



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



IVAN DA SILVA MIRANDA

**PRODUÇÃO DO ARROZ SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO
CERRADO MARANHENSE**

Chapadinha – MA

2021

PRODUÇÃO DO ARROZ SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO CERRADO MARANHENSE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de Engenharia
Agrícola da Universidade Federal do
Maranhão como requisito final para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola.

IVAN DA SILVA MIRANDA

Orientadora: Prof. Dra. Maryzélia Furtado de Farias

Co- orientadora: MsC. Kamila Cunha de Meneses

Chapadinha – MA

2021

TCC defendida e aprovada, em 30 de Abril de 2021, pela Comissão Examinadora
constituída pelos professores:

Banca Examinadora

Prof. Dra. Maryzélia Furtado de Farias
(Orientadora)
Universidade Federal do Maranhão- UFMA

MsC. Kamila Cunha de Meneses
(Coorientadora)
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Prof. Dr. Washington da Silva Sousa
(Examinador)
Universidade Federal do Maranhão- UFMA

da Silva Miranda, Ivan.

EFEITO DE DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NA
PRODUÇÃO

DO ARROZ NO CERRADO MARANHENSE / Ivan da Silva
Miranda. -2021.
30 f.

Coorientador(a): Kamila Cunha de Meneses. Orientador(a):
Maryzélia Furtado de Farias.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola,
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2021.

1. Déficit hídrico. 2. Evapotranspiração. 3. Oryza
sativa. I. Cunha de Meneses, Kamila. II. Furtado de
Farias, Maryzélia. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Tudo aquilo que antes era apenas um sonho, vai se tornando realidade. Posso afirmar que não foi nada fácil, mas Deus e com a ajuda de muitos, minha vitória esta sendo concretizada, dessa maneira desejo expressar meus sinceros agradecimento:

Aos meus sobrinhos, Rayza, Wagner, Maria Luiza, Maria Sophia, Miguel, Helena e em especial a minha mãe Luiza da Silva Miranda por ser a minha fonte de inspiração e minha maior motivadora para buscar e conseguir meus objetos, afirmo aqui que não seria nada se não fosse pelos ensinamentos e pelo amor que tenho por ela e ela por mim, então essa vitória é sua também Mãe;

Ao meu pai Antônio de Sousa Miranda, que também me incentivou e ajudou todos esses anos que estive na graduação;

Aos meus irmãos, Antônio da Silva Miranda, José Roberto da Silva Miranda, que sempre caminharam comigo durante toda essa batalha;

À minha orientadora, Prof. (a) Dr. (a) Maryzélia Furtado de Farias, pela oportunidade dada em trabalharmos juntos e aceitar-me como orientado, pelos ensinamentos de vida acadêmica e paciência durante todos esses anos;

À minha coorientadora, MsC. Kamila Cunha de Meneses, por contribuir de forma riquíssima na realização desse trabalho;

A minha banca em nome do Professor, Washington por participar e contribuir na minha defesa e por todo o apoio e suporte como Coordenador de Curso durante a graduação;

Aos meus amigos, em especial aos meus amigos Maycon Silva e Weliton Pessoa por me ajudarem incansavelmente e sem hesitar em todos esses anos de graduação, onde palavras não são capazes de expressar tamanha gratidão. Phelipe Silva, Kaique Coelho, Amaury Junior, Alvaro Matos, Higor Oliveira, Victor Pessoa, Lucas Bezerra, Anne Karoline, Kamila Ferreira, Jarisson Oliveira, Talyta Barros, Juliana Rezende, Gildilene Pestana, Rafael Alves, Rafael Bandeira;

A minha segunda família que encontrei em Chapadinha, aqui deixa representada pelas pessoas de Maria Irene Vaz, Glennda Karvalho Vaz, por todo amor a mim dedicado e ensinamentos durante esses anos de graduação;

Aos meus amigos e companheiros de faculdade, Glennda Karvalho, Mirla Monteles, Thomersson Teixeira, Vitor Sousa, Marcos Vinicius, Maria de Jesus, Maria Hossania, Amanda Miranda, e a todos os meus colegas da turma de Engenharia Agrícola;

A todos os amigos do grupo de pesquisa MASCEMA, Jobson Eduardo, Tiago Monteles, Mateus Ladeira, Karliane, Isabella Batista e todos os outros que contribuíram para a realização deste projeto;

A Universidade Federal do Maranhão/ CCAA polo Chapadinha, por ter me concedido essa oportunidade da realização desse sonho em obter o título de Engenheiro Agrícola.

À todas as outras pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com o sucesso deste trabalho, o meu MUITO OBRIGADO e sinceros AGRADECIMENTOS.

RESUMO

O estado do Maranhão já foi o maior produtor de arroz do nordeste e apresenta características de escassez hídrica por longos períodos. O uso da irrigação no processo produtivo é uma das principais ferramentas aplicada à garantia e ao preço final do produto. Objetivou-se avaliar o efeito do estresse hídrico na produtividade do arroz, causados por déficit e excesso hídrico nas condições edafoclimáticas do Maranhão. O experimento foi realizado entre 01 de março a 08 de junho de 2020, em casa de vegetação no CCAA/UFMA, em Chapadinha-MA. O delineamento foi inteiramente casualizado referente a lâminas de irrigação descritos da seguinte maneira: T1 = Irrigação plena 100% da ET_c ; T2 = Déficit de 70% com 30 % da reposição da Evapotranspiração da cultura (ET_c); T3 = Déficit de 50 % com reposição de 50% da ET_c ; T4 = Excesso 150% da ET_c , com cinco repetições, totalizando 40 parcelas. A cultivar utilizada foi a IRGA 424. Com os resultados, foi possível perceber que a produtividade do arroz apresentou um ajuste quadrático em função das lâminas de irrigação. O menor valor ($1,31 \text{ t.ha}^{-1}$) foi obtido com déficit hídrico de 70% e 30% de reposição hídrica. O ponto máximo de produtividade ($26,42 \text{ t.ha}^{-1}$) foi observado com 100% de reposição hídrica. Conclui-se que o tratamento com déficit de 70 % e 30 % de reposição hídrica (T2) não é recomendado em função de reduzir o número de grãos e produtividade na cultura do arroz. Dessa maneira recomenda-se uma lâmina de irrigação acima de 50% da ET_c para a cultivar de arroz IRGA 424.

Palavras-chaves: Evapotranspiração, déficit hídrico, *Oryza sativa*.

ABSTRACT

The state of Maranhão was once the largest rice producer in the Northeast and has characteristics of water scarcity for long periods. The use of irrigation in the production process is one of the main tools applied to the guarantee and the final price of the product. The objective was to evaluate the effect of water stress on rice productivity, caused by water deficit and excess in the edaphoclimatic conditions of Maranhão. The experiment was carried out between March 1 and June 8, 2020, in a greenhouse at CCAA / UFMA, in Chapadinha – MA. The design was completely randomized referring to irrigation depths described as follows: T1 = Full irrigation 100% of ET_c; T2 = 70% deficit with 30% replacement of crop evapotranspiration (ET_c); T3 = 50% deficit with 50% replacement of ET_c; T4 = .Excess 150% of the ET_c., with five repetitions, totaling 40 plots. The cultivar used was IRGA 424. With the results, it was possible to notice that the productivity of the rice presented a quadratic adjustment in function of the irrigation depths. The lowest value (1.31 t.ha⁻¹) was obtained with a 70% water deficit and 30% water replacement. The maximum productivity point (26.42 t.ha⁻¹) was observed with 100% water replacement. It is concluded that treatment with a 70% deficit and 30% water replacement (T2) is not recommended due to the reduction in the number of grains and productivity in rice cultivation. Therefore, an irrigation depth above 50% of ET_c is recommended for the rice cultivar IRGA 424.

Keywords: Evapotranspiration, water deficit, *Oryza sativa*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1. Arroz	10
2.2. Déficit hídrico	11
2.3. Irrigação	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4. CONCLUSÕES	23
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é uma fonte importante de nutriente, presente diariamente em quase todas as refeições da população mundial (GANIE *et al.*, 2020). O arroz é cultivado em vários países, nos quais o Brasil é um dos maiores produtores, sendo o terceiro cereal mais produzido no país, após a soja e o milho (IBGE, 2020). Estima-se que a produção nacional engloba cerca de 1,66 milhões de hectares de áreas de cultivos e a produção nacional estimada é de 11,2 milhões de toneladas, conforme a CONAB, (2020).

O Maranhão foi o principal produtor de arroz durante cerca de dois séculos ocupando lugar de destaque na sociedade e economia maranhense, dominando mais de 60% da produção de arroz na região nordeste do país (CONAB, 2015). Em uma produção de arroz irrigado, o custo da água representa cerca de 7% do custo total da produção e o aumento dos custos com energia (elétrica e combustível) pode inviabilizar a atividade orizícola em propriedades com escalas reduzidas (BARATA; TOLEDO, 2015).

O conhecimento da demanda hídrica das culturas é de fundamental importância tanto para o projeto quanto manejo da irrigação, determinando a lâmina de irrigação a ser aplicada de acordo com o clima e as características da cultura (SILVA *et al.*, 2017). O conhecimento da demanda hídrica das culturas exerce grande influência nas tomadas de decisões a respeito da necessidade ou não de uso de sistemas de irrigação, da quantidade e momento certo de realizar a irrigação (SOBENKO *et al.*, 2016).

A necessidade de água para irrigação do arroz varia devido à sua localização geográfica, variações climáticas, propriedades do solo, variedades de arroz e época do transplante (MAINUDDIN, *et al.*, 2020). A produtividade do arroz no cultivo de terras altas, principalmente nas regiões tropicais, tem seu potencial de produtividade reduzido em até 35% devido às condições de estresse hídrico (HEINEMANN *et al.*, 2015).

A equação de Penman-Monteith FAO-56 é padrão para estimar a Evapotranspiração de Referência (ET_o) quando se utiliza todas as variáveis exigidas pelo método, com valores confiáveis tais como: temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar e velocidade do vento (LIMA JÚNIOR *et al.*, 2016). Evapotranspiração da cultura (ET_c) é a quantidade de água consumida por uma cultura sem restrição hídrica em qualquer fase de seu desenvolvimento (VENANCIO, 2019).

Diante de cenários de incertezas climáticas, o setor agrícola que possui alta demanda de água, precisa procurar estratégias de manejo da irrigação, devido à escassez de recursos hídricos, visando assim, a disponibilidade de informação precisa para o produtor irrigante aumentar a eficiência de uso da água, além da fundamental importância para a sustentabilidade produtiva e ambiental (COELHO et. al., 2020).

A pesquisa está pautada na busca de uma maior produtividade atrelada ao menor consumo de água para produção de arroz no estado do Maranhão. Contribuindo de forma crescente com estudos que possibilitem melhor eficiência da utilização da irrigação através de ensaio experimental de campo, para obtenção da resposta de plantas de arroz a diferentes lâminas de irrigação.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito do estresse hídrico na produtividade do arroz, causados tanto por deficiência como excesso hídrico nas condições edafoclimáticas do Maranhão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Arroz

A cultura do arroz é produzida em diversos sistemas e ambientes de cultivo, podendo ser desde monoculturas em regiões temperadas e tropicais com sistemas de sequeiro e irrigado, até monocultura intensiva com áreas irrigadas nos trópicos onde a cultura é produzida duas ou três vezes anualmente (LABORTE et al., 2017).

O arroz é uma planta herbácea incluída na classe Liliopsida (Monocotiledônea), ordem Poales, família Poaceae, gênero *Oryza*. É uma planta da família das gramíneas que alimenta mais da metade da população humana, sendo a terceira maior cultura cerealífera do mundo, apenas ultrapassado pelo milho e trigo, o ciclo de desenvolvimento do arroz pode ser dividido em três fases principais: plântula, vegetativa e reprodutiva. A duração de cada fase é função da cultivar, época de semeadura, região de cultivo e das condições de fertilidade do solo, seu sistema radicular é constituído por numerosas raízes fibrosas, longas e finas que permitem sua rápida fixação no solo. (NUNES, 2021).

No Brasil, mesmo tendo uma ampla distribuição geográfica no cultivo do arroz a produção está concentra em apenas 5 estados, que são eles, o Rio Grande do Sul que concentra 71,1% da produção nacional, Santa Catarina, 9,2%, Tocantins 5,6% Mato Grosso, 3,9%, e o Maranhão com 1,8% da produção nacional (BRASIL, 2017).

O Maranhão possui a 5º maior produtividade de arroz do país e a 1º do Nordeste, tendo o destaque na agricultura familiar, com 93% das propriedades exercendo a orizicultura, como também a maior parte da produção e área cultivada (DA SILVA et al., 2016; MARANHÃO, 2016).

Uma das estratégias do Maranhão para a revitalização de cadeias produtivas importantes para o estado são programas governamentais que visam fortalecer a agricultura. Dentre esses programas está o Mais Produção, criado pelo Decreto nº 30.851, de 11 de junho de 2015 que tem como principal objetivo, segundo a Secretaria de Agricultura, Pecuária e Pesca – SAGRIMA, promover o adensamento das dez cadeias produtivas prioritárias, dentre essas a cadeia produtiva do arroz, e arranjos produtivos locais em diferentes escalas (pequenos, médios e grandes), agregando valor aos produtos maranhenses (SAGRIMA, 2017). O programa foca na melhoria da gestão, da assistência técnica e gerencial, passando pelo planejamento estratégico da propriedade e adequação tecnológica.

E mesmo com a redução do cultivo em terras altas é esperado um aumento da produtividade média do arroz, principalmente pela expansão da produção nos sistemas irrigados, onde prevalecem os maiores rendimentos (BRASIL, 2017).

2.2. Déficit hídrico

A água é um fator ambiental mais importante para o desenvolvimento das plantas, pois o excesso causa sérios danos atingindo a aeração na zona radicular e a lixiviação dos nutrientes, enquanto o déficit pode reduzir o desenvolvimento da planta e impactar o metabolismo fisiológico e a produção (SILVA et al., 2015).

O arroz pertence às plantas agrícolas mais sensíveis à desidratação em todo o mundo. As plantas desenvolveram vários mecanismos para se adaptar ao estresse hídrico, como o aumento do comprimento das raízes promove a absorção de água e a redução das áreas foliares diminui as taxas de transpiração. A conclusão mais rápida do ciclo de vida é outra estratégia para responder ao estresse da seca (KOOYERS, 2015).

BUENO et al. (2020) afirmaram que a seca é um dos estresses abióticos mais pesquisados atualmente por causa dos seus severos efeitos na redução do desenvolvimento e produção das culturas. As plantas desenvolveram ao longo do seu processo de evolução com várias técnicas específicas de reposta (tolerância) a ambientes adversos, podendo ser citado a inibição do crescimento, a regulação osmótica e a desintoxicação, entre outros (BATISTA, 2017).

PALHARINI (2016) relataram que um dos principais efeitos do déficit hídrico é a redução da fotossíntese. Isso porque, o primeiro evento ocasionado pela diminuição do potencial hídrico da planta é o fechamento estomático e, em decorrência disso, a assimilação do CO₂. Quando a disponibilidade de água do solo é reduzida, a taxa de fotossíntese limita frequentemente o crescimento das plantas.

As plantas respondem aos estresses térmicos e por déficit hídrico por meio de ajustes fisiológicos, metabólicos e morfológicos para se adaptarem as condições impostas. O controle estomático (HAWORTH et al., 2018), a eficiência do uso da água e o ajustamento osmótico são exemplos de ajustes importantes na manutenção do turgor celular e crescimento das plantas (BLUM, 2016).

O fechamento dos estômatos é o primeiro mecanismo de proteção à seca. Existe dois tipos de fechamento, o hidropassivo e o hidroativo. O fechamento hidropassivo é causado pela a redução do turgor. Possivelmente, este fechamento é ativado em ar de baixa umidade. Já o fechamento hidroativo, os estômatos se fecham quando ocorre a desidratação das folhas e raízes (SANTOS, 2017).

O conhecimento das necessidades hídricas da cultura é fundamental para maximizar a produtividade, no entanto, o manejo da irrigação requer uma estimativa sistemática do estado energético de água no solo para que a lâmina total de água necessária para cada cultura atenda às exigências hídricas das plantas cultivadas em sistema solteiro (LIMA, MORAIS, RIBEIRO, & SILVA et al., 2016), ou consorciado (OSTI, DALLACORT et al., 2019), de maneira que o excesso ou déficit de água não implique em estresse para as plantas causando perdas na produção.

2.3. Irrigação

A água é essencial para a manutenção da vida biológica e equilíbrio de processos hidrogeoquímicos que existem na Terra. Seu uso é notado em diferentes setores

produtivos que vão desde o uso direto para o consumo humano, dessedentação animal, indústrias e irrigação. Da quantidade de água doce disponível no planeta, cerca de 70% da água consumida no mundo é usada na irrigação, o que a torna a maior consumidora de água doce no planeta (ERTHAL & BERTICILLI, 2018).

Com o progresso científico no desenvolvimento de novas tecnologias está sendo possível cada vez mais controlar a produção agrícola (VAZ, 2019), e aumentar produtividade com eficiência do uso dos recursos hídricos (MONTROYA, 2019). GAVA et al. (2015) afirmaram que a crescente demanda por alimentos no mundo, é preciso investir em tecnologias que colabore com o aumento da produtividade das áreas agrícolas já existentes. Para isso, é necessária a utilização de técnicas de irrigação mais eficientes, para reduzir a utilização de água e energia, reduzindo os custos de produção devido a menor utilização de recursos. A crescente escassez hídrica vem influenciando mudanças na agricultura irrigada, estimulando os agricultores a optarem pelo uso racional da água, através de manejos de irrigação mais eficientes (NASCIMENTO et al. 2017).

Segundo ASHRAF et al. (2017), a utilização de estratégias de manejo da irrigação torna-se fundamental para o sucesso da agricultura irrigada, pois, a decisão sobre o momento apropriado (quando) e a quantidade adequada (quanto) de água a ser aplicada são baseadas em conceito prático do agricultor, conduzindo a falta ou excesso desse elemento para a cultura. O consumo crescente de água em razão do aumento populacional conduz a sua diminuição, exigindo procedimentos para a racionalização, principalmente no uso agrícola.

A irrigação é um fator limitante no processo do aumento da produção agrícola, sendo dependente da disponibilidade hídrica de cada região. Em regiões desérticas e áridas, onde a precipitação anual é inferior a 250 mm (ANA - 2017), ou seja, muito inferior ao necessário, à irrigação é obrigatória para estabelecer uma maior eficiência, pois assim nenhum tipo de cultura possa se desenvolver.

Dentre os setores usuários da água no Brasil, a agricultura irrigada é o principal em relação às vazões de retiradas, correspondendo a 49,8%, seguida do abastecimento humano urbano, industrial, uso animal, termelétricas, abastecimento rural e mineração, com 24,4%, 9,6%, 8,3%, 4,5%, 1,7% e 1,7%, respectivamente. Em relação à vazão consumida, a irrigação representa 66,1%, seguida do abastecimento animal, indústria,

abastecimento urbano, abastecimento rural, mineração e termelétricas com 11,6%, 9,5%, 9,1%, 2,5%, 0,9% e 0,3%, respectivamente (ANA, 2019). Segundo SOUZA *et al.* (2017) a agricultura ocupa lugar de destaque no consumo de água quando comparado aos demais setores, indústria e população, dando ênfase a importância do uso racional e eficiente da água nos cultivos.

A irrigação é um método usado desde a antiguidade a fim de oferecer o número essencial de água ao cultivo, do instante em que necessita, até que o solo esteja úmido ou molhado. Existem vários métodos de irrigação, isto é, técnicas utilizadas para que a água chegue às plantas. Os métodos podem ser classificados como superfície, aspersão e localizada, e dentro de cada um deles existem dois ou mais sistemas de irrigação que podem ser selecionados. Para isso é de extrema importância verificar o tipo de topografia, solo, cultura, clima que predomina a disponibilidade de água, os custos, entre outros (CUNHA & ROCHA, 2016).

A finalidade da irrigação é possibilitar água às culturas de maneira a atender suas exigências hídricas durante todo o seu ciclo. Sendo que o volume de água ideal irá depender da cultura a ser cultivada, da produtividade desejada, do local do cultivo, e da disponibilidade hídrica da região, tanto em épocas de estiagem quanto em períodos chuvosos, observando também o tipo de solo e a época do plantio, com a finalidade de definir a forma mais adequada e de melhor desempenho econômico, ambiental e agrônomo (ERTHALL & BERTICILLI, 2018). Estima-se que globalmente, a irrigação tem potencial para aumentar a produtividade em cerca de 2,7 vezes, quando comparado com cultivos de sequeiro (RIBEIRO *et al.*, 2017).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no período de 01 de março a 8 de junho de 2020, no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais/Universidade Federal do Maranhão (CCAA/UFMA) – Campus IV, em Chapadinha – MA, com coordenadas 03°44'28,7" S e 43°18'46" W e altitude de 107 m.

O clima da região é subúmido megatérmico (C2s2A 'a') de acordo com a classificação de THORNTHWAITE (1948), com grande deficiência hídrica no verão (PASSOS *et al.*, 2016). O solo utilizado foi um Latossolo Amarelo distrófico (LAd), textura franco-arenosa, segundo SANTOS *et al.* (2013).

Foram realizadas as análises química e física do solo antes da instalação do experimento, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química e física do solo antes da instalação da cultura do arroz, cultivar IRGA 424. Chapadinha - MA

Complexo Sortivo										Saturação do Complexo Sortivo				
pH	M.O	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	Ca	Mg	K
CaCl ₂	g/Kg	mg/dm ³	cmol/dm ³							%.....				
5,1	13,0	30,2	0,16	2,1	0,75	0,0	0,93	3,01	3,94	76,3	0	53,3	19,0	4,0
Micronutrientes										Análise Granulométrica				
.....mg/dm ³										g/Kg.....				
Enxofre	Ferro	Manganês		Cobre		Zinco		Boro	Areia		Silte	Argila	Classe	
mg/dm ³													Textural	
1,93	175,36	8,22		0,43		2,99			770		110	120	Arenosa	

A adubação e a calagem foram realizadas de acordo com a análise do solo conforme as recomendações de RIBEIRO *et al.* (1999).

Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos, referente a lâminas de irrigação descritos da seguinte maneira: T1 = Irrigação plena 100% da ET_c; T2 = Déficit de 70% com 30 % da reposição da Evapotranspiração da cultura (ET_c); T3 = Déficit de 50 % com reposição de 50% da ET_c; T4 = Excesso 150% da ET_c. Cada tratamento consistia de 5 repetições, com duas plantas por repetição, totalizando 40 parcelas (Figura 1).



Figura 1 - Vista geral das parcelas experimentais de arroz, submetidos à aplicação de diferentes lâminas de irrigação, Chapadinha, MA, 2020.

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, a fim de se obter total controle das lâminas de déficit e excesso hídrico. O material vegetal utilizado foi a cultivar IRGA 424, que possui características de porte baixo, folhas curtas, eretas e pilosas. O ciclo é médio, mas varia de acordo com o local da safra e época de semeadura.

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor no dia 01 de março de 2020. Já a germinação ocorreu cinco dias após a semeadura (DAS), em seguida foi realizado o transplântio de três plântulas para os vasos que continham capacidade para 10 kg de solo, sendo utilizados 8 kg de solo por vaso. O desbaste foi realizado 30 DAS, deixando duas plantas por vaso.

Foram realizados tratos culturais e controle fitossanitário de ferrugem e pragas desfolhadoras, através da aplicação do inseticida Decis 25 EC na dosagem de 40 mL ha⁻¹ e fungicida Azimute 320 SC na dosagem de 600 mL ha⁻¹.

Foram aplicadas $\frac{1}{5}$ da adubação no plantio e $\frac{4}{5}$ de adubação de cobertura logo após o aparecimento das panículas, utilizando-se como fonte de nutrientes o superfosfato simples na concentração de 25 kg ha⁻¹, ureia 55 kg ha⁻¹ e cloreto de potássio (KCL) com concentração de 45 kg ha⁻¹, com base nas recomendações de (RIBEIRO et al., 1999), as panículas apareceram de forma escalonada, ocorreu primeiro nos vasos com tratamentos de 100% e os com excesso hídrico de 150%, os tratamentos com déficit de 70%, e déficit 50% e reposição 50%, ocorreram doze dias depois.

A temperatura do ar e umidade relativa foi medida com Termo Higrômetro, instalado a 2 m do solo. O aparelho permite a medição da temperatura interna, externa e da umidade interna, também funciona como relógio, alarme e armazena o valor máximo e mínimo da temperatura e da umidade. A demanda hídrica durante o experimento foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO no software Microsoft Excel. .

Observa-se na Figura 2 os dados de ET_o ao longo do ciclo do arroz, apresentou variações entre 107 a 112 mm por dia. A temperatura média do ar durante o experimento foi de 31°C.

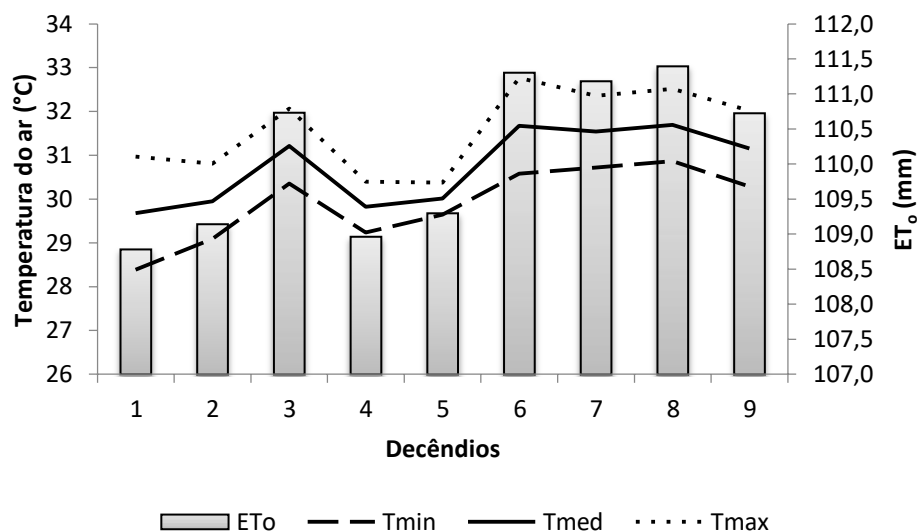


Figura 2 - Valores de ET_0 calculados pela equação de Pennan-Monteith pelo método FAO (ALLEN et al., 1998), dados coletados pelo equipamento Termo higrômetro durante a condução do experimento. Chapadinha, MA, 2020.

A estimativa da disponibilidade hídrica do solo foi calculada utilizando o balanço hídrico climatológico (THORNTHWAITE E MATHER, 1955), empregou a capacidade de água disponível (CAD) equivalente a 100 mm e o coeficiente de cultivo (K_c), na escala decendial conforme proposto por STEINMETZ et al., (1985).

As lâminas de irrigação foram aplicadas diariamente nas parcelas, ou seja, turno de rega de um dia, com o auxílio de provetas.

A Evapotranspiração da Cultura (ET_c) foi obtida pelo produto da Evapotranspiração de Referência (ET_0) e o Coeficiente de cultivo (K_c), já as estimativas de ET_0 foram pelo método padrão Penman-Monteith (Equação 1) (ALLEN et al., 1998), utilizando os dados meteorológicos, em escala diária.

$$ET_{PM} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34.U_2)}, \text{ onde } (1)$$

$$e_s = 0,6108.10 \frac{7,5.T}{287,8 + T} \quad (2)$$

$$e_a = \frac{e_s + UR}{100} \quad (3)$$

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (4)$$

Sendo, ET_{oPM} : evapotranspiração de referência por Penman-Monteith, em mm dia^{-1} ; R_n : radiação líquida total, em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$; G : densidade do fluxo de calor no solo, em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$; T : temperatura média diária do ar, em $^{\circ}C$; U_2 : velocidade do vento média diária a 2 m de altura, em $m\ s^{-1}$; e_s : pressão de saturação de vapor, em kPa; e_a : pressão parcial de vapor, em kPa; $e_s - e_a$: déficit de saturação de vapor, em kPa; Δ : declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T , em $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$; γ é o coeficiente psicrométrico, em $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$.

Os coeficiente de cultivo (K_c), na escala decendial conforme proposto por STEINMETZ *et al.*, (1985) segundo a Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes de cultivos (K_c) de cada estágio fenológico de forma decendial

Decêndios	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
Kc	0,60	0,70	0,90	1,06	1,15	1,17	1,20	1,19	1,15	1,01	0,85

No final do experimento, foram avaliadas as variáveis: Matéria fresca parte aérea (MFPA), Matéria fresca da raiz (MSR), Matéria seca parte aérea (MSPA) e Matéria seca da raiz (MSR) em gramas; Comprimento de plantas (CP) em centímetros; Diâmetro do caule (DC) em milímetros; Número de panículas (NP); Número de grãos por panícula (NGP); Massa de 100 grãos (M100G) em gramas e produtividade (PROD) em $kg.ha^{-1}$.

A área foliar (cm) da maior folha de cada planta foi calculada através da fórmula proposta por HERMAN E CÂMARA (1999). Com auxílio de uma régua, foi mensurados largura e comprimento das folhas utilizado à fórmula:

$$AF = C \times L \times 0,75$$

Em que:

AF = área da folha;

C = comprimento da folha;

L = maior largura da folha, compreendido no centro foliar;

0,75 = Fator de correção.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi realizada análise de regressão não linear para a determinação da produtividade do arroz em função das diferentes lâminas de irrigação e realizado gráficos de superfícies de respostas para a estimativa de produtividade a partir das variáveis independentes. As análises foram realizadas através do software Python versão 3.8.3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 observou-se o resumo do quadro de análises de variância das variáveis da produtividade do arroz em diferentes lâminas de irrigação. Houve efeito significativo para matéria fresca da planta (MFPA), comprimento de plantas (CP), diâmetro do caule (DC), matéria seca da raiz (MSR), matéria fresca da raiz (MFR), número de grãos por panícula (NGP), matéria seca da parte aérea (MSPA), área foliar (AF), número de panículas (NP), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade (PROD).

Tabela 3 - Resumo do quadro de análises de variância das variáveis da produtividade do arroz em diferentes lâminas.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO										
		CP	DC	NGP	AF	MFPA	MFR	NP	M100G	MSR	MSPA	PROD
TRA	3	0,42*	21,16*	397086*	379,86 ^{ns}	79,15*	62,79*	5,13 ^{ns}	15,44*	3,37*	1,67 ^{ns}	664,37*
RES	16	0,01	4,03	43513	168,92	22,21	10,12	3,30	0,30	1,03	1,99	49,73
CV(%)		25,50	14,93	66,46	29,56	11,67	27,54	33,24	54,08	40,06	15,20	66,68

FV: fonte de variação; TRA: tratamentos; RES: resíduo; CV: coeficiente de variação; *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo pelo teste F.

Os resultados mostraram que todas as variáveis estudadas foram influenciadas pela interação entre os fatores estudados (Níveis de Irrigação deficitária e Níveis de excesso de irrigação). No entanto, observando os fatores avaliados isoladamente, percebeu-se que todas as variáveis de produção, exceto área foliar, número de panículas, matéria seca da parte aérea, sofreram influência significativa a 5% de significância.

Para o diâmetro do caule e comprimento houve um ajuste linear com decréscimo para o diâmetro em função do aumento das reposições (Figura 3). Sendo que, o

tratamento com 150% da ETc diferiu do tratamento com déficit de 70 % e 30% de reposição, isso ocorreu possivelmente pelo déficit hídrico submetido a essas plantas. TAIZ et al. (2017) relata que o suprimento adequado de água é um fator primordial para permitir maiores rendimentos produtivo e garantir o desenvolvimento adequado das plantas. A falta desse recurso afeta o metabolismo, o transporte e a translocação dos solutos, o turgor celular, a abertura dos estômatos e a expansão do sistema radicular no solo. Mesmo uma pequena diminuição na disponibilidade de água pode afetar o crescimento, o desenvolvimento e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. Houve um crescimento do comprimento das plantas em função das reposições de ETc. Os resultados apresentados são superiores aos encontrados por FLAUZINO (2019), quando avaliou arrozeiro submetido a déficit hídrico e doses nitrogenadas atingindo CP de 66 cm. Nas pesquisas de AHMADIKHAH & MARUFINIA (2016), esses autores encontraram uma redução significativa da altura da planta em condição de déficit hídrico.

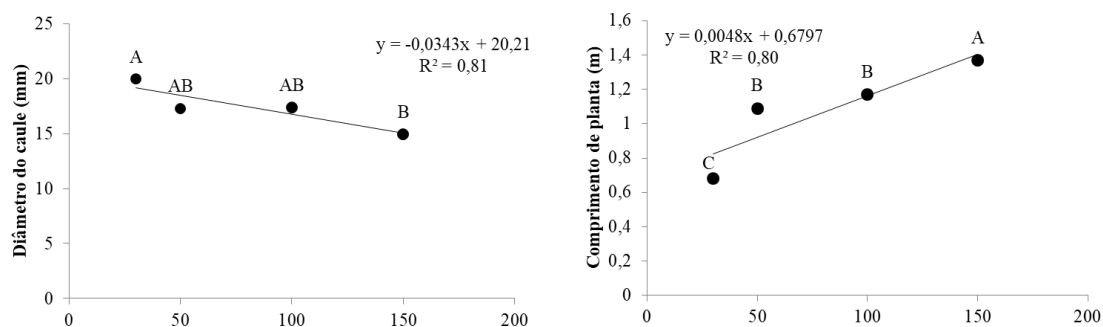


Figura 3. Diâmetro do caule (A) e Comprimento de planta (B) do arroz em função das reposições hídricas.

Em geral, plantas de arroz submetidas a déficit hídrico podem apresentar menor porte quando comparadas às que se desenvolveram em condições adequadas de fornecimento de água (AHMED *et al.*, 2017).

Observou-se na Figura 4 que ocorreu um decréscimo linear para a massa fresca e seca da raiz do arroz em função das lâminas de irrigação. A reposição de 50% diferiu da de 100 e 150% da ETc para a massa fresca da raiz do arroz. Enquanto que para MSR a reposição hídrica de 150% resultou em menor valor quando comparado com a reposição de 50%.

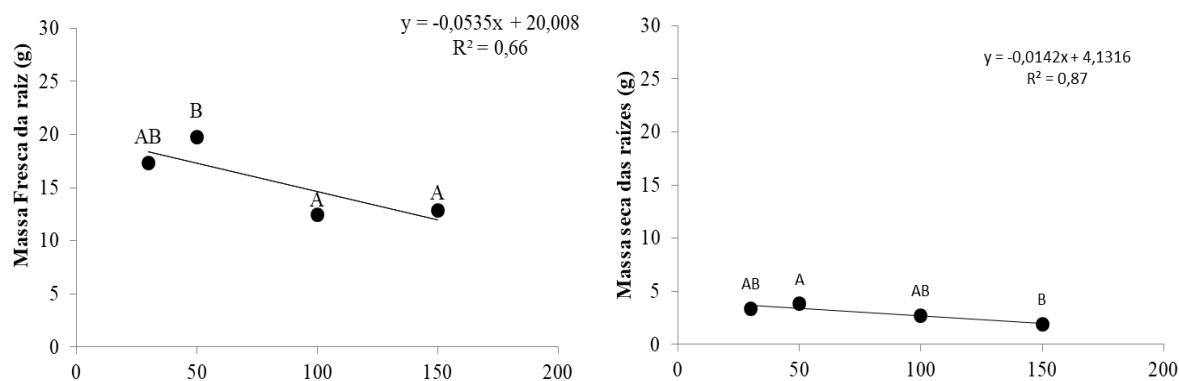


Figura 4. Massa fresca (A) e massa seca (B) da raiz do arroz em função das reposições hídricas.

Possivelmente a restrição hídrica pode ter culminado em alongamento do sistema radicular, devido ao ajuste osmótico da zona de crescimento das raízes, favorecendo o alongamento e divisão celular. FLAUZINO (2019), ao avaliar arrozeiro submetido a déficit hídrico obtiveram 22,5 g de MSR em tratamento com de 40% da disponibilidade da capacidade do vaso.

Em estudo realizado por OUYANG *et al.* (2020), eles observaram que o déficit hídrico diminuiu significativamente a biomassa e o comprimento da raiz em todas as cultivares de arroz, e na fase vegetativa a floração uma redução de até 60%, 48% da biomassa da raiz e até 78%, 68% do comprimento da raiz. Já de acordo com PANDEY e SHUKLA (2015), que descrevem que sob déficit hídrico, o crescimento da raiz é geralmente mantida, enquanto o crescimento do rebento é inibido.

Houve um decréscimo da MFPA com o aumento das reposições hídricas (Figura 5). O tratamento com 70% de déficit e 30% de reposição hídrica, com média de 51,60 g, foi superior ao tratamento com 150% de excesso hídrico.

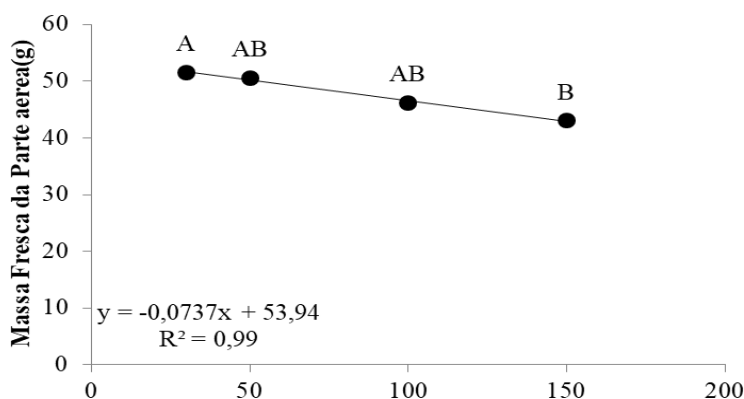


Figura 5. Massa fresca da parte aérea do arroz em função das reposições hídricas.

Observou-se na Figura 6 um ajuste quadrático para a massa de 100 grãos e número de grãos por planta. O tratamento com 70 de déficit hídrico foi inferior aos demais. A maior massa de grãos foi obtida com 100% de reposição hídrica. Essa mesma tendência foi observada para o número de grãos por planta, a lâmina de irrigação com 100% de reposição hídrica proporcionou 635 grãos por panícula. Provavelmente, o processo de enchimento de grãos foi afetado pela deficiência hídrica durante a fase de maturação dos grãos.

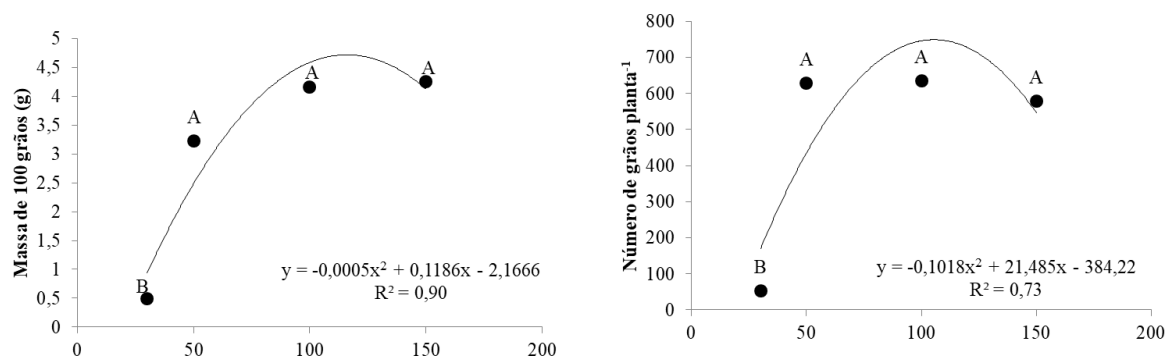


Figura 6. Massa de 100 grãos (A) e número de grãos(B) por planta do arroz em função das reposições hídricas.

SEHGAL et al. (2018) argumentaram que no arroz, a senescência foliar induzida pela seca também promove a alocação de assimilação aos grãos em desenvolvimento, encurtando o enchimento do grão e aumentando a taxa de enchimento do grão. O estresse hídrico decresce a translocação de assimilados para o grão o que reduz a produção, a massa e, conseqüentemente, aumenta a porcentagem de grãos vazios (FERREIRA, 2017).

A produtividade do arroz apresentou um ajuste quadrático em função das lâminas de irrigação (Figura 7). O menor valor ($1,31 \text{ t.ha}^{-1}$) foi obtido com déficit hídrico de 70% e 30% de reposição hídrica. O ponto máximo de produtividade ($26,42 \text{ t.ha}^{-1}$) foi observado com 100% de reposição hídrica.

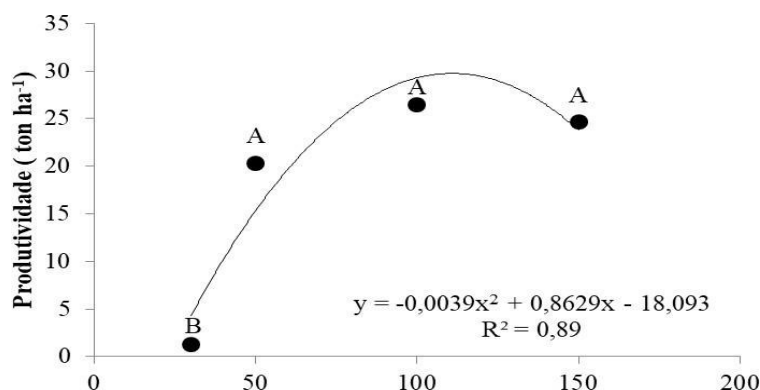


Figura 7. Produtividade por planta do arroz em função das reposições hídricas.

A análise do componente principal explicou em 98% os resultados da variabilidade dos dados. O componente principal 1 explicou 89,87 % da produtividade do arroz a diferentes lâminas de irrigação (Figura 8). O tratamento mais importante foi o 70 % déficit e 30 % reposição hídrica (T2) e a variável mais importante na análise foi o número de grãos por panícula. O T2 teve uma relação inversa ao número de grãos por panícula, enquanto com as demais variáveis foram relações diretas. O que significa que se aumentar a restrição hídrica haverá uma redução do número de grãos por panícula.

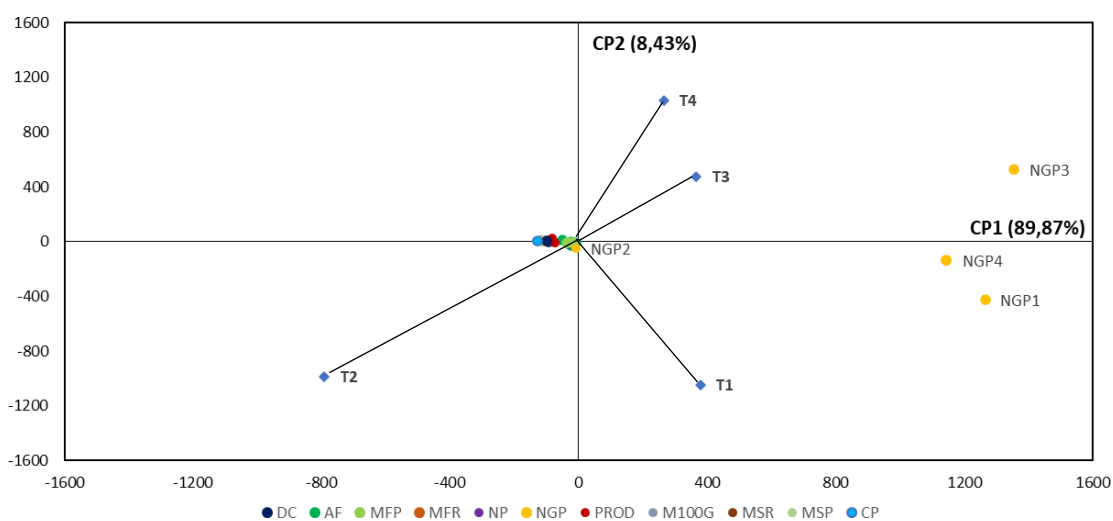


Figura 8. Biplot das variáveis da produtividade do arroz em diferentes lâminas.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que o tratamento com déficit de 70 % e 30 % de reposição hídrica (T2) não é recomendado em função de reduzir o número de grãos e produtividade na cultura do arroz.

Na análise de componente principal (PCA), o número de grãos por planta foi a variável mais afetada pelas lâminas de irrigação.

Recomenda-se uma lâmina de irrigação acima de 50% da ET_c para a cultivar de arroz IRGA 424.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMADIKHAH, A.; MARUFINIA, A. Efeito da altura da planta reduzida na tolerância à seca em arroz, *3 Biotech*, vol. 6, não. 2, 2016.

AHMED, M. *et al.* Performance of Four Different Rice Cultivars under Drought Stress in the North-Western Part of Bangladesh. **International Journal of Agriculture and Forestry**. p. 134-139, 2017.

ALLEN, R. G *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2019.

ANA. Informe: **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR). Brasília - DF, 2016.

BARATA, T.; TOLEDO, R. **Mensuração do custo de produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul**: safra 2014/2015. In: ABERTURA OFICIAL DA COLHEITA DO ARROZ, 25., Tapes, RS. Apresentação... Disponível em: <<http://federarroz.com.br/pdf/TiagoBarataCustosProducaoArrozRS.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

BATISTA, F. P. D. S. Potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja em condição de Cerrado. 2017.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. *Plant, Cell and Environmental*, p. 1-7, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio 2016/17 a 2026/27: Projeções de longo prazo**. Brasília. 2017.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. dos; CRUZ, R. O. da R.; LIMA, L. W. F.; BARROS, D. L. Irrigação com déficit regulado em diferentes fases de cultivo de bananeira ‘BRS princesa’. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.14, nº. 2, p. 3931 – 3940, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do arroz** / organizador Aroldo Antonio de Oliveira Neto. – Brasília: Conab, 2015. 180 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acomp. safra bras. grãos**, v. 7 - Safra 2019/20 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-74, julho 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/OlalaCMS>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

CUNHA, K. C. B.; ROCHA, R. V. Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 1, n. 2, p. 62-74, 2016.

DA SILVA, Osmira Fátima et al. **Produção de arroz e feijão em municípios com menores Índices de Desenvolvimento Humano na região do Matopiba, Brasil**. Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional, Blumenau, v. 4, n. 1, p. 181-205, set. 2016. ISSN 2317-5443. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147880/1/CNPAF-2016-rbdr.pdf>>. Acesso em: 09 março 2021.

ERTHAL, E. S.; BERTICILLI, R.. Sustentabilidade: Agricultura Irrigada e Seus Impactos Ambientais. **CIÊNCIA & TECNOLOGIA**, v. 2, n. 1, p. 64-74, 2018.

FERREIRA, L. M. Características morfológicas, fisiológicas e transcriptoma em variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) contrastantes quanto à tolerância ao estresse hídrico. 2017. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2017.

FLAUZINO, J. C. **Arroz de terras altas inoculado com bactérias diazotróficas associativas e submetido à disponibilidades hídricas**. 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Rondonópolis, 2019.

GANIE, S.A.; AHAMMED, G.J.; WANI, S.H. Vascular plant one zinc-finger (VOZ) transcription factors: novel regulators of abiotic stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Genet Resour Crop Evol* **67**, 799–807 (2020).

GAVA, R., FRIZZONE, J. A., SNYDER, R. L., ALMEIDA, B. M., FREITAS, P. S. L., & REZENDE, R. Estratégias De Manejo De Déficit Hídrico Na Irrigação Da Cultura Da Soja/Strategies Of Deficit Water Management In Irrigation Of Soybean Crop. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.

HAWORTH, M., MARINO, G., BRUNETTI, C., KILLI, D., DE CARLO, A., CENTRITTO, M. The Impact of Heat Stress and Water Deficit on the Photosynthetic and Stomatal Physiology of Olive (*Olea europaea* L.) — A Case Study of the 2017 Heat Wave. *Plants*, v. 7, n. 4, p. 76, 2018

HEINEMANN, A.B.; BARRIOS-PEREZ, C.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; ARANGO-LONDOÑO, D.; BONILLA-FINDJI, O.; MEDEIROS, J.C.; JARVIS, A. 2015.

Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil. *Journal of Experimental Botany* 66: 3625-3638

HERMANN, E.R.; CÂMARA, G.M.S. 1999. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Revista da STAB*, 17: 32-34.

IBGE - **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Consultado em 22 de ago. 2020.

KOOYERS NJ. A evolução da fuga e prevenção da seca em populações herbáceas naturais . *Plant Sci.* 2015 ; 234: 155 - 162 . doi: 10.1016 / j.plantsci.2015.02.012

LABORTE, A.G., GUTIERREZ, M. A., BALANZA, J. G., SAITO, K., ZWART, S. J., BOSCHETTI, M. B., MURTY, M.V.R. 2017. **“Rice Atlas, a spatial database of global rice calendars and production”**. Scientific. Maio, 2017.

LIMA JUNIOR, J. C.; ARRAES, F. D. A.; OLIVEIRA, J. B.; NASCIMENTO, F. A. L.; MACÊDO, K. G. **Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil**. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 447-454, 2016.

LIMA, J. F., MORAIS, E., RIBEIRO, V., & DA SILVA, E. E. (2016). **Cultivo consorciado de milho e feijão caupi sob diferentes espaçamentos em transição agroecológica em Roraima**. In: Embrapa Roraima-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Semana Nacional de Ciência e Tecnologia no Estado de Roraima, Boa Vista, RR. Resumos... UERR.

MAINUDDIN, M.; MANIRUZZAMAN, M., MAHBUBUL, A. M., MOJID, M. A., SCHMIDT, E. J., ISLAM, M. T., SCOBIE, M. Water usage and productivity of Boro rice at the field level and their impacts on the sustainable groundwater irrigation in the North-West Bangladesh, *Agricultural Water Management*. Volume 240, 01 out. 2020.

MARANHÃO (Estado). Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Pesca. **Perfil da Agricultura Maranhense**. Maranhão, dez. 2016. Disponível em: <https://www.ma.gov.br/agenciadenoticias/wp-content/uploads/2017/01/perfil-da-agricultura-maranhense-1.pdf>. Acesso em: 09 março. 2021.

MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. **Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade**. Passo Fundo, 2019.

NASCIMENTO, V. F.; FEITOSA, E. O.; SOARES, J. I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. *Journal of Neotropical Agriculture*, v. 4, n. 4, p. 65-69, 2017.

NUNES, J. L. S. **Características do arroz**. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/informacoes/caracteristicas_361559.html. Acesso em: < 22 mar. 2021.

OSTI, A. M., DALLACORT, R., TIEPPO, R. C., GRZEBIELUCKAS, C., & CONCEIÇÃO, A. M. (2019). Rentabilidade do milho e do feijão submetido a diferentes lâminas de irrigação em Mato Grosso. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57(4), 505-518.

OUYANG, W., YIN, X., YANG, J. *et al.* Comparisons with wheat reveal root anatomical and histochemical constraints of rice under water-deficit stress. *Plant Soil* **452**, 547–568 (2020).

PALHARINI, W. G. Influência do estresse hídrico sobre caracteres agrônômicos, fisiológicos e abertura de vagens imaturas em soja. 2016.

PANDEY, V.; SHUKLA, A. 2015. Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Science* 22: 147- 16.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço Hídrico E Classificação Climática Para Uma Determinada Região De Chapadinha - Ma. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, p. 758-766, 2016.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG, CFSEMG/UFV, 1999. 359p.

RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; ALMEIDA, L. T.; GENEROSO, T. N.; MONTEIRO, L. I. B. Variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens SENTINEL-2a. **Rev. Bras. De Agric. Irrig**, v. 11, p. 1884-1893, 2017.

SANTOS, F. H. O.; ALVIM, M. NEIVA. Avaliação do crescimento *Ocimum basilicum* L. sob estresse hídrico. **NBC-Periódico Científico do Núcleo de Biociências**, v. 6, n. 12, 2017.

SECRETARIA DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E PESCADO DO ESTADO DO MARANHÃO. Programas e Ações. SAGRIMA, 2017. Acesso em: 09 março. 2021.

SEHGAL, A.; SITA, K.; SIDDIQUE, K.H.M. *et al.* 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science* 9: 1-19.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 19, n. 10, 2015.

SILVA, W. A.; SANTANA, J. S.; DA SILVA, C. M & NUNES, A. A. Regionalização de coeficiente de cultivo aplicado no planejamento da agricultura irrigada no Estado do Maranhão–Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v37n5/1809-4430-eagri-37-05-0953.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

SOBENKO, L. R.; FANAYA JÚNIOR, E. D.; SANTOS, O. N. A.; MARQUES, P. A. A. Estimativa da necessidade de irrigação na cultura do milho safrinha em sorriso-mt por métodos agroclimatológicos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 3, p. 544-557, 2016. Disponível em: <<http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/744>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

SOUZA, M. C. D. S. A. D., & GHILARDI, H. T. **Recursos hídricos, agropecuária e sustentabilidade: desafios para uma visão ecológica do planeta**. Revista jurídica, 2(47), 78-98, 2017.

SOUZA, T. M. A., SOUZA, T. A., SOLTO, L. S., DA SILVA SÁ, F. V., DE PAIVA, E. P., BRITO, M. E. B. & DE MESQUITA, E. F. (2016). **Crescimento e trocas gasosas do feijão caupi cv. BRS Pujante sob níveis de água disponível no solo e cobertura morta.** *Irriga*, 21(4), 796-805.

STEINMETZ, S.; REYNIERS, F. N.; FOREST, F. Evaluation of the climatic risk on upland rice in Brazil. In: Colloque "Resistance A La Sécheresse En Milieu Intertropicale: Quelles Recherches Our Le Moyen Terme?", 1984, Dakar. Proceedings... Paris: CIRAD, 1985. p.43-54.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Rev.**, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology. **Publications in Climatology**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.

VAZ, Monica Cristine Scherer. **Framework para modelos de mensuração de desempenho tecnológico em sistemas de produção agrícola.** 2019. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

VENANCIO, L. P.; CUNHA, F. F.; MANTOVANI, E. C.; AMARAL, C. H.; REIS, E. F. **Evapotranspiração de cultura: uma abordagem dos principais métodos aplicados às pesquisas científicas e na agricultura.** *Irriga*, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 719-746, outubro-dezembro, 2019.