTRINI, E. Chlorophyll *a* fluorescence analysis in response to excitation irradiance in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) submitted to high temperature stress. **Photosynthetica**, v.41, p.77-82, 2003.

CRUSCIOL, C.A.C; SORATTO, R.P.; NASCENTE, A.S.; ARF, O. Root distribution, nutrient uptake, and yield of two upland Rice cultivars under two water regimes. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 237-247, 2013.

DAWSON, J. C.; HUGGINS, D. R.; JONES, S. S. **Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems.** *Field Crops Research*, v. 107, n. 2, p. 89-101, 2008.

DIAS, C. W. (2018). **Eficiência fotossintética de plantas de arroz infectadas por *Curvularia lunata* (Wakker) Boedijn Meyerno.** SÃO LUÍS, MARANHÃO, BRASIL. (Dissertação de Mestrado)

DURÃES, F.O.M. 2003. **Fotossíntese e fluorescência da clorofila: Parâmetros indicadores de tolerância a estresses.** Disponível em: [www.cnpms.embrapa.br/nucleos/nea/pesquisa/gest002.html](http://www.cnpms.embrapa.br/nucleos/nea/pesquisa/gest002.html). Acesso em: em 23/03/2020.

DWYER, L.M. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Journal of Plant Science**, Amsterdam, v.75, p.179-182, 1995.

ELTIS D, MORGAN P, RICHARDSON D (2007) **Agency and diaspora in Atlantic history: reassessing the African contribution to rice cultivation in the Americas.** *Am His Rev* 112:1329–1358

EMBRAPA - **Informações técnicas sobre o arroz de terras altas: Estados de Mato Grosso e Rondônia - safras 2009/2010 e 2010/2011.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. (Documentos, 247).

**EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO (2018).** Disponível em:  
<<http://www.cnpaf.embrapa.br/arroz/historia.htm>>

**EMBRAPA (2012).** Acesso em: 24 de 03 de 2020, disponível em:  
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/83489/1/folder-arroz-do-maranhao.pdf>

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia** 78: 9–19, 1989

FAGERIA, N. K. 2001. Nutrient management for improving upland rice productivity and sustainability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 32: 2603–2629.

FAGERIA, N. K. Yield physiology of rice. **Journal of Plant Nutrition**, 30 (5):843-879. 2007

FAGERIA NK, BALIGAR VC. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Adv Agron.** 2005;88:97-185.

FAGERIA, N. K.; PRABHU, A. S. Controle de brusone e manejo de nitrogênio em cultivo de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.123-129, 2004.

FAGERIA, N. K.; SLATON, N. A.; BALIGAR, V. C. Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. **Advances in Agronomy**, New York, v. 80, p. 63- 152, 2003. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113\(03\)80003-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2113(03)80003-2)>

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo do nitrogênio. In: FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. (Eds.) **Manejo da fertilidade do solo para o arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 51-94.

FAGERIA, N.K.; SANT'ANA, E.P.; MORAIS, O.P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.9, p.1155-1161, set. 1995.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITEDNATIONS). **Rice Market Monitor**, v.XXI, nº 1, abril 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I9243EN/i9243en.pdf>

FARIAS FILHO, M. S. (2006). **Caracterização e avaliação do cultivo do arroz em sistema de vazante na baixada Maranhense**. SÃO LUÍS, MARANHÃO, BRASIL. (Dissertação de Mestrado)

FERRAZ JUNIOR, A. S. L. et al. Eficiência do uso de nitrogênio para produção de grão e proteína por cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p. 435-442, 1997.

FIDELIS, R. R.; KISCHEL, E.; MACHADO, A. F. L.; CANCELLIER, E. L.; PASSOS, N. G. Eficiência no uso de nitrogênio de genótipos de arroz em solos de várzea irrigada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 264-272, 2012.

FONSECA, J. R. et al. Descritores morfoagronômicos e fenológicos de cultivares tradicionais de arroz coletados no Maranhão. **Revista Ceres**, v. 60, n. 293, p. 45-56, 2004.

GOULART ICGR, BORBA TCO, MENEZES VG, MEROTTO A (2014) **Distribution of weedy red rice (*Oryza sativa*) resistant to imidazolinone herbicides and its relationship to rice cultivars and wild *Oryza* species**. *Weed Sci* 62:280–293

GREENWOOD. E.A.N. Nitrogen stress in plants. **Adv. Agron.**, 28:1-35, 1976.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; CASTRO, A. P.; LIMA, G. B. Desempenho de genótipos de arroz sob deficiência hídrica e irrigação adequada. **Comunicado Técnico, 194**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010, 4p.

HEITHOLT, J.J., Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen- and water-stressed winter wheat. **Agron. J.** 81, 464–469, 1989.

HERNANDES, A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. DE. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.307-312, 2010.

IBGE (2018). **Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. 2018. Disponível em:  
< <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>

**IRGA (2012)** [Acessado em: 23/03/2020]. Sistemas de cultivo. Disponível em:  
[http://www.irga.rs.gov.br/upload/20150806112855soja\\_em\\_rotacao\\_com\\_arroz.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20150806112855soja_em_rotacao_com_arroz.pdf)

IRRI, AFRICARICE & CIAT (2010). **Global Rice Science Partnership (GRiSP)**.  
Novembro de 2010.

**IRRI (2016)**. [Acessado em: 23/03/2020] **World Rice Statistics**. Disponível em:  
<http://ricestat.irri.org:8080/wrsv3/entrypoint.htm>

JINWEN, L.; JINGPING, Y.; PINPIN, F.; JUNLAN, S.; DONGSHENG, L.; CHANGSHUI, G.; WENYUE, C. Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll a/b ratios to different nitrogen supply rates in paddy field. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.114, n.3, p.426–432, 2009.

JUNG, K.; AN, G.; RONALD, P. C. Towards a better bowl of rice: assigning function to tens of thousands of rice genes. **Nature Reviews. Genetics**, v. 9, n. 2, p. 91-101, 2008.  
<http://dx.doi.org/10.1038/nrg2286>.

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

KISCHEL, E. et al. Efeito do nitrogênio em genótipos de arroz cultivados em várzea úmida do Estado do Tocantins. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 84-89, 2011.

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review Plant Physiology. Plant Molecular Biology**, v.42, p.313-349, 1991.

**LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA - LSPA, 2018.**

Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/19474-ibge-preve-safra-de-graos-6-8-menor-em-2018.html>

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.

LOPES, A. S. et al. Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: **Associação Nacional para Difusão de Adubos**, 2004.

LU, C.; ZHANG, J. **Photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants.** *Plant Science* 151, 135–143. 2000.

MAGRINI, J. L.; CANEVER, M. D. Production value of rice in the Rio Grande do Sul: components of area, revenue and price. **Revista Brasileira de Agrociência**. v. 9, n. 1, p. 65-69, 2003.

MAKINO, A. Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. **Plant Physiology**, Waterbury, v.155, p.125–129, 2011.

MARCONDES, J., GARCIA, A. B. Aspectos citomorfológicos do estresse salino em plântulas de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 02, p. 187-194, 2009.

MARQUES, L. J. P.; SILVA, M. R. M.; LOPES, G. S.; CORRÊA, M. J. P.; ARAUJO, M. S.; COSTA, E. A.; MUNIZ, F. H. Dinâmica de populações e fitossociologia de plantas daninhas no cultivo do feijão-caupi e mandioca no sistema corte e queima com o uso de arado. **Planta Daninha**, v. 29, n. spe, p. 981-989, 2011.

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.

MENDEZ DEL VILLAR, P., A.F. DUCOS, J.A. PEREIRA & L.P. YOKOYAMA. 2001. **Cadeia produtiva do arroz no estado do Maranhão**. Teresina, EMBRAPA- Meio Norte, 136p.

NAGARAJAH, S. The effect of nitrogen on plant water relation in tea (*Camellia sinensis*). **Physiol. Plant.** 51, 304–308, 1981.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. The no-tillage system and cover crops – alternatives to increase upland rice yield. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 45, 124-131, 2013b.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. Upland rice yield as affected by previous summer crop rotation (soybean or upland rice) and glyphosate management on cover crops. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 31, p. 147-155, 2013a.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. Ammonium and nitrate in soil and upland rice yield as affected by cover crops and their desiccation time. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 1699-1706, 2012b.

NASCENTE, A. S.; GUIMARÃES, C. M.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C. A. C. Brachiaria ruziziensis and herbicide on the yield of upland rice. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, p. 729-736, 2012a.

NEVES, M. B.; BUZETTI, S.; ARF, O.; SÁ, M. E. DE. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura em dois cultivares de arroz com irrigação suplementar. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.26, p.429-435, 2004.

NUNES, M.; RAMALHO, J. DIAS, M. **Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light**, *J. Exp. Bot.* 262, 893–899. 1993.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S .E; STRASSER, R. J. (2016), Differential heat sensitivity index in barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) monitored by chlorophyll a fluorescence

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.

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

PENG, S.; GARCÍA, F.V.; LAZA, R.C.; CASSMAN, K.G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.5, p.987-990, 1993.

PENG, S.; GARCIA, F.V.; LAZA, R.C.; SANICO, A.L.; VISPERAS, R.M.; CASSMAN, K.G. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.47 p.243-252, 1996.

PRASAD, R. Aerobic rice systems. **Advances in Agronomy**, v. 111, p. 207-247, 2011.

PRADO, R. de M. Potássio. In: PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. p.161-181

**RICEPEDIA – BRAZIL** (2015) [Acessado em: 23/03/2020]. Disponível em: <http://ricepedia.org/brazil>

**RICEPEDIA – LATIN, AMERICAN AND THE CARIBBEAN** (2015) [Acessado em: 23/03/2020]. Disponível em: <http://ricepedia.org/rice-around-the-world/latin-america-and-the-caribbean>

RYLE, G.J.A. & HESKETH, J.D. **carbon dioxide uptake in nitrogen-deficient plants**. *crop Sci.*, 9:451-4, 1969.

SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. e A. (Ed.). A cultura do arroz no Brasil. **2. ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, 2006. 1000 p.

SCHWANCK AA, MENESES PR, FARIAS CRJ, FUNCK GRD, MAIA AHN, DEL PONTE EM (2015) *Bipolaris oryzae* seed borne inoculum and brown spot epidemics in the subtropical lowland rice-growing region of Brazil. **Eur J Plant Pathol** 142:875–885

SHARMA SD, (ed) (2010) *Rice: origin, antiquity and history*. CRCPress, **Boca Raton**

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. R., COSTA, E. A., MARQUES, L. J., & CORRÊA, M. J. (2014). Banco de sementes de plantas daninhas em áreas de cultivo de arroz de sequeiro na Pré -Amazônia

Maranhense. **Revista de Ciências Agrárias - Amazoniam Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 351-357.

TERASHIMA, I.; EVANS, J.R. Effects of light and nitrogen nutrition on the organization of the photosynthetic apparatus in spinach. **Plant Cell Physiol** 29: 143–155, 1988.

TESTER, M. & BACIC, A. (2005) - Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. **Plant Physiology**, vol. 137, n. 1, p. 791-793. Disponível em: <<https://doi.org/10.1104/pp.104.900138>>

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, F.T.; JUND, M.F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. **Agronomy Journal**, v.83, n.5, p.926-928, 1991.

UNCTAD (2010). **Informação sobre arroz**. <http://www.unctad.org/infocomm/anglais/rice/market.htm#prod>. Acessado: março 2020

USDA FAZ (2016). [Acessado em: 23/03/2020]. **Foreign agricultural Service**. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>

VERHOEVEN, A.; DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS, W. **Enhanced employment of the xanthophyll cycle and thermal energy dissipation in spinach exposed to high light and N stress, *Plant Physiology*. 113, 817–824. 1997.**

WU, F.Z.; BAO, W.K.; LI, F.L.; WU, N. **Effects of drought stress and N supply on the growth, biomass partitioning and water-use efficiency of *Sophora davidii* seedlings. *Environ. Exp. Bot* 63, 248–255, 2008.**

ZONTA, E. **Caracterização fisiológica da resposta à adubação nitrogenada de duas cultivares de arroz. Seropédica, RJ: UFFRJ, 1996. (Tese de mestrado).**

ZORRILLA G, MARTÍNEZ C, BERRÍO L, CORREDOR E, CARMONA L, PULVER E (2013) Improving rice production systems in Latin America and the Caribbean. In: Hershey CH (ed) *Eco-efficiency: from vision to reality*. **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali**

## **CAPITULO 2**

### **POTENCIAL FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS EM CONDIÇÕES DE DÉFICIT DE NITROGÊNIO**

## Potencial fisiológico de genótipos de arroz de terras altas em condições de déficit de nitrogênio

Weydson Araujo Belo<sup>1\*</sup>, Fabrício de Oliveira Reis<sup>1</sup>, João Batista Zonta<sup>2</sup>, Guilherme Barbosa Abreu<sup>2</sup>, Tiago Massi Ferraz<sup>1</sup>, Luciene Souza Ferreira<sup>1</sup>, Marcelo Marinho Viana<sup>1</sup>

### RESUMO

O arroz de terras altas é cultivado no estado do Maranhão em solos com baixas fertilidades, baixo nível tecnológico e sem o uso eficiente do nitrogênio, características de uma agricultura itinerante. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial fisiológico de genótipos de arroz de terras altas em condições de déficit de nitrogênio. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, com 10 kg de solo em cada. O delineamento em blocos casualizados teve um arranjo fatorial com oito genótipos de arroz e dois níveis de adubação nitrogenada e três repetições. Aos 10 dias após o plantio (DAP), foi feito o desbaste deixando quatro plantas de arroz/vaso. As avaliações fisiológicas foram feitas em três momentos e com a determinação dos seguintes parâmetros: assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, carbono interno, transpiração instantânea, déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, índice SPAD, eficiência quântica máxima do fotossistema II, índice fotossintético, massa de cem grãos e produção de grãos. De maneira geral, a deficiência de nitrogênio não afetou significativamente as variáveis fisiológicas avaliadas e conseqüentemente a produção. Mas isoladamente as plantas dos tratamentos sem nitrogênio dos genótipos G2, G4, G5 e G6 apresentaram parâmetros fisiológicos importantes que ajudam na tomada de decisão para obter produtividade satisfatória em solos com baixo teor de nitrogênio.

**Palavras-Chaves:** Adubação nitrogenada; Ecofisiologia; Melhoramento de arroz; *Oryza sativa* L.

1 Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, São Luís, Maranhão, Brasil. weydsonbelo@yahoo.com; fareoli@gmail.com; ferraztm@gmail.com; luciene.sf05@gmail.com; marceloviana.91@gmail.com

2 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, São Luís, Maranhão, Brasil. joao.zonta@embrapa.br; Guilherme.abreu@embrapa.br

\*Autor para correspondência: weydsonbelo@yahoo.com

**ABSTRACT**

Highland rice is grown in the state of Maranhão on soils with low fertility, low technological level and without the efficient use of nitrogen, characteristics of itinerant agriculture. Therefore, the objective of this work was to evaluate the physiological potential of upland rice genotypes under nitrogen deficit conditions. The experiment was conducted in plastic pots, with 10 kg of soil in each. The randomized block design had a factorial arrangement with eight rice genotypes and two levels of nitrogen fertilization and three replications. At 10 days after planting (DAP), thinning was done leaving four rice plants / pot. The physiological evaluations were made in three moments and with the determination of the following parameters: photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, stomatal conductance, internal carbon, instant transpiration, deficit of vapor pressure between the leaf and the air, SPAD index, maximum quantum efficiency of the photosystem II, photosynthetic index, mass of one hundred grains and grain production. In general, nitrogen deficiency did not significantly affect the assessed physiological variables and consequently the production. However, the nitrogen-free treatments of the genotypes G2, G4, G5 and G6 alone presented important physiological parameters that help in decision making to obtain satisfactory productivity in soils with low nitrogen content.

**Keywords:** Ecophysiology; Improvement; Nitrogen fertilization; *Oryza sativa* L.; Rice breeding

## INTRODUÇÃO

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 humano, especialmente nos países asiáticos e em países subdesenvolvidos. É considerada a espécie de maior potencial de aumento da produção, além de manter uma estreita relação com a segurança alimentar (IRRI, 2013).

O Maranhão é o quinto maior produtor de arroz do Brasil e maior produtor do Nordeste referente às safras 2017/2018 e 2018/2019, com uma produção de 320,9 e 130,3 mil toneladas, respectivamente (CONAB, 2019). O arroz é cultivado em praticamente todos os municípios do Estado, predominando o ecossistema de terras altas, responsável por cerca de 95% da produção e por 98% da área cultivada (Zonta & Silva, 2014).

O rendimento do arroz de terras altas é mais baixo do que o arroz irrigado. A baixa produtividade do arroz no ecossistema de terras altas é resultado da distribuição irregular de chuvas e do baixo nível tecnológico nas principais regiões produtoras, acarretando reduções significativas na produtividade de grãos (Santos *et al.*, 2006; Crusciol *et al.*, 2013). Apesar do baixo rendimento, o arroz de terras altas continuará a desempenhar um papel importante nas regiões de cultivo de arroz devido à falta de instalações de irrigação e baixo custo de produção.

No Maranhão, o arroz de terras altas tem um papel fundamental para os pequenos agricultores, pois garante segurança alimentar (Silva *et al.*, 2014), além de ter um papel importante no suprimento local, onde as marcas dos estados do sul são mais caras e menos acessíveis às comunidades de baixa renda (IRRI, 2013).

Em termos de exigência nutricional, o potássio (K) é o nutriente mais absorvido pela planta de arroz, porém, é o nitrogênio (N) que tem um papel fundamental na produtividade do arroz mesmo sendo o segundo nutriente mais absorvido (Fageria *et al.*,

2007). O N é um componente estrutural essencial da molécula de clorofila e estas moléculas possuem quatro átomos deste elemento (Coelho *et al.*, 2012). O N em níveis adequados, promove aumento da área foliar, proporciona melhor eficiência na interceptação da radiação solar e na assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, aumento da produtividade de grãos (Buzetti *et al.*, 2006).

A deficiência de N no arroz de terras altas está relacionada a características do solo como baixo teor de matéria orgânica, acidez elevada, erosão e, ainda, o pouco uso de fertilizantes nitrogenados pelos agricultores. A deficiência de N também está relacionada à baixa eficiência do uso de N pela cultura devido à perda por lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão (Fageria & Baligar, 2005). O uso racional da adubação nitrogenada é fundamental para aumentar a produtividade da cultura, assim como reduzir o custo de produção e os riscos de poluição ambiental (Dawson *et al.*, 2008).

Plantas com alta eficiência no uso de N são desejáveis, principalmente para serem adotadas em sistemas de baixo nível tecnológico, com pouca utilização de insumos (Cancellier *et al.*, 2011; Fidelis *et al.*, 2012). Assim, o uso de genótipos eficientes no uso do N é primordial. Os genótipos de arroz de terras altas diferem significativamente na eficiência de absorção e utilização de N (Fageria *et al.*, 1995; Fageria, 2007). Dessa forma, a seleção de genótipos, com maior eficiência na utilização de N, é considerada uma das maneiras mais adequadas para diminuir o custo de produção da cultura do arroz e aumentar a produtividade dos grãos (Borrell *et al.*, 1998). Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial fisiológico de genótipos de arroz de terras altas em condições de déficit de nitrogênio.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Localização do Experimento**

O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente ao programa de Pós-Graduação em Agroecologia – PPGA, vinculado a Universidade Estadual do Maranhão

(UEMA), em São Luís, Maranhão, Brasil, com coordenadas geográficas de 2° 59' 19" S de latitude e, 44° 21' 20" W de longitude, no período de agosto a novembro de 2018. Foram utilizados oito genótipos de arroz são provenientes de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de arroz de terras altas realizados pela EMBRAPA no ano 2017/2018. O solo utilizado no experimento foi proveniente da Fazenda Escola da UEMA. Antes do uso, o solo foi expurgado com produto químico a base de fosfeto de alumínio (GASTOXIN B57), para eliminação de plantas espontâneas e controle de insetos.

### **Condução do Experimento**

Foram semeadas de 8 a 10 sementes de arroz em vasos plásticos, contendo 10 kg de solo/vaso. Após a emergência das plantas foi realizado desbaste, deixando apenas quatro plantas por vaso.

O experimento foi instalado em um delineamento em blocos casualizados num arranjo fatorial (8x2), sendo oito genótipos de arroz (G1= AB142467; G2= AB112342; G3= AB142486; G4= BRS A501 CL; G5= AB162666; G6= AB142538; G7= AB112315; G8= AN CAMBARÁ) e dois níveis de adubação nitrogenada (N= Adubação nitrogenada; SN= Sem adubação nitrogenada), com três repetições. Na adubação nitrogenada utilizou-se 800 mg N kg<sup>-1</sup> de solo. A ureia foi fonte de nitrogênio, onde a adubação foi dividida em duas aplicações, sendo metade na semeadura (4,5 g de ureia/vaso) e a metade restante (4,5 g de ureia/vaso) 43 dias após a semeadura, totalizando 9 g de ureia/vaso. No momento da semeadura, além do tratamento com N, cada vaso recebeu uma adubação de base com 200 mg P kg<sup>-1</sup> de solo na forma de superfosfato triplo e 200 mg K kg<sup>-1</sup> de solo na forma de cloreto de potássio (KCl). A quantidade de fertilizante foi baseada nas recomendações de Fageria e Baligar (1997b).

As plantas foram mantidas em casa de vegetação durante todo o ciclo da cultura. A temperatura do ar média foi de 29,6 °C e umidade relativa do ar média de 67%, sendo esses

dados monitorados por meio de *datalogger* (WatchDogs modelo 1650). Não houve variação significativa das condições ambientes durante a execução do experimento. As avaliações fisiológicas (Determinação das trocas gasosas; Determinação da eficiência fotoquímica; Estimativa do teor de clorofila) foram realizadas em três momentos (51, 80 e 100 dias após a semeadura). Após a última avaliação, foram analisados o peso de 100 grãos e a produção total.

### **Determinação das trocas gasosas**

As trocas gasosas foram determinadas pela assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> (A), a condutância estomática ( $g_s$ ), a transpiração instantânea (E), o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPVfolha-ar), a relação da concentração interna de CO<sub>2</sub> no mesofilo foliar pela concentração externa de CO<sub>2</sub> do ar ( $C_i/C_a$ ). Para essas avaliações utilizou-se o Sistema Portátil de Medição das Trocas Gasosas (IRGA), modelo LI-6400, LICOR, Lincoln, NE, USA, e um sistema de luz artificial acoplado ao IRGA (InfraRed Gas Analyser,) com leds azuis e vermelhos e intensidade de  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Essas avaliações foram realizadas pela manhã (entre 7:00h e 10:00h). Após a medição com o IRGA, utilizou-se um paquímetro digital para a medição da largura da folha bandeira da planta de arroz que recebeu a leitura, esse método é aplicado devido a câmera acoplada ao aparelho ter a leitura baseada em  $6 \text{ cm}^2$  de área e o arroz tem área inferior a esse valor, e sendo assim foi feita uma correção na planilha de Excel, na célula referente a área da câmera, gerada pelo IRGA.

### **Determinação da Eficiência fotoquímica**

A fluorescência da clorofila *a* foi medida na folha bandeira da planta, no período da manhã (entre 7:00h e 10:00h), com o auxílio do fluorímetro não-modulado 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 (de  $3500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), que foi aplicado com o auxílio de três diodos emissores de luz (de 650 nm de comprimento de onda). O índice fotossintético (PI) também foi obtido com o fluorímetro Pocket PEA, 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  $Q_a$  pelo fóton absorvido, e a energia dissipada na forma de calor ( $F_v/F_0$ ).

### **Índice SPAD**

A estimativa do teor de clorofila 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 10:00h da manhã.

### **Análises Estatísticas**

Dentro de cada período de avaliação (51, 80 e 100 dias após a semeadura), os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Teste de Shapiro Wilk) e homogeneidade de variâncias (Testes de Cochran e Bartlett). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Foi usado  $P \leq 0,25$  (Perecim e Cargnelutti, 2008) para

desdobrar a interação entre os genótipos e os níveis de N aplicados. Foi usado  $P \leq 0,05$  para testar os contrastes isolados. O teste F foi usado para comparar as médias das variáveis dependentes afetadas pelos níveis de N e o teste de Tukey foi usado para comparar as médias das variáveis dependentes afetadas pelos genótipos. Para a execução das análises estatísticas foi utilizado o pacote estatístico ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software R (R Core Team, 2019).

**Tabela 1.** Valor de P para Assimilação fotossintética de carbono, condutância estomática, carbono interno, transpiração,  $DPV_{\text{folha-ar}}$ , Fv/Fm, índice fotossintético (PI) e índice SPAD aos 51, 80 e 100 dias e, massa de cem grãos aos 100 dias.

Váriavéis	Genótipo (G)	Nitrogênio (N)	G*N
<b>51 DIAS</b>			
<b>Assimilação Fotossintética de Carbono</b>	0,0084	0,4995	0,1274
<b>Condutância Estomática</b>	0,0006	0,0013	0,0015
<b>Carbono Interno</b>	0,2499	0,2163	0,0186
<b>Transpiração</b>	0,3213	0,1686	0,4701
<b><math>DPV_{\text{folha-ar}}</math></b>	0,0224	0,1843	0,1055
<b>Fv/Fm</b>	0,7820	0,0160	0,8330
<b>Índice Fotossintético (PI)</b>	0,0004	0,0000	0,4004
<b>Índice SPAD</b>	0,0000	0,0000	0,0002
<b>80 DIAS</b>			
<b>Assimilação Fotossintética de Carbono</b>	0,0013	0,0000	0,0622
<b>Condutância Estomática</b>	0,0066	0,0039	0,3635
<b>Carbono Interno</b>	0,0331	0,0385	0,0317
<b>Transpiração</b>	0,0231	0,1749	0,7190
<b><math>DPV_{\text{folha-ar}}</math></b>	0,6110	0,0079	0,7209
<b>Fv/Fm</b>	0,4512	0,0056	0,4305
<b>Índice Fotossintético (PI)</b>	0,0872	0,0000	0,1159
<b>Índice SPAD</b>	0,0000	0,0000	0,0000
<b>100 DIAS</b>			
<b>Assimilação Fotossintética de Carbono</b>	0,0133	0,0231	0,0937
<b>Condutância Estomática</b>	0,3269	0,0832	0,2787
<b>Carbono Interno</b>	0,8297	0,6713	0,3441
<b>Transpiração</b>	0,0340	0,0189	0,0000
<b><math>DPV_{\text{folha-ar}}</math></b>	0,6208	0,0393	0,8443
<b>Fv/Fm</b>	0,8381	0,5969	0,2858
<b>Índice Fotossintético (PI)</b>	0,4740	0,1890	0,0166
<b>Índice SPAD</b>	0,0000	0,0106	0,2556
<b>Massa de Cem Grãos</b>	0,0008	0,0000	0,0002

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Trocas Gasosas

Para a variável assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub>, houve interação significativa entre Genótipos e Doses de N para os três períodos de avaliação (Tabela 1).

Para a avaliação aos 51 dias, quando foi aplicado N, o G1 foi superior ao G2. Quando não houve aplicação de N, não há diferença significativa entre os genótipos (Tabela 2). O G2, G3, G5 e G6 responderam melhor com a adubação nitrogenada na avaliação aos 80 dias. Quando comparamos os genótipos dentro dos níveis de N, não houve diferença significativa quando houve aplicação de N. Quando não houve aplicação de N, o G4 apresentou média superior aos genótipos G2 e G6 (Tabela 2). Já aos 100 dias, apenas o G2 e G5 continuaram a diferir estatisticamente quando comparados com ou sem adubação nitrogenada. Quando comparamos os genótipos dentro dos níveis de N, não houve diferença significativa quando houve aplicação de N. Quando não houve aplicação de N, os genótipos G1 e G6 apresentaram média superior ao genótipo G5 (Tabela 2).

A verificação das trocas gasosas é uma importante ferramenta na determinação da adaptação das plantas a determinados ambientes de cultivo, porque a redução na produtividade das plantas pode estar relacionada à redução na atividade fotossintética, podendo ela ser limitada por fatores inerentes ao local de cultivo (Peixoto *et al.*, 2002; Paiva *et al.*, 2005).

O nitrogênio tem sido considerado um dos principais nutrientes a limitar o crescimento e a produtividade dos vegetais. Portanto, plantas cultivadas com quantidades inadequadas de nitrogênio normalmente não expressam o seu potencial produtivo, por ocorrer reduções significativas na assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub>, enquanto a aplicação do N determina a formação de compostos relacionados à fotossíntese tais como transportadores

de elétrons e Rubisco (Cruz et al., 2007). Adicionalmente, concentrações ótimas de N podem ser necessárias para a manutenção da atividade carboxilativa da Rubisco (Cruz *et al.*, 2001).

**Tabela 2.** Valores médios de assimilação fotossintética de carbono ( $\mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), em genótipos de arroz submetidos a níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.

	51 DIAS		80 DIAS		100 DIAS	
	N	SN	N	SN	N	SN
G1	26,82 aA	23,98 aA	27,13 aA	23,24 abcA	26,43 aA	30,24 aA
G2	15,95 bA	20,43 aA	27,04 aA	17,11 bcB	34,59 aA	26,30 abB
G3	17,84 abA	22,48 aA	32,89 aA	25,96 abB	31,02 aA	24,99 abA
G4	21,59 abA	17,22 aA	28,50 aA	26,60 aA	24,67 aA	23,79 abA
G5	24,19 abA	24,54 aA	34,00 aA	23,00 abcB	26,72 aA	18,10 bB
G6	20,63 abA	24,63 aA	26,93 aA	14,83 cB	29,75 aA	29,80 aA
G7	20,81 abA	23,62 aA	31,00 aA	25,25 abA	26,19 aA	23,20 abA
G8	20,77 abA	17,23 aA	25,21 aA	24,82 abA	25,18 aA	26,19 abA

1. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro dos períodos de avaliação, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Cruz *et al.* (2004) observaram que plantas de mamão cultivadas sob deficiência de N têm um expressivo aumento na concentração de amido nos cloroplastos, e esse acúmulo normalmente é acompanhado por danos aos tilacóides (Bondada & Syvertsen, 2005), o que também ajuda a explicar a redução dos valores da assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> em ambientes onde o nitrogênio é escasso. Assim, pode-se sugerir que a redução da taxa fotossintética se deve, entre outros fatores, ao efeito negativo do nitrogênio sobre a condutância do mesófilo e não por promover alterações nas características dos estômatos.

Altas concentrações de amido no cloroplasto de plantas cultivadas sob deficiência de nitrogênio, como anteriormente mencionado, podem contribuir para a redução da condutância do mesófilo e dificultar o ingresso do CO<sub>2</sub> nos sítios de carboxilação, à semelhança do que foi observado por Guidi *et al.* (1998).

Em relação à condutância estomática, houve interação significativa entre Genótipos e Doses de N apenas na primeira avaliação (Tabela 3). O G1, G2, G3 e G5 apresentaram valores maiores quando receberam adubação nitrogenada aos 51 dias. Na avaliação dos genótipos dentro dos níveis de N, os genótipos G1, G3 e G5 foram superiores

aos genótipos G4, G7 e G8 quando houve aplicação de N. Sem aplicação de N, os genótipos G6 e G7 foram superiores ao G2, G3, G4 e G8.

**Tabela 3.** Valores médios de condutância estomática ( $\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), em genótipos de arroz submetido a níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.

	51 DIAS		80 DIAS		100 DIAS	
	N	SN	N	SN	N	SN
G1	0,69 aA	0,45 abB	0,62 aA	0,66 aA	0,91 aA	0,87 aA
G2	0,55 abA	0,29 bB	0,70 aA	0,67 aA	0,98 aA	0,78 aA
G3	0,64 aA	0,40 bB	0,89 aA	0,70 aA	1,00 aA	0,50 aA
G4	0,41 bA	0,40 bA	0,65 aA	0,59 aA	0,80 aA	0,69 aA
G5	1,00 aA	0,50 abB	0,93 aA	0,64 aA	0,84 aA	0,64 aA
G6	0,48 abA	0,65 aA	0,75 aA	0,50 aA	1,00 aA	1,00 aA
G7	0,42 bA	0,58 aA	0,80 aA	0,45 aA	0,98 aA	0,53 aA
G8	0,39 bA	0,38 bA	0,77 aA	0,65 aA	0,79 aA	0,90 aA

1. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro dos períodos de avaliação, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 80 dias, observa-se que o genótipo G3 apresenta média superior aos genótipos G4 e G6 (Tabela 3). Aos 100 dias, não se verificou diferença entre os genótipos (Tabela 2).

Uma menor condutância estomática exibida pelos genótipos sem adubação nitrogenada em relação aos genótipos com adubação nitrogenada (Tabela 3), não interferiu na taxa de assimilação fotossintética no mesmo período (Tabela 2). De modo geral, as plantas quando estão sob algum tipo de estresse reduzem a condutância estomática e, conseqüentemente, a transpiração (Tezara *et al.*, 2002). Nessas condições, a assimilação fotossintética de  $\text{CO}_2$  também acaba sendo reduzida (Ferraz *et al.*, 2012), fato que não ocorreu em nosso estudo.

Chaves *et al.* (2009) relatam que a redução da condutância estomática pode limitar a taxa de retenção de  $\text{CO}_2$  e, conseqüentemente, a concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) diminui nos espaços intercelulares devido ao consumo de  $\text{CO}_2$  pela atividade fotossintética, o que não aconteceu com os genótipos sem nitrogênio durante as épocas de avaliações. Isso pode ter ocorrido em decorrência do metabolismo desses genótipos, que mesmo em ambientes estressantes conseguem atingir maiores valores de fotossíntese, com uma menor

abertura estomática e com menos CO<sub>2</sub> nos espaços intercelulares sem ser comprometido pelo déficit de nitrogênio.

Para o parâmetro concentração interna de carbono ou simplesmente concentração de carbono (Ci), nos dois primeiros períodos de avaliações, houve interação significativa entre Genótipos e Doses de N, enquanto na terceira avaliação não se observou interação. Aos 51 dias, na avaliação dos genótipos dentro de cada nível de nitrogênio, o genótipo G5 apresentou valor superior ao genótipo G8 quando não houve aplicação de N (Tabela 4). Não houve diferença entre os genótipos quando foi aplicado N. Na análise dos níveis de N dentro de cada genótipo, o único que respondeu de forma diferente foi o genótipo G5, que apresentou média superior sem adubação nitrogenada (340,69 mg dm<sup>-3</sup>), diferindo estatisticamente do genótipo G5 com aplicação de N (272,57 mg dm<sup>-3</sup>) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Valores médios de carbono interno (mg.dm<sup>-3</sup>), em genótipos de arroz submetido a níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.

	51 DIAS		80 DIAS		100 DIAS	
	N	SN	N	SN	N	SN
G1	261,32 aA	297,92 abA	269,25 aA	293,50 abA	289,46 aA	278,44 aA
G2	257,37 aA	302,06 abA	278,74 aB	325,45 aA	276,46 aA	293,59 aA
G3	321,25 aA	281,75 abA	280,77 aA	283,36 abA	287,24 aA	253,05 aA
G4	261,64 aA	287,82 abA	264,62 aA	285,05 abA	279,71 aA	285,11 aA
G5	272,57 aB	340,69 aA	270,77 aA	293,37 abA	278,79 aA	292,37 aA
G6	325,44 aA	292,83 abA	286,43 aA	292,24 abA	282,11 aA	290,36 aA
G7	269,57 aA	289,94 abA	276,16 aA	248,19 bA	284,02 aA	267,84 aA
G8	297,75 aA	260,83 bA	285,70 aA	277,88 bA	283,69 aA	281,50 aA

1. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro dos períodos de avaliação, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 80 dias, ao desdobrar genótipos dentro dos níveis de nitrogênio, houve efeito dos genótipos apenas quando não houve aplicação de N, com o genótipo G2 apresentando valor superior (325,45 mg dm<sup>-3</sup>) aos genótipos G7 e G8 (Tabela 4). Em relação a avaliação dos níveis de N dentro dos genótipos, diferença significativa foi observada apenas no genótipo G2, com o tratamento sem adubação nitrogenada apresentando valor superior quando comparado com o tratamento com adubação nitrogenada (Tabela 4).

Segundo Taiz e Zeiger (2017), a concentração interna de CO<sub>2</sub> é importante porque a produtividade de uma planta pode ser analisada como o produto da energia solar interceptada e do CO<sub>2</sub> fixado durante um período. Na presença de quantidade adequada de luz e ausência de estresse, concentrações mais altas de CO<sub>2</sub> sustentam valores de assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> elevadas, enquanto que em concentrações intercelulares de CO<sub>2</sub> muito baixas a fotossíntese é limitada. Comumente, incrementos nos valores de Ci também são acompanhados de acréscimo na condutância estomática, sabendo disso, valores menores de Ci também são acompanhados pelo decréscimo da condutância estomática e, essa limitação estomática seria o fator principal da limitação do desempenho fotossintético de vez que, quanto maior a abertura estomática maior a difusão de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática (Nascimento, 2009).

Para os valores de transpiração não houve interação entre Genótipos e Doses de N na primeira e segunda avaliação (51 e 80 dias, respectivamente), porém na terceira avaliação (100 dias) essa interação foi observada (Tabela 5).

**Tabela 5.** Valores médios de transpiração (m mol.m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), em genótipos de arroz submetido a níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.

	51 DIAS		80 DIAS		100 DIAS	
	N	SN	N	SN	N	SN
G1	8,51 aA	9,64 aA	10,28 aA	10,83 aA	13,30 abcA	13,48 aA
G2	5,92 aA	7,60 aA	11,48 aA	11,40 aA	13,19 abcA	12,27 aA
G3	7,71 aA	7,66 aA	12,50 aA	10,87 aA	15,27 aA	8,92 bB
G4	8,53 aA	7,24 aA	10,05 aA	9,80 aA	10,63 cA	12,33 aA
G5	8,96 aA	9,13 aA	11,37 aA	10,08 aA	13,40 abcA	12,07 aA
G6	8,45 aA	9,43 aA	10,74 aA	8,46 aA	13,75 abA	13,74 aA
G7	6,20 aA	10,12 aA	11,86 aA	8,68 aA	13,35 abcA	11,65 abA
G8	7,27 aA	7,09 aA	10,00 aA	10,28 aA	11,48 bcA	13,74 aA

I. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro dos períodos de avaliação, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na avaliação realizada aos 100 dias, na avaliação dos níveis de N dentro dos genótipos, apenas para o genótipo G3 houve diferença significativa, com média superior obtida quando houve a aplicação de N (Tabela 5). Em relação a análise dos genótipos dentro

dos níveis de N, o genótipo 3 foi superior aos genótipos G4 e G8 dentro do nível aplicação de N e, para o nível sem aplicação de N, o genótipo G3 apresentou média inferior aos demais, exceto G7 (Tabela 5).

Os genótipos que receberam restrição na adubação obtiveram um decréscimo em sua transpiração quando apresentaram valores mais altos de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  (Tabela 6). O  $DPV_{\text{folha-ar}}$  é uma variável que impulsiona a transpiração e altos valores ao longo do dia, causam fechamento estomático e reduzem o crescimento (Almeida 2003).

Durante o nosso estudo, a umidade relativa do ar estava com média de 67%, e segundo Taiz e Zeiger (2017), quando a umidade relativa do ar está alta, o gradiente de difusão que move a perda de água é aproximadamente 50 vezes maior do que o gradiente que promove a absorção de  $CO_2$ , e no ar seco, esse gradiente pode ser ainda maior, comprovando a importância do controle estomático para evitar altas taxas de transpiração.

De acordo com Inoue e Ribeiro (1988), a transpiração é um fenômeno influenciado principalmente pela temperatura e a saturação de vapor d'água. Sob as mesmas condições, diferenças na transpiração podem indicar um mecanismo estomático com maior ou menor eficiência, implicando na economia de água pela planta.

Os resultados do  $DPV_{\text{folha-ar}}$  mostraram na primeira avaliação que houve interação entre os Genótipos e Doses de N e nas avaliações subsequentes essa interação não ocorreu (Tabela 6). Aos 51 dias, na avaliação dos níveis de adubação dentro dos genótipos, houve diferença significativa apenas para o genótipo G5, com valores superiores quando houve a presença de adubação nitrogenada, enquanto para a avaliação dos genótipos dentro dos níveis de N, não houve diferença significativa entre os genótipos quando foi aplicado N. Sem aplicação de N, os genótipos G3, G4 e G8 foram superiores ao genótipo G5 (Tabela 6).

Para as avaliações realizadas aos 80 e 100 dias, não houve diferença significativa entre os genótipos (Tabela 6).

O resultado do nosso estudo corrobora o que foi observado por Shirke e Pathre (2004), que relata que altos valores de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  fazem com que ocorra um declínio relevante na condutância estomática e na fotossíntese líquida.

**Tabela 6.** Valores médios de  $DPV_{\text{folha-ar}}$  (kPa), em genótipos de arroz submetido a níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.

	51 DIAS		80 DIAS		100 DIAS	
	N	SN	N	SN	N	SN
G1	1,85 aA	1,58 abA	1,91 aA	1,88 aA	1,78 aA	1,96 aA
G2	2,18 aA	1,52 abA	1,88 aA	1,90 aA	1,79 aA	1,85 aA
G3	1,42 aA	2,04 aA	1,67 aA	2,03 aA	1,71 aA	2,29 aA
G4	2,26 aA	2,09 aA	1,82 aA	1,99 aA	1,88 aA	2,04 aA
G5	1,78 aA	0,94 bB	1,46 aA	1,89 aA	1,80 aA	2,06 aA
G6	1,63 aA	1,58 abA	1,63 aA	2,09 aA	1,65 aA	1,66 aA
G7	2,13 aA	1,96 abA	1,76 aA	2,38 aA	1,80 aA	2,30 aA
G8	2,02 aA	2,27 aA	1,56 aA	1,82 aA	1,72 aA	1,80 aA

1. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro dos períodos de avaliação, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Plantas estressadas aumentam a temperatura de suas folhas ( $T_F$ ), esse aumento da  $T_F$  está relacionado ao aumento da resistência difusiva, controlado predominantemente pela diminuição da condutância estomática em consequência da diminuição do conteúdo de água disponível no solo (Mansur; Barbosa, 2000) ou do aumento excessivo de  $DPV_{\text{ar}}$ .

Segundo Costa & Marengo (2007), a variação no  $DPV_{\text{folha-ar}}$  reflete estreitamente as mudanças da temperatura das folhas. Marengo & Lopes (2005) relatam que o  $DPV_{\text{folha-ar}}$  é uma variável que depende tanto da umidade e temperatura do ar como da temperatura da folha.

Em nosso estudo, plantas estressadas apresentaram valores de  $DPV_{\text{folha-ar}} > 1,5$  kPa, sendo mais sensível do que outras plantas que estavam sob a mesmas condições de estresse. Mediavilla & Escudero (2004), relata que embora o fechamento estomático seja uma resposta comum a altos valores de déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, diferentes espécies podem exibir distintos níveis de sensibilidade e taxas de resposta.

## Eficiência Fotoquímica

A análise de variância do rendimento quântico máximo do FSII (Fv/Fm) não apresentou interação entre Genótipos e níveis de N nas três avaliações (51, 80 e 100 dias) (Tabela 7). Em relação ao estudo dos fatores de forma isolada, não houve efeito dos genótipos nas três avaliações (Tabela 6).

**Tabela 7.** Valores médios de rendimento quântico máximo do FSII (Fv/Fm), em genótipos de arroz submetido a níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.

	51 DIAS		80 DIAS		100 DIAS	
	N	SN	N	SN	N	SN
G1	0,80 aA	0,80 aA	0,79 aA	0,78 aA	0,79 aA	0,81 aA
G2	0,80 aA	0,78 aA	0,79 aA	0,64 aA	0,81 aA	0,78 aA
G3	0,81 aA	0,80 aA	0,81 aA	0,64 aA	0,69 aA	0,80 aA
G4	0,79 aA	0,79 aA	0,79 aA	0,79 aA	0,77 aA	0,78 aA
G5	0,81 aA	0,75 aA	0,79 aA	0,61 aA	0,80 aA	0,76 aA
G6	0,80 aA	0,78 aA	0,80 aA	0,73 aA	0,80 aA	0,67 aA
G7	0,80 aA	0,77 aA	0,80 aA	0,77 aA	0,78 aA	0,79 aA
G8	0,80 aA	0,77 aA	0,81 aA	0,78 aA	0,77 aA	0,79 aA

1. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro dos períodos de avaliação, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Quando o aparelho fotossintético se encontra intacto, os valores de Fv/Fm variam entre 0,75 e 0,85 (Reis e Campostrini, 2008; Santos *et al.*, 2010; Suassuna *et al.*, 2010). No tratamento com adubação nitrogenada nas três épocas de avaliação, os valores encontrados nas plantas deste tratamento esteve entre 0,78 e 0,80 e denotam que, não houve dano fotoinibitório. Segundo Trovão *et al.* (2007), valores inferiores a 0,75 de Fv/Fm revelam que o aparato fotossintético da planta foi comprometido, ou seja, a planta encontra-se em condição de estresse. Araújo *et al.* (2004) relatam que um declínio no rendimento quântico do fotossistema II reflete na redução do potencial fotossintético da planta, e 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 (acima de 0,75). Esses valores coincidem ainda com os dados obtidos por Puteh *et al.* (2013) quando compararam quatro genótipos de arroz em dois regimes hídricos (média de plantas sem estresse de 0,78).

Enquanto o Fv/Fm expressa a eficiência quântica máxima do FSII, o PI (índice fotossintético) expressa a eficiência tanto no FSII quanto no FSI. Para as avaliações de PI houve interação significativa entre os fatores Genótipo e Níveis de N aos 80 e 100 dias (Tabela 8). Para a avaliação realizada aos 50 dias, não foi observado efeito do fator níveis de N. Quanto aos genótipos, o genótipo G1 apresentou média superior aos genótipos G2, G4 e G6 (Tabela 8).

Para a avaliação realizada aos 80 dias, dentro dos genótipos, houve diferença significativa para os níveis de N dentro dos genótipos G1, G2, G3, G6, G7 e G8 com adubação nitrogenada, apresentaram médias superiores em relação a eles em ambientes sem adubação com N. Para as médias dos genótipos dentro dos níveis de N, o genótipo G1 apresentou média superior ao genótipo G4 no nível com aplicação de N. Para o nível sem aplicação de N, não houve diferença entre os genótipos (Tabela 8).

**Tabela 8.** Valores médios de índice fotossintético (PI), em genótipos de arroz submetido a níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.

	51 DIAS		80 DIAS		100 DIAS	
	N	SN	N	SN	N	SN
G1	6,46 aA	4,79 aA	5,34 aA	2,89 aB	2,92 abA	2,69 aA
G2	4,37 aA	3,68 aA	4,07 abA	1,14 aB	3,42 abA	1,94 aA
G3	6,21 aA	4,02 aA	4,60 abA	1,18 aB	3,67 bA	1,68 aB
G4	3,69 aA	3,24 aA	3,05 bA	2,53 aA	1,75 abA	2,75 aA
G5	5,52 aA	3,57 aA	3,57 abA	2,22 aA	3,44 abA	2,05 aA
G6	5,98 aA	3,29 aA	3,92 abA	1,88 aB	3,77 abA	1,75 aB
G7	4,56 aA	3,54 aA	4,34 abA	2,51 aB	4,71 aA	2,52 aB
G8	3,81 aA	2,73 aA	3,69 abA	2,15 aB	1,83 abA	2,33 aA

1. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro dos períodos de avaliação, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Para a avaliação realizada aos 100 dias, foi observada diferença significativa para os níveis de N dentro dos genótipos G3, G6 e G7, com o nível com aplicação de N apresentando média superior nestes genótipos. Para a análise dos genótipos dentro dos níveis

de N, para o nível com aplicação de N, o genótipo G7 foi superior ao genótipo G3. Não foi observada diferença significativa para os genótipos dentro do nível sem aplicação de N (Tabela 8).

Nosso estudo mostra que as plantas com adubação nitrogenada apresentaram os valores de  $F_v/F_m$  dentro dos padrões normais (0,75 – 0,85) e as plantas que estavam sobre estresse (sem adubação nitrogenada) apresentaram valores abaixo dessa faixa considerada ideal, considera-se que houve um dano no aparato fotossintético ou um aumento no processo de fotoinibição (Lichtenthaler *et al.*, 2005; Guo *et al.*, 2006). Se tratando das razões  $F_v/F_0$ , os menores valores foram encontrados em plantas sem adubo nitrogenado por apresentarem fotoinibição e assim ocorreu uma redução da eficiência do processo fotossintético, como também pode ser confirmado pelas reduções do índice fotossintético, que possivelmente foi favorecido por dano estrutural nos tilacóides, que pode afetar o transporte fotossintético de elétrons.

Stirbert & Govindjee (2011) relatam que o índice fotossintético apresenta maior sensibilidade para detectar estresses, pois depende principalmente da densidade de centros de reação, e da eficiência no transporte de elétrons.

Silva *et al.* (2011) afirmam que a alta correlação entre os sintomas de estresse e a redução do desempenho fotossintético em plantas reforça a utilidade do índice fotossintético como indicador de estresse. Pinto *et al.* (2012) relata que tais mudanças podem representar perda de eficiência fotoquímica pelas plantas e, como consequência, a diminuição da fotossíntese.

### **Índice SPAD**

Houve interação entre os fatores Genótipos e Níveis de N para a variável índice SPAD para as três avaliações (Tabela 9).

Aos 51 dias, observou-se, para as médias dos níveis de adubação dentro dos genótipos, diferença significativa para os genótipos G1, G2, G4, G7 e G8, com o nível com aplicação de N apresentando média superior nestes genótipos (Tabela 9). Para a análise dos genótipos dentro dos níveis de N, não foi observada diferença significativa dentro do nível com aplicação de N. Para o nível sem aplicação de N, observaram-se médias superiores para os genótipos G4, G5 e G6 em relação aos demais (Tabela 9).

Aos 80 dias, observou-se, para as médias dos níveis de adubação dentro dos genótipos, diferença significativa para todos os genótipos, exceto G4, com o nível com aplicação de N apresentando média superior nestes genótipos (Tabela 9). Para a análise dos genótipos dentro dos níveis de N, observa-se que o genótipo G3 apresentou média superior aos genótipos G2, G4, G6, G7 e G8, dentro do nível com aplicação de N. Para o nível sem aplicação de N, observaram-se médias superiores para os genótipos G1, G4 e G5 em relação aos demais (Tabela 9).

**Tabela 9.** Valores médios de índice SPAD em genótipos de arroz submetido a níveis de adubação nitrogenada (N= Nitrogênio; SN= Sem Nitrogênio) aos 51, 80 e 100 dias.

	51 DIAS		80 DIAS		100 DIAS	
	N	SN	N	SN	N	SN
G1	46 aA	37 cdB	93 abA	85 aB	90 aA	49 aB
G2	48 aA	43 bcB	82 bcA	49 bcB	50 bA	23 aB
G3	46 aA	42 bcA	101 aA	47 cB	58 abA	37 aA
G4	51 aA	46 aB	53 dA	49 aA	44 bA	52 aA
G5	47 abA	49 aA	95 abA	79 aB	74 abA	33 aB
G6	45 abA	46 aA	87 bcA	48 bcB	53 abA	47 aA
G7	47 aA	36 cdB	77 cA	40 cB	48 bA	44 aA
G8	45 aA	35 dB	83 bcA	60 bB	61 abA	33 aB

1. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, dentro dos períodos de avaliação, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 100 dias, observou-se, para as médias dos níveis de adubação dentro dos genótipos, diferença significativa para todos os genótipos G1, G2, G5 e G8, com o nível com aplicação de N apresentando média superior nestes genótipos (Tabela 9). Para a análise dos genótipos dentro dos níveis de N, observa-se que o genótipo G1 apresentou média superior

aos genótipos G2, G4 e G7, dentro do nível com aplicação de N. Para o nível sem aplicação de N, não houve diferença significativa entre os genótipos (Tabela 9).

Essa redução do teor de clorofila das folhas dos tratamentos sem nitrogênio e aumento dos genótipos com nitrogênio, pode influenciar diretamente a fotossíntese desses tratamentos. Ma *et al.* (2011), também observaram que a fotossíntese está diretamente relacionado ao teor de clorofila das plantas, no presente trabalho, os resultados apresentados também comprovam isso.

Yu & Rengel (1999) & Nedjimi (2014), enfatizam que reduções no teor de clorofila está diretamente associada a danos causados por estresse biótico e abiótico, como déficit de nitrogênio e hídrico. Para Kerbauy (2008) e Taiz & Zeiger (2017) a deficiência de nutrientes como nitrogênio no solo ocasiona clorose nas folhas, interferindo no processo fotossintético. Essas plantas com deficiência em N degradam as moléculas de clorofila, para translocar o N para regiões de crescimento ativo.

Fidelis et al. (2012) relatam que o nitrogênio deve estar disponível no momento da demanda da planta de arroz para que não ocorra ou amenize o estresse por N. Scivittaro & Machado (2004) fazem uma ressalva, que embora a adubação nitrogenada possa suprir as necessidades da planta quando o solo não tem esta capacidade, a resposta do arroz a essa prática varia bastante, em função de características do solo, clima e planta para que se tenha eficiência agronômica do N.

Os resultados reforçam que o teor de clorofila estar positivamente relacionado ao teor de N na planta e com o rendimento das culturas. Fu *et al.* (2014); Hughes *et al.* (2016), relatam que a medição da estimativa do teor de clorofila nas folhas eram usadas no passado para monitorar o estado de N nas plantas. Esta relação é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas façam parte de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (Reinbothe *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2010).

Com o desdobramento dos genótipos dentro dos níveis de N, os resultados mostram diferenças no teor de índice SPAD entre genótipos, sendo algo comumente observada também entre espécies ou variedades de plantas. Fidelis *et al.* (2012) relatam que cultivares eficientes no uso do nitrogênio é indicada para os cultivos de baixa e média tecnologia, nos quais agricultores não dispõem de capital para adquirir insumos nitrogenados em função do alto custo.

### Massa de cem grãos e Produção total de grãos

Na produção total de grãos de arroz, o resultado demonstrou que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Para a variável massa de cem grãos avaliada aos 100 dias, observa-se que houve efeito da interação entre os fatores Genótipos e Níveis de N (Tabela 10).

**Tabela 10.** Valores médios de Massa de Cem Grãos em genótipos aos 100 dias.

100 DIAS		
	N	SN
G1	1,97 abcA	2,03 bA
G2	1,69 bcB	1,98 bA
G3	1,96 abcA	1,96 bA
G4	2,05 abB	2,48 aA
G5	2,23 aA	2,26 abA
G6	1,56 cB	2,51 aA
G7	1,93 abcA	2,12 abA
G8	1,95 abcA	2,00 bA

1. Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se, para as médias dos níveis de adubação dentro dos genótipos, diferença significativa para os genótipos G4, G2 e G6, com o nível sem aplicação de N apresentando média superior nestes genótipos (Tabela 10). Para a análise dos genótipos dentro dos níveis de N, observa-se que o genótipo G5 apresentou média superior aos genótipos G2 e G6, dentro do nível com aplicação de N. Para o nível sem aplicação de N,

observaram-se médias superiores para os genótipos G4 e G6 em relação aos genótipos G1, G2, G3 e G8 (Tabela 10).

Em estudo realizado por Kischel *et al.* (2011), as médias das cultivares observadas para variável parâmetro massa de cem grãos foram superiores em ambientes que apresentavam baixo teor de nitrogênio. Buzetti *et al.* (2006), estudando o a utilização de reguladores de crescimento e o efeito da dose de N em duas cultivares de arroz irrigado, também observaram valores menores nas médias quando o nível de nitrogênio aumentou. Segundo Kischel *et al.* (2011), as menores médias para massa de 100 grãos em ambientes com maior concentração de N, deve-se provavelmente ao fato de ter ocorrido um consumo de luxo devido ao excesso de N. Desse modo, a planta acabou priorizando o crescimento (altura de plantas e número de perfilho), como observado em nosso estudo e, redistribuindo os fotoassimilados para as panículas e reduzindo a massa específica do grão, formando grãos de menores tamanhos. De acordo com Buzetti *et al.* (2006), a massa de cem grãos é uma característica dependente do tamanho do grão.

## CONCLUSÕES

Dentre os genótipos estudados, existem genótipos que não depende de grandes quantidades de nitrogênio para responder satisfatoriamente em variáveis fisiológicas que são essenciais para a sua manutenção e produção.

O G2=AB112342 e G5= AB162666 sem nitrogênio apresentaram boa concentração interna de CO<sub>2</sub>.

O G4= BRS A501 CL e G5= AB162666 são plantas que submetidas ao déficit de N, não diminuem sua vitalidade.

A produção total de grãos não foi afetada, porém, os genótipos G2= AB112342, G4= BRS A501 CL e G6= AB142538 mostraram não ser dependente de grandes quantidades de nitrogênio para encher seus grãos.

Dentre os genótipos estudados, o G4= BRS A501 CL em ambiente com déficit de N é o que apresentou melhor resultado a parâmetros fisiológicos.

O G1= AB142467 e G7= AB112315 são plantas que submetidas ao déficit de N não respondem satisfatoriamente.

### **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual do Maranhão e Programa de Pós-graduação em Agroecologia e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária por disponibilizar seus recursos materiais e humanos.

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

### **REFERÊNCIAS**

Almeida, A. (2003). Application of a process-based model for predicting and explaining growth in Eucalyptus Applications, Washington, v. 12, n. 5, p. 1267-1275.

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

Bondada, B.R.; Syvertsen, J.P. Concurrent changes in net CO<sub>2</sub> Assimilation and chloroplast ultrastructure in nitrogen deficient citrus leaves. Environmental and Experimental Botany, Oxford, v.54, n.1, p.41-48, 2005.

Borrell, A. K. et al. Season and plant type affect the response of rice yield to nitrogen fertilization in a semi-arid tropical environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, v. 49, n. 2, p. 179-190, 1998.

Buzetti, S.; Bazanini, G. C.; Freitas, J. G.; Andreotti, M.; ARF, O.; SA, M. E.; Meira, F. A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 12, p. 1731 - 1737, 2006.

Cancellier, E.L.; Barros, H.B.; Kischel, E.; Gonzaga, L.A.M.; Brandão, D.R.; Fidelis, R.R. Eficiência agronômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de terras altas. *Agrária*, Recife, v.6, n.4, p.650-656, 2011.

Chaves, M. M.; Flexas, J.; Pinheiro, C. Photosynthesis and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, v.103, p. 551-560, 2009.

CONAB. (FEVEREIRO/MARÇO 2019). Análise mensal - Arroz. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-arroz>

Costa, G.F.; Marengo, R.A. Photosynthesis, stomatal conductance and leaf water potential in crabwood (*Carapa guianensis*). *Acta Amaz.* vol.37 no.2 Manaus June 2007

Crusciol, C.A.C; Soratto, R.P.; Nascente, A.S.; Arf, O. Root distribution, nutrient uptake, and yield of two upland Rice cultivars under two water regimes. *Agronomy Journal*, Madison, v. 105, p. 237-247, 2013.

Cruz, J.L. Efeitos de níveis de nitrato sobre o metabolismo do nitrogênio, assimilação do CO<sub>2</sub> e fluorescência da clorofila a em mandioca. 2001. 87f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Cruz, J.L. et al. Crescimento e partição de matéria seca e de carbono no mamoeiro em resposta à nutrição nitrogenada. *Bragantia*, Campinas, v.63, n.3, p.351-361, 2004.

Cruz, J. L.; Pelacani, C. R.; Carvalho, J. E. B. de; Souza Filho, L. F. da S.; Queiroz, D. C. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro “Golden”. *Ciência Rural*, v.37, p.64-71, 2007.

Daley, P.F.; Raschke, K.; Ball, J.Y.; Berry, J.A. Topography of photosynthetic activity of leaves obtained from video images of chlorophyll fluorescence. *Plant Physiology*, v.90, p.1233-1238, 1989. PMID:16666912 PMCID:PMC1061872. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.90.4.1233>

Dawson, J. C.; Huggins, D. R.; Jones, S. S. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research*, v. 107, n. 2, p. 89-101, 2008.

Evans, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C<sub>3</sub> plants. *Oecologia*, Berlin, v.78, n.1, p.9-19, 1989.

Fageria NK, Baligar VC. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv Agron.* 2005;88:97-185.

Fageria, N. K. Yield physiology of rice. *Journal of Plant Nutrition*, 30 (5):843-879. 2007

Fageria, N.K.; Sant'ana, E.P.; Moraes, O.P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.9, p.1155-1161, set. 1995.

Ferraz, R.L.S.; Melo, A.S.; Suassuna, J.F.; Brito, M.E.B.; Fernandes, P.D.; Nunes Júnior, E.S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. *Revista Pesquisa Tropical*, v.42, p.181-188, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000200010>

Fidelis, R. R.; Kischel, E.; Machado, A. F. L.; Cancellier, E. L.; Passos, N. G. Eficiência no uso de nitrogênio de genótipos de arroz em solos de várzea irrigada. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 1, p. 264-272, 2012.

Fidelis, R. R., Rodrigues, A. M., Silva, G. F., Barros, H. B., Pinto, L. C., Aguiar, R. W. S., & Fidelis, R. R. (2012). Eficiência do uso de nitrogênio em genótipos de arroz de terras altas. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Online)*, 42, 124- 128.

Fu, X. Y.; Mo, W. P.; Zhang, J. Y.; Zhou, L. Y.; Wang, H. C.; Huang, X. M. Shoot growth pattern and quantifying flush maturity with SPAD value in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.).

Scientia Horticulturae, Kentucky, v. 174, p. 29-35, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.029> .

Furlani Júnior, E., Nakagawa, J., Bulhões, L.J., Moreira, J.A.A., Grassi Filho, H. Correlation between chlorophyll readings and levels of nitrogen applied in bean. *Bragantia*, Campinas, v.55, p.171 - 175, 1996.

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.

Guidi, L. *et al.* Growth and photosynthesis of *Lycopersicum esculentum* (L.) plants as affected by nitrogen deficiency. *Biologia Plantarum*, Prague, v.40, n.2, p.235-244, 1998.

Guo, Z.; Ou, W.; Lu, S.; Zhong, Q. Differential responses of antioxidative system to chilling and drought in four rice cultivars differing in sensitivity. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 44, n. 11, p. 828-836, 2006.

Hughes, M. P.; Mlambo, V.; Lallo, C. H.; Basha, N. A.; Nsahlai, I. V.; Jennings, P. G. Accuracy of two optical chlorophyll meters in predicting chemical composition and in vitro ruminal organic matter degradability of *Brachiaria* hybrid, *Megathyrus maximus*, and *Paspalum atratum*. *Animal Nutrition*, Beijing, v. 1, p. 1-10, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aninu.2016.10.002>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). 2018. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>

Inoue, M.T.; Ribeiro, F.A. Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptu ssp.* e *E. saligna*. Revista do IPEF, v.40, p.15-20, 1988.

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

Kerbauy, G. B. Fisiologia vegetal. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.

Kischel, E.; Fidelis, R. R.; Santos, M. M.; Brandão, D. R.; Cancellier, E. R.; Nascimento, I. R. Efeito do nitrogênio em genótipos de arroz cultivados em várzea úmida do Estado do Tocantins. Revista Ceres, v. 58, n. 1, p. 84-89, 2011.

Lichtenthaler, H. K.; Buschmann, C.; Knapp, M. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RfD of leaves with the PAM fluorometer. Photosynthetica, v. 43, n. 3, p. 379-393, 2005.

Li GL et al (2013). Response of Chlorophyll Fluorescence Parameters to Drought Stress in Sugar Beet Seedlings. Russ J. Plant Physiol., 60:337-342

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

Marenco, R.A.; Lopes, N.F. 2005. *Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*, Editora UFV. Viçosa, MG. 451pp.

Mansur, R. J. C. N. & Barbosa, D. C. A. (2000). Comportamento fisiológico em plantas jovens de quatro espécies lenhosas da caatinga submetidas a dois ciclos de estresse hídrico. *Phyton* 68: 97-106.

Mediavilla, S., Escudero, A. (2004). Stomatal responses to drought of mature trees and seedlings of two co-occurring Mediterranean oaks. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 187, p. 281-294.

Nascimento, J. L. Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico. Ilhéus: UESC, 110p. 2009. Dissertação Mestrado

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.

Paiva, A.S.; Fernandes, E.J.; Rodrigues, T.J.D.; Turco, J.R.P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.161- 169, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100018>

Peixoto, P.H.P.; Matta, F.M.; Cambraia, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, v.25, p.821-832, 2002.

[http:// dx.doi.org/10.1081/PLN-120002962](http://dx.doi.org/10.1081/PLN-120002962)

Pinto, D. G. *et. Al* (2012). Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 59, n.3, p. 360-367.

Raschke, K. Movements using turgor mechanisms: movements of stomata. In: HAUPT, W.; FEINLEIB, M.E. (Ed.). *Encyclopedia of Plant Physiology*. Berlin: Springer-Verlag, 1979. p.383-441. (Physiology of Movements. New Series, 7).

Reinbothe, C.; Bakkouri, M.; Buhr, F.; Muraki, N.; Nomata, J.; Kurisu, G.; Fujita, Y. E Reinbothe, S. Chlorophyll biosynthesis: spotlight on protochlorophyllide reduction. *Trends in Plant Science, Oxford*, v.15, n.11, p.614-624, 2010.

Reis, F. O.; Campostrini, E. (2008). Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo 'formosa' cultivado em condição de campo. *Bragantia*, v.67, p.815-822.

Santos, A. B. dos; Stone, L. F.; Vieira, N. R. e A. (Ed.). *A cultura do arroz no Brasil*. **2. ed.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p.

Santos, C. M.; Gonçalves, E. R.; Endres, L.; Gomes, T. C. A.; Jadoski, C. J.; Nascimento, L. A.; Santos, E. D. (2010) Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.3, p.95-102.

Scivittaro, W.B.; Machado, M.O. Adubação e calagem para a cultura do arroz irrigado. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de (Org). Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.cap.9,p.259-303

Shirke, P.A.; Pathre, U.V. (2004). Influence of leaf-to-air vapour pressure deficit (VPD) on the biochemistry and physiology of photosynthesis in *Prosopis juliflora*. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 55, n.405, p. 2111-2120.

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.

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

Singh, V.; Singh, B.; Singh, Y.; Thind, H. S. E Gupta, R. K. Need based nitrogen management using the chlorophyll meter and leaf colour chart in rice and wheat in South Asia: a review. *Nutrient Cycling Agroecosyst*, Dordrecht, v.88, p.361-380, 2010.

Souza, R. P. de. Estresse salino de curta duração nos mecanismos fisiológicos de cana-de-açúcar. 2013. 49 f. Dissertação (Graduação) - Curso de Licenciatura Plena em Ciências Biológicas, Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

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.

Suassuna, J. F.; Melo, A. S.; Costa, F. S.; Fernandes, P. D.; Ferreira, R. S.; Sousa, M. S. S. (2011) Eficiência fotoquímica e produtividade de frutos de meloeiro cultivado sob diferentes lâminas de irrigação. *Semina: Ciências Agrárias*, v.32, p.1251-1262.

Taiz, L.; Zeiger, E. (2004). *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 719 p.

Taiz, L.; Zeiger, E. (2006). *Fisiologia vegetal*, 3. ed. Porto Alegre: Artmed, p.174-219

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

Tezara, W.; Mitchell, V.; Driscoll, S. P.; Lawlor, D. W. Effects of water deficit and its interaction with CO<sub>2</sub> supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. *Journal of Experimental Botany*, Elmsford, v.53, p.1781- 1791, 2002.

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.

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.

Zonta, J. B.; Silva, F. B. Dinâmica da orizicultura no Maranhão. *Revista de Política Agrícola*, v. 23, n. 2, 116-132, 2014.

## NORMAS DA REVISTA

### Submissões

Os trabalhos devem ser submetidos exclusivamente *on line* acessando-se o site [www.ceres.ufv.br](http://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, 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 de artigos somente na língua inglesa.

Abaixo existe uma lista de sugestões de pessoas físicas ou jurídicas que realizam traduções:

### Pessoas físicas:

Evelyn Jardim de Oliveira - evelyn\_jardim@yahoo.com.br

Isabel Rademaker Valença - isa.valenca8@gmail.com

- <http://www.journalexperts.com>
- <http://www.wsr-ops.com>
- <http://www.journaleditorsusa.com>
- <http://www.queensenglishediting.com>
- <http://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 artigos e comunicações

Os autores devem indicar área e subáreas do artigo, antes do título, a fim de facilitar o envio dos manuscritos aos avaliadores. Ao final desta página constam as áreas e subáreas da Revista Ceres.

## CORPO DO TEXTO

Os artigos devem conter as seguintes seções:

**TITLE**

**ABSTRACT**

**KEY WORDS**

**INTRODUCTION****MATERIAL and METHODS****RESULTS and DISCUSSION****CONCLUSIONS****REFERENCES****ACKNOWLEDGEMENTS, FINANCIAL SUPPORT and FULL DISCLOSURE**

A **AUTORIA DO ARTIGO**, o **RODAPÉ**, e a **CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES** devem ser enviados em um documento à parte, em "**documentos suplementares**".

**O RODAPÉ** deve conter as seguintes informações:

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:

1 This work is part of the first author's Master Dissertation.  
 2Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitopatologia, Viçosa, Minas Gerais, Brazil. maria@ufv.br; anamaria@ufv.br; simonefonseca@ufv.br  
 3Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil. antonio@ufla.br  
 \*Corresponding author: maria@ufv.br

Em **AUTHOR CONTRIBUTION**, deve-se especificar qual foi a contribuição de cada autor no desenvolvimento da pesquisa.

**TITLE**

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).

**ABSTRACT**

A palavra "ABSTRACT" deve ser escrita em letra maiúscula, alinhada à esquerda e ter aplicação de negrito. Essa seção deve conter **no máximo 200** palavras e ter apenas um parágrafo. O texto deve conter, em linhas gerais, a hipótese, os objetivos, material e métodos utilizados, resultados expressivos alcançados e a conclusão. O texto deve ser iniciado na linha subsequente ao título dessa seção.

**KEY WORDS**

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.

## **INTRODUCTION**

O título dessa seção, "INTRODUCTION", deve ser escrito em letra maiúscula, 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 and METHODS**

O título dessa seção, "MATERIAL and METHODS", deve ser escrito em letra maiúscula, alinhado à esquerda. A seção deve ser redigida com detalhe suficiente 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.

## **RESULTS and DISCUSSION**

O título da seção, "RESULTS and DISCUSSION", deve ser escrito em letra maiúscula, alinhado à esquerda. O texto deve ser claro e conciso, apoiado na literatura pertinente. Results and Discussion são seções que podem vir juntas ou separadas.

Obs: As seções **Material and Methods** e **Results and Discussion** poderão conter subseções, indicadas por subtítulos escritos em itálico e negrito, iniciados por letra maiúscula e centralizados.

## **CONCLUSIONS**

O título da seção "CONCLUSIONS" deve ser escrito em letra maiúscula, alinhado à esquerda. As conclusões devem ser concisas e derivadas dos dados apresentados e discutidos. Cada conclusão deve constituir parágrafo novo.

## **REFERENCES**

O título da seção "REFERENCES" deve ser escrito em letra maiúscula, alinhado à esquerda. As referências devem ser listadas por ordem alfabética. Seguem os exemplos:

**a) Artigos de periódicos:**

Pinto JD (2006) A review of the new world genera of Trichogrammatidae (Hymenoptera). *Journal of Hymenoptera Research*, 15:38–163.

Possenti JC & Villela FA (2010) Efeito do molibdênio aplicado via foliar e via sementes sobre o potencial fisiológico e produtividade de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 32:143–150.

Martinez HEP, Poltronieri Y & Cecon PR (2015) Supplying zinc salt tablets increased zinc concentration and yield of coffee trees. *Journal of Plant Nutrition*, 38:136-140.

Stefanello Júnior GJ, Grützmacher AD, Spagnol D, Pasini RA, Bonez C & Moreira DC (2012) Persistência de agrotóxicos utilizados na cultura do milho ao parasitoide **Trichogramma pretiosu** Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Ciência Rural*, 42:17-23.

**b) Livros:**

Mengel K & Kirkby EA (2001) *Principles of plant nutrition*. 5ª ed. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 849p.

**c) Capítulos de livros:**

Martinez HEP, Neves JCL, & Alvarez VH (2017) Mineral Nutrition and Fertilization. In: Adriana Farah (Ed.) *Coffee: Chemistry, Quality and Health*. London, Royal Society of Chemistry. p.99-999.

**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:**

Fritsche-Neto R (2011) Seleção genômica ampla e novos métodos de melhoramento do milho. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 39p.

Hanauer JG (2011) Crescimento, desenvolvimento e produtividade em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em Santa Maria, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 81p.

**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.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/agroecologia/publicacoes/plantorganico2002.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/agroecologia/publicacoes/plantorganico2002.pdf). Acessado em: 23 de abril de 2013.

**h) Boletim técnico:**

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

Cruz I (1995) A lagarta-do-cartucho na cultura do milho. Sete Lagoas, Embrapa/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. 45 p. (Circular Técnica, 21).

**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

**k) Citação no Texto**

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 ideia 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 (2008), Borges & Loreno (2014), Batista et al. (2016).

### **l) 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.

### **m) Comunicação pessoal**

Não faz parte da lista de referências, sendo colocada apenas em nota de rodapé. Coloque 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.

### **AKNOWLEDGEMENTS, FINANCIAL SUPPORT and FULL DISCLOSURE**

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

Os autores devem declarar nesta seção se há, ou não, algum conflito de interesse na condução e publicação do trabalho.

### **DECLARATION OF ORIGINALITY, SIMILARITY CHECK AND COPYRIGHT ASSIGNMENT**

A fabricação e falsificação de dados e imagens são más condutas graves.

A CERES adota o programa **CrossRef Similarity Check** para verificação de duplicidade com textos já publicados.

A Declaração de Originalidade é de envio obrigatório e deverá ser anexada em “documentos suplementares”. Ela deverá ser impressa, assinada por todos os autores e digitalizada. Caso não seja possível enviar um único documento com as assinaturas de todos os autores, poderá ser enviada uma declaração para cada autor. **Assinaturas eletrônicas não serão aceitas.**

O Modelo de Declaração está no final desta página.

### **Normas para figuras e tabelas**

As figuras e tabelas devem ser posicionadas **após sua citação, no corpo do texto**. A diagramação final do artigo pode modificar o posicionamento das figuras e tabelas no artigo.

As figuras e tabelas 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 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.

### **Tables**

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 Table, seguida pelo número de ordem em algarismo arábico, separado do enunciado da tabela **por dois pontos** e é referida no texto como Table. Colunas compostas por números fracionários, esses devem ser alinhados pela vírgula.

### **Figures**

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 Figure, seguida do número de ordem em algarismo arábico separado do enunciado da figura **por dois pontos** e é referida no texto como Figure.

### **Custos**

A publicação do trabalho implicará o pagamento de uma taxa de R\$250,00. O pagamento deverá ser efetuado quando o autor correspondente receber a prova tipográfica e será feito exclusivamente na forma de Boleto Eletrônico. De posse do boleto impresso, basta quitá-lo em uma agência bancária ou caixa automática e enviar cópia para o e-mail que enviou a prova tipográfica. Solicita-se informar, via e-mail, a data e o número do boleto, quando forem feitos depósitos em que os autores não são identificados (recursos de convênios, departamentos, coordenações, etc.).

### **Política de Privacidade**

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.