

A saturação de umidade da raiz como fator de estresse em abobrinha (*Cucurbita pepo*)

Root moisture saturation as a stress factor in zucchini (*Cucurbita pepo*)

La saturación de la humedad de la raíz como factor de estrés en el calabacín (*Cucurbita pepo*)

Recebido: 02/06/2020 | Revisado: 27/06/2020 | Aceito: 02/07/2020 | Publicado: 18/07/2020

Cristóvam Colombo Belfort

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8963-7179>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: ccbelfort@yahoo.com.br

Rômulo Batista da Silva Barbosa

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5142-0740>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: romullo_barbosa@hotmail.com

Lucivan de Sousa Mota

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5118-5162>

JF citrus agropecuária, Bebedouro- Sao Paulo, Brasil

E-mail: lucivanmota2@hotmail.com

Marcos Schleiden Sousa Carvalho

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3439-4138>

Profissional autônomo, Nova Zelândia

E-mail: marcos.eng.agronomo@hotmail.com

Maria da Conceição Prado de Oliveira

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9301-916X>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: pradooliveira@hotmail.com

Pedro Emartino Bezerra Campelo

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9180-6178>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: pedroemartino_campelo@hotmail.com

Francisco Assunção de Jesus Junior

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9207-2137>

Produtor/profissional autônomo, Brasil

Resumo

A abobrinha, é mais uma hortaliça adotada para exploração em hidroponia. Outrossim, pouco se conhece acerca do seu comportamento em condições de saturação do sistema radicular que imponham hipoxia ou anoxia, fator reconhecido pelo elevado potencial estressor. Assim, avaliaram-se as respostas da cultivar Caserta ao alagamento da raiz em Telado com sombreamento de 50% em Teresina/PI, entre setembro e novembro de 2018. O delineamento experimental foi blocos casualizados com 3 repetições, com parcelas constituídas de um vaso com 02 plantas, e os tratamentos representados por tempos de inundação da raiz: 00; 24; 48 e 72 horas, aplicados na fase de pré-florescimento (6ª folha), 14 dias após a emergência. A inundação mostrou ser um impactante fator de estresse, que em 24 horas provocou murcha da planta, afetou o peso da matéria fresca da raiz, da parte aérea e relação parte aérea/raiz; antecipou o fechamento das flores masculinas, comprometendo a antese das flores femininas, reduzindo o número de flores masculinas e femininas. Apesar da diferenciação ocasional de lenticelas a abobrinha suporta no máximo 24 horas de alagamento, de modo que exposição a maiores tempos conduzirá a danos irreparáveis.

Palavras-chave: Florescimento; Ecofisiologia; Inundação; Tempo de drenagem.

Abstract

The Summer squash, is another vegetable used for hydroponics exploration. Also, little is known about its behavior under conditions of saturation of the root system that impose hypoxia or anoxia, a factor recognized by the high potential stressor. Thus, the responses of the Caserta cultivar to the flooding of the root in a 50% shade in Teresina/PI between September and November 2018 were evaluated. The experimental design was randomized blocks with 3 replicates, with plots constituted of a vase with 02 plants, and the treatments represented by times of flood of the root: 00; 24; 48 and 72 hours, applied at the true leaf stage, 14 days after emergence. The flood showed to be an impressive stress factor, which in 24 hours caused wilt of the plant, affected the weight of the fresh matter of the root, of the aerial part and relation aerial part/root; Anticipated the closure of the male flowers, compromising the anthesis of female flowers, reducing the number of male and female flowers. Despite the occasional lenticella differentiation the summer squash can withstand a maximum of 24 hours of flooding, so that exposure to longer times will lead to irreparable damage.

Keywords: Flowering; Ecophysiology; Flooding; Drainage time.

Resumen

Calabacín, es otro vegetal adoptado para su explotación en hidroponía. Además, se sabe poco sobre su comportamiento en condiciones de saturación del sistema radicular que imponen hipoxia o anoxia, un factor reconocido por el alto potencial estresante. Así, se evaluaron las respuestas del cultivar Caserta a la inundación de la raíz en Telado con 50% de sombra en Teresina/PI, entre septiembre y noviembre de 2018. El diseño experimental fue bloques al azar con 3 repeticiones, con parcelas que consisten en una maceta con 02 plantas, y los tratamientos representados por los tiempos de inundación de la raíz: 00; 24; 48 y 72 horas, aplicado en la fase de pre-floración (6ta hoja), 14 días después de la emergencia. La inundación resultó ser un factor de estrés impactante, que en 24 horas causó que la planta se marchitara, afectó el peso de la materia fresca de la raíz, la parte aérea y la relación antena / raíz; Anticipó el cierre de las flores masculinas, comprometiendo la antesis de las flores femeninas, reduciendo el número de flores masculinas y femeninas. A pesar de la diferenciación ocasional de las lenticelas, el calabacín resiste un máximo de 24 horas de inundación, por lo que la exposición a tiempos más largos provocará daños irreparables.

Palabras clave: Floración; Ecofisiología; Inundación; Tiempo de drenaje.

1. Introdução

Caracterizada como uma espécie de arquitetura tipo moita, crescimento determinado e hastes curtas, a abobrinha (*Cucurbita pepo*), adapta-se a espaçamentos menores, quando comparada às cucurbitáceas com hábito de crescimento indeterminado, rasteiras de ramificações longas. A planta é compacta, com folhas bem recortadas e manchas prateadas, com sistema radicular pivotante, extenso e superficial, concentrando-se na camada de 20 cm de solo (Filgueira, 2000).

A ampliação do mercado nos últimos anos passou a exigir o desenvolvimento de novas técnicas de cultivo, assim como, novos recursos e ideias de negócios, sendo a hidroponia o estágio mais atual do cultivo protegido. Conduzidas em meio líquido ou não, há a necessidade de monitoramento do conteúdo de oxigênio. Nos cultivos tradicionais as condições de saturação hídrica do solo impõem a prática da drenagem, de modo a atender as exigências da espécie referente ao tempo que a mesma é capaz de tolerar o estresse dela decorrente.

Nesta esteira de raciocínio o alagamento da rizosfera pode ocorrer naturalmente, por meio de fenômenos vários, dentre os quais uma forte chuva, elevação do lençol freático, cheia do curso d'água etc., (Damasceno-Junior et al., 2004). É pacífico que, em qualquer lugar onde as plantas cresçam, estarão sujeitas às condições de múltiplos estresses, os quais limitarão seu desenvolvimento e suas chances de sobrevivência (Larcher, 2000).

Dependendo do fator e da espécie vegetal, sobretudo, as respostas virão, trazendo a reação reflexa, então denominada de estresse. O estresse biológico pode ser definido como determinadas condições ambientais, que induzem um organismo a entrar num estado de tensão, sendo esta entendida como determinadas alterações no metabolismo e na fisiologia do organismo, que podem ou não, causar injúria (Levitt, 1972). A tensão pode ser elástica ou plástica, de modo que na primeira, uma vez desaparecido o fator de estresse, o metabolismo consegue voltar ao seu funcionamento normal. No segundo caso, eliminado o fator de estresse, o metabolismo apresenta efeitos irreversíveis conhecidos como injúria, ou simplesmente tensão plástica, gerando, por assim, danos mecânicos.

Na avaliação do comportamento das espécies vegetais é oportuno lembrar que as plantas são aeróbicas e dependem do suprimento de oxigênio molecular para respiração e demais reações de oxidação necessárias à sua sobrevivência (Ferrer et al., 2004). O grau de tolerância das plantas cultivadas em solo encharcado, em condição de hipoxia ou até de anoxia, varia com as espécies (Pelacani et al., 1995) e entre genótipos da mesma espécie (Gill, 1970). Além disso, a idade em que a planta for submetida ao estresse, bem como a sua duração, são fatores importantes em estudos de tolerância ao encharcamento (Newsome et al., 1982). Muitas delas conseguem sobreviver em condições de estresse gasoso durante a fase de crescimento vegetativo, enquanto outras morrem nas primeiras semanas de inundação do sistema radicular.

Em terreno inundado ocorrem decréscimos na taxa fotossintética das plantas (Vu & Yelenoski, 1991), com consequências negativas para a produção e translocação de fotoassimilados para as áreas de intenso consumo, como as raízes (Leopold & Kridman, 1975) e às regiões de crescimento da parte aérea (Olien, 1987).

Em condições de estresse devido a saturação de umidade resultante de baixa concentração de oxigênio, o desenvolvimento de lenticelas e de raízes adventícias é de capital importância para a sobrevivência das espécies (Pelacani et al., 1998) constituindo-se, pois, em importante ferramenta de ajuste às condições desfavoráveis.

As respostas das plantas às condições de alagamento de um modo geral podem convergir para a formação de aerênquima, enraizamento adventício e formação de raízes

diageotrópicas (Mano et al., 2006), senescência foliar, redução no crescimento de caules e raízes (Kozłowski, 1997). Tais ajustes costumam favorecer tanto a difusão de oxigênio da parte aérea para as raízes, quanto a eliminação de produtos voláteis potencialmente tóxicos, como etanol, etileno e acetaldeído, que muitas vezes acumulam durante a hipoxia (Joly, 1991), promovendo, não raro, a epinastia.

No milho, as plantas sob alagamento apresentaram baixo conteúdo relativo de água e crescimento afetado, devido às alterações bioquímicas sofridas pelo alagamento e conseqüentemente perda de produtividade quando comparadas as plantas não alagadas (Coelho et al., 2013). No pimentão o tempo de drenagem da zona radicular deve ser inferior a 2 dias tendo em vista que, em qualquer fase do ciclo o excesso de umidade provoca danos severos às plantas, reduzindo acentuadamente a produção (Cruciani & Minami, 1982).

Espécies da família palmaceae são exemplos de intensa diversidade de respostas à saturação de umidade no sistema radicular, assim é que, plantas de buriti submetidas ao alagamento das raízes não apresentaram sintomas típicos do estresse de inundação como clorose, epinastia, murcha, o que sugere efetiva adaptação à inundação, no entanto a partir do 16º dia de saturação hídrica houve o aparecimento de pneumatóforos e acentuado aumento de raízes finas e ramificadas, sendo este um mecanismo disponibilizado para superar o revés da aparente situação de hipoxia (Calbo et al., (1998).

Em carnaubeiras sob inundação por 35 dias, foi percebido aumento na concentração de CO² e diminuição da concentração de O² em raízes de plantas inundadas. O alagamento do solo reduziu a fotossíntese e a condutância estomática, mas não afetou o crescimento da parte aérea e nem induziu o aparecimento de sintomas resultantes do estresse de inundação, indicando que tal comportamento é conferido possivelmente pela elevada porosidade das raízes (Arruda & Calbo, 2004).

Dada à importância da abobrinha, sobretudo hoje em intensa exploração sob cultivo hidropônico, além dos eventos climáticos que determinam alagamento do solo, busca-se com o presente trabalho avaliar as respostas da espécie à exposição do sistema radicular à saturação de umidade na fase de pré-florescimento.

2. Metodologia

A pesquisa, então identificada do ponto de vista metodológico como quali-quantitativa de caráter exploratório, (Pereira et al., 2018), tendo em vista observações comportamentais, do tipo expressão física de estresse(murcha), então transformadas em escores, foi conduzida

na área experimental do Departamento de Fitotecnia no Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal do Piauí (UFPI), em Teresina – PI, no período de setembro a novembro de 2018. Para tanto, buscou-se o alicerce de algumas contribuições, particularmente de Cruciani e Minami, (1982); Calbo et al. (1998) e Calbo e Moraes, (2000).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 3 repetições, sendo a parcela constituída de 01 vaso, com densidade de 02 plantas, ficando os tratamentos representados por quatro tempos de saturação de umidade do sistema radicular: 00; 24; 48 e 72 horas, aplicados na fase de vida inicial de crescimento da planta.

A semeadura da cultivar Caserta, foi realizada em 31 de agosto de 2018, com registro de emergência iniciada em 04 e concluída em 10 de setembro. As plantas foram conduzidas em vasos de 10,0 litros, em substrato composto por uma mistura 2/1 de terriço/esterco, adubado com a fórmula 4-14-8, na base de 3,0 g/L de mistura. No fundo do vaso foi colocada uma tela sobre uma camada de brita para facilitar a drenagem, procedimento que objetivou evitar reações fermentativas indesejáveis nos momentos de hipoxia. Os vasos foram acondicionados em bancada suspensa ao ar livre sob um telado sombrite com 50% de luminosidade, sob condições naturais de temperatura.

A execução dos tratamentos teve início às 6:00 horas do dia 25 de setembro (24 horas), em torno da 6ª folha verdadeira, cerca de duas semanas após a emergência (DAE), concluindo com o tratamento relativo às 72 horas, com a abertura do dreno às 6:00 horas da manhã do dia 28 de setembro. Durante o período de inundação foi mantida uma lâmina de 1,0 cm acima do solo para, a seguir voltar à condição de capacidade de campo, ocasião em que todo o conteúdo de umidade foi substituído, repondo de modo natural o oxigênio.

Como base para a manutenção da capacidade de campo foi realizado diariamente o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) a partir dos dados meteorológicos da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET através de uma planilha de cálculo, sendo realizadas duas irrigações diárias.

O florescimento foi identificado com a diferenciação do botão floral masculino, percebido no final de setembro, de modo que as observações sobre o fenômeno foram efetivadas em dois momentos, em 06 e 09 de outubro. Contabilizados número de flores masculinas e número de flores femininas nos dois momentos.

A coleta do experimento ocorreu aproximadamente 37 dias após a aplicação do último tratamento. Para tanto as plantas foram retiradas dos vasos com os cuidados devidos, evitando-se provocar danos mecânicos sobretudo ao sistema radicular, utilizando balança analítica portátil, trena, régua, canivete, baldes e papel toalha. Inicialmente foram retirados

dos vasos os torrões de substrato juntamente com o sistema radicular e em seguida colocado em água parada para facilitar a desintegração dos torrões sem o comprometimento do órgão. Logo após colocou-se em água corrente para a limpeza da raiz, e em sequência o enxugamento para se realizar os pesos, medidas e aspectos visuais dos parâmetros abordados.

Para aferir as respostas da planta foram determinados os parâmetros: profundidade da raiz, altura da planta, peso da matéria fresca da parte aérea e da raiz, relação parte aérea/raiz, registro sobre apodrecimento da raiz, presença de aerênquima e hipertrofia de lenticelas. A fitotoxicidade foi avaliada pelas alterações no aspecto geral da planta (clorose, murcha) e índice de mortalidade. Acerca de danos mecânicos na folhagem foi utilizado um sistema de notas, variando de 1 a 5, onde a nota 1 corresponde a ausência de sintoma, a nota 2 a sintoma leve (até 10,00% da área foliar afetada), nota 3 a sintoma moderado (até 20,00% da área foliar afetada), a nota 4 a sintoma acentuado (até 30,00% da área foliar afetada) e a nota 5 a sintoma muito alto (acima de 40,00% da área foliar afetada).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, com a aplicação do teste Tukey a 5,0% de probabilidade, com a utilização do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

3. Resultados e Discussão

3.1. Parâmetros vegetativos

Conforme é mostrado na Tabela 1, a análise de variância não revelou diferença significativa apenas para altura e profundidade da raiz, demonstrando reação da planta quanto aos parâmetros peso da matéria fresca da parte aérea, peso da matéria fresca da raiz e danos mecânicos na folhagem.

Tabela 1 – Altura da planta (H), comprimento da raiz (CR), peso da matéria fresca da parte aérea (PMFA), peso da matéria fresca do peso da matéria fresca da raiz (PMFR), relação peso da parte aérea/raiz (RPAR) e danos mecânicos da área foliar (DM) em função de tempos de saturação hídrica da raiz.

| Saturação (horas) | H (cm) | CR (cm) | PMFA (g) | PMFR (g) | RPAR | DM (%) |
|-------------------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
| 0,00 | 65,16 a | 28,50 a | 318,63 a | 47,70 a | 7,12 c | 0,11 b |
| 24,00 | 62,75 a | 22,33 a | 196,35 b | 17,48 b | 11,63 b | 15,08 b |
| 48,00 | 71,58 a | 19,16 a | 151,90 b | 6,10 b | 24,60 a | 68,25 a |
| 72,00 | 53,16 a | 12,33 a | 105,21 b | 9,07 b | 11,93 b | 72,27 a |
| CV (%) | 29,13 | 33,21 | 17,82 | 41,31 | 10,86 | 13,95 |

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborada pelos autores, UFPI, Teresina, PI, 2018.

De uma maneira geral é visível o efeito traumático da saturação de umidade nos parâmetros vegetativos adotados, observáveis no decorrer das 24 horas de exposição, acentuando-se com o tempo, comportamento típico de plantas sensíveis à inundação, as quais são danificadas severamente em mais de 24 horas por anóxia.

Muito embora não detectados pela estatística, percebe-se uma nítida reação da planta ao alagamento, quanto ao comprimento da raiz e altura da planta, sendo mais drástico após 48 horas de exposição. Na espécie *Lonchocarpus sericeus* ocorre redução na altura das plantas com o alagamento, muito embora componham as matas ciliares e, como tal, expostas a possíveis inundações, demonstrando maior nível de adaptação a ambientes úmidos (Lira et al., 2013). Em aveia branca o alagamento do solo entre 72 e 120 horas não afetou o comprimento da parte aérea e da raiz (Rosa et al., 2015).

O peso da matéria fresca da raiz (Tabela 1) sofreu um decréscimo com o aumento do tempo de alagamento, constatando-se severa redução a partir das 24 horas, chegando ao ponto crítico às 48 horas, com valores respectivos de 63,35% e 87,21%.

Acerca da raiz é oportuno destacar que, sendo um órgão em contato direto com o excesso de água e conseqüentemente com déficit de oxigênio, essa ausência dificulta a eliminação do etileno produzido pelas raízes provocando assim danos a toda a planta, com maior gravidade nas raízes (Bradford & Yang, 1981). A Imbaúba (*Cecropia pachystachya*) é planta considerada tolerante ao alagamento, no entanto a reação traumática da espécie ao

estresse prende-se ao desenvolvimento do sistema radicular, de modo tal que, 30 dias de inundação é suficiente para provocar a morte de parte dele (Batista et al., 2008).

Em condições de escassez de oxigênio pode haver morte da raiz principal e secundária em plantas alagadas, levando à redução da massa seca do sistema radicular de espécies como *Bactris gasipaes* e *Rumex palustris* (Carvalho et al., 2002; Chen et al., 2011). Apesar da redução do sistema radicular causar prejuízos na absorção de água e nutrientes, comprometendo o crescimento da planta, foi constatado por Andrade et al. (1999), que, apesar da redução do sistema radicular, a espécie *Genipa americana* foi considerada tolerante ao alagamento. Efetivamente, são raras as espécies tolerantes estudadas, que não apresentam redução do crescimento das raízes quando alagadas (Batista et al., 2008; Fant et al., 2010; Rosa et al., 2015).

A saturação de umidade provocou restrição do crescimento da parte aérea da planta (Tabela 1), bastando 24 horas para comprometer a acumulação de matéria fresca, em gradientes variando entre 40 e 65%, correspondendo respectivamente aos níveis de 24 e 72 horas. É sabido que a maioria das espécies neotropicais tolerantes ao alagamento da raiz tem apresentado significativa redução do crescimento da planta como um todo (Batista et al., 2008).

Os resultados mostraram que as plantas cultivadas sobre diferentes níveis de inundação diminuíram o crescimento dos órgãos tanto da parte aérea como da raiz. Esse decréscimo quase sempre pode ser atribuído à pouca quantidade de energia disponível para os processos de crescimento devido ao baixo nível de oxigênio, resultando na diminuição da energia do metabolismo celular, com notável baixa produção de ATP, além da pouca produção e translocação de assimilados para a respiração (Webb & Armstrong, 1983; Sharkey, 1985; Olien, 1987).

É visível o aumento da relação parte aérea/raiz, com a elevação dos níveis de saturação de umidade, indicando que a parte mais afetada das plantas pelos tratamentos é o sistema radicular, pois este órgão é o mais sensível ao alagamento (Bradford & Yang, 1981; Rosa et al., 2015). Assim, pode-se inferir que, a relação diminui com 72 horas, explicável pela maior perda da parte aérea, sendo esta, mais afetada a partir das 48 horas de inundação, ao passo que, o sistema radicular tem a maior perda com 48 horas de alagamento, se mantendo relativamente estável a partir de então. A redução no crescimento dos órgãos da planta visa uma economia de energia, garantindo assim, uma condição de metabolismo mínimo para a manutenção das regiões mais afetadas pela anoxia (Wiedenroth, 1993; Armstrong et al., 1994).

Fant et al., (2010) ao explicar o comportamento da soja quanto às relações díspares de crescimento de parte aérea em relação ao sistema radicular, recorreu às explicações de Liao e Lin (2001) os quais assinalam que o alagamento do solo pode causar redução na taxa de translocação de carboidratos das folhas para as raízes, das atividades metabólicas, diminuição do crescimento as quais passam a demandar menor quantidade de carboidratos. Outros estudos evidenciam que este tipo de estresse provoca redução na síntese e translocação de substâncias reguladoras do crescimento, dentre elas giberelinas e as citocininas, do sistema radicular para a parte aérea do vegetal (Atwell & Steer, 1990) e também um consequente acúmulo de inibidores nas raízes que podem alterar o crescimento da planta (Jackson & Drew, 1984).

As plantas submetidas ao alagamento não demoraram a sofrer o estresse causado pelo fator, tanto é que, bastaram duas horas para provocar murcha às plantas. No final da tarde, por volta das 17 horas as plantas mostraram uma parcial recuperação, voltando a ficar entumecidas, fenômeno repetido para as exposições de 48 e 72 horas de inundação, salientando a existência de um reajustamento das funções fisiológicas das plantas, uma flagrante tentativa de adaptabilidade ao ambiente hostil. No Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) a recuperação da fotossíntese, condutância estomática e transpiração iniciaram-se um dia após a irrigação, atingindo valores semelhantes ao do controle após 14 dias de reidratação (Calbo & Moraes, 2000).

Foi constatado na base do caule da abobrinha a presença de lenticelas na maioria das plantas em alagamento. Tais estruturas provavelmente favorecem a sobrevivência das plantas durante período de baixa disponibilidade de oxigênio no solo, contribuindo também com a difusão do mesmo da atmosfera para os tecidos internos, e liberação dos compostos potencialmente tóxicos (Batista et al., 2008), muito embora não possa ser considerado expressivo do ponto de vista de magnitude, permitindo completa recuperação.

Nos tratamentos de 72 horas de inundação, apenas duas plantas apresentaram intumescência na interseção raiz e caule. Essas estruturas fazem supor a formação de aerênquimas, que são a abertura de espaços intercelulares que facilitam ainda mais a oxigenação. A pequena quantidade de plantas que apresentou essa intumescência vem mostrar que a abobrinha é uma planta que não é habituada a apresentar tal mecanismo adaptativo diante deste tipo de adversidade. A presença de aerênquima, por outro lado, é uma resposta positiva à pouca oxigenação (Baruch & Mérida, 1995; Drew, 1997; Moraes et al., 2001), uma vez que facilita a difusão de oxigênio entre órgãos aerados e não aerados (Drew, 1997). Tais

adaptações morfológicas e anatômicas, resultantes do estresse de inundação, podem estar relacionadas a aspectos fisiológicos, como o balanço hormonal (Calbo et al., 1998)

A clorose verificada após 24 horas de inundação do sistema radicular evoluiu consoante o tempo de exposição, originando danos mecânicos, tendo em vista o não registro de recuperação das plantas (Tabela 1), provocando até a morte. Os danos mecânicos foram significativos com 48 horas de saturação de umidade no sistema radicular. Neste lapso de tempo a perda de área foliar foi identificada como sintoma muito alto recebendo a nota 5, enquanto, que, com 24 horas de saturação a perda de área foliar foi moderada. Em resposta à redução de O² e do aumento da concentração de gases tóxicos no solo, é esperado que a planta apresente sintomas como murchamento, clorose das folhas, hipertrofia do caule, alterações morfo-anatômicas, diminuição do crescimento e da produtividade e morte das raízes (Kramer, 1983).

A saturação de umidade, dependendo do tempo, é bastante danosa para a abobrinha. Conforme observado durante a apresentação e debate das contribuições de diferentes autores, a rigor, não há antagonismo quando comparados aos obtidos na presente pesquisa. Tratam-se, de espécies vegetais, diferentes, ocupando, não raro, locais também diversos. A despeito disso, percebe-se similaridades de respostas quanto ao efeito da saturação hídrica, conduzindo a hipóxia ou até anóxia, onde algumas espécies apresentam mecanismos de adaptação. No caso, permitindo conviver, na perspectiva de redução de danos ou até, na reparação plena, dependendo do órgão atingido, ou do tempo de exposição ao estresse hídrico, onde a raiz costuma ser o órgão mais afetado.

3.2. Florescimento

O fenômeno floração bem como o seu prosseguimento, revelado pela polinização, fixação, fecundação e crescimento do fruto são inteiramente influenciados pelas condições ambientais, podendo, em qualquer estágio ter seu comprometimento verificado. O próprio equilíbrio hormonal influenciando na diferenciação de flores dos dois sexos ou privilegiando um em detrimento do outro estarão associados, na perspectiva de resposta aos fatores ambientais, então identificados como estressores. Conforme observado na Tabela 2, houve resposta ao fator de estresse, saturação do solo, pela flagrante queda no número de flores masculinas, fenômeno detectado estatisticamente.

Tabela 2 – Número de flores masculinas obtidas em duas contagens e número de flores femininas.

| Tratamentos | Flores masculinas | | Número de flores femininas |
|-------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | 1 ^a contagem | 2 ^a contagem | |
| 00 h | 8,00 a | 5,33 a | 9,33 a |
| 24 h | 6,33 a | 1,33 b | 8,33 a |
| 48 h | 1,66 b | 0,66 b | 4,00 b |
| 72 h | 0,00 b | 0,00 b | 2,33 b |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey. Fonte: Elaborada pelos autores, UFPI, Teresina, PI, 2018.

A identificação do alagamento como agente estressor com reflexo no florescimento se verifica a partir do sintoma precoce de murcha da planta e, em segundo momento com antecipação do fechamento das flores masculinas. Em condições de estresse as flores da abóboreira abrem-se e fecham-se cada vez mais cedo cedendo às pressões ambientais, à medida que os dias apresentam maior período de horas-luz (Nicodemo et al., 2007).

No primeiro momento o efeito da inundação da raiz se verificou às 48 horas, no segundo pico o efeito foi contundente às 24 horas. De qualquer sorte, às 72 horas houve ausência de antese de flor masculina por absoluta falta de diferenciação de botão floral nas duas aferições. A desidratação sendo uma consequência da baixa concentração de oxigênio na rizosfera devido ao excesso de umidade (Kawase, 1978; Bradford & Yang, 1981) ficou demonstrada através da visível perda da turgidez das plantas, poucas horas da aplicação do tratamento, demonstrando enfrentar intenso déficit hídrico, condição que favoreceu o fechamento antecipado das flores, entre 7:30 e 9:00 horas. Coincidentemente este período corresponde àquele cujo movimento de insetos polinizadores se encontra com a maior intensidade (Sanduleac, 1959), movimentação esta não observada no presente ensaio, possivelmente porque o estado geral das plantas não se mostrava atraente aos polinizadores, até porque condições como baixo suprimento de umidade do tipo escassez de chuvas e baixa umidade relativa do ar interferem negativamente na produção de néctar das flores (Nicodemo et al., 2007).

Por outro lado, a polinização das poucas flores femininas em antese, não conduziram à formação de fruto. Em abóbora, a viabilidade dos grãos de pólen já se encontra com aproximadamente 92% no momento da antese das flores, reduzindo para 75% quando elas se

fecham (Nepi & Pacini, 1993). No geral, na abóbora, o pico de produção de néctar nas flores masculinas ocorre por volta das 9h00 e nas femininas às 11h00 da manhã (Nicodemo et al., 2007).

Acerca da perda da viabilidade do grão de pólen, ocorre devido à desidratação do mesmo, circunstância acirrada pelo déficit hídrico que assola a planta como um todo, dada as dificuldades naturais de absorção de água, provocadas pela insuficiência de O² na região radicular. Outra variável de excepcional importância na presente questão é a intensidade de voo dos polinizadores, que costuma variar de acordo com a disponibilidade de néctar, pólen e temperatura do dia, revelando uma conexão estreita entre as abelhas e as plantas quanto ao horário de coleta e produção de néctar (Danka & Rinderer, 1966).

Segundo Abreu et al. (2008) em melão, o momento de maior viabilidade do grão de pólen ocorre em torno das 9:00 horas da manhã, até porque a perda de viabilidade acontece em ritmo crescente à medida que se verifica a antese. Ao mesmo tempo é necessário que o órgão masculino esteja totalmente exposto e funcional, com grãos-de-pólen em seu máximo potencial de germinação e de fertilização e, paralelamente o estigma já estar receptivo quando as flores se encontrarem em antese (Lacerda et al., 1995). Ávila et al., (1989) e Couto et al. (1990), afirmam que a abelha *A. mellifera* é o mais frequente e importante inseto polinizador das flores da abobrinha.

Ademais é também relevante o cenário de estresse provocado pela inundação do sistema radicular da planta com o nível e umidade interna, em função do fator déficit de oxigênio na raiz. Em milho o conteúdo relativo de água nas folhas de plantas submetidas ao alagamento foi inferior quando comparado em plantas do tratamento controle (Coelho et al., 2013), fenômeno que, segundo os autores contribuiu para provar que a redução do conteúdo relativo de água foi causada pelo fechamento dos estômatos, provocado por alterações metabólicas geradas em virtudes da anóxia das raízes.

A falta de água para uso na fotossíntese e na própria regulação estomática, fundamental nas trocas gasosas, naturalmente afeta tanto a síntese de assimilados orgânicos bem como a produção de grãos de pólen e do próprio néctar, algo não menos importante para os polinizadores. É oportuno lembrar que, sob condições de hipóxia decorrente do alagamento do solo, ocorre a diminuição da difusão do oxigênio, reduzindo as trocas gasosas entre o sistema radicular e o espaço poroso do solo (Zabalza et al., 2008), afetando o metabolismo energético, com reflexo na redução da síntese de ATP e no crescimento e desenvolvimento vegetal (Horchani et al., 2008).

Conforme observado em *Setaria anceps* e *Paspalum repens*, tanto o encharcamento do solo quanto a submersão total da planta afeta a fase fotoquímica nas folhas, diminuindo as reações ao nível dos cloroplastídeos, como consequência da redução no fornecimento de energia gerada pelo fotossistema II para os processos fotossintéticos subsequentes (Ishida et al., 2002). Em certas espécies vegetais a queda é atribuída à redução do CO₂, devido ao fechamento estomático (Davies et al., 1986; Carvalho et al., 2002). É quase certo que não apenas pelo fechamento estomático, mas, pode também estar ligado à etapa fotoquímica na forma que mencionam (Herrera et al., 2008), portanto relacionado à redução na síntese ATP através da fosforilação oxidativa (Colmer et al., 2009).

Ao mesmo tempo o ambiente com particularização para a umidade estimula a síntese do ácido giberélico, reconhecido pela sua propriedade masculinizante. No melão, por exemplo, condições ambientais que favoreçam o crescimento vegetativo, elastecendo o período vegetativo, promovem a elevação dos níveis endógenos de giberelina que, por sua vez provocam o aumento do número de flores masculinas, em detrimento do número de femininas (Rudich et al., 1972). No entanto o alagamento provoca uma situação de estresse hídrico na planta dada a falta de transporte de água pela impossibilidade de absorção pelo sistema radicular, provocando condições desfavoráveis à síntese do ácido giberélico o que bem explica, no presente ensaio, a redução no número de flores masculinas.

Nesta perspectiva convém lembrar que o aumento do número de frutos produzidos pelas plantas, entretanto, não está associado apenas a uma maior proporção de flores femininas ou masculinas, (Lattaro & Malerbo-Souza, 2006) até porque o seu potencial produtivo é limitado também pela presença de água e nutrientes no solo (Stephenson, 1981).

A exposição em demasia à umidade, sem a consequente renovação do oxigênio diluído, afeta também, o florescimento na abobrinha. À primeira vista, não se tratando de espécie adaptada às condições impostas, é aguardado que, o déficit hídrico ocasionado pela limitação da planta em retirar água, seja capaz de comprometer o metabolismo, como um todo, prejudicando, inclusive a iniciação floral, a expressão do sexo e frutificação, por consequência.

Na literatura pertinente, não há o que obstar quantos aos resultados obtidos, até porque os existentes, estão a contribuir, elucidando ou corroborando. O presente estudo também permite demonstrar a necessidade de que, em outras oportunidades haja redução nos tempos de saturação, contemplando outros momentos no ciclo da planta. Assim seria possível definir com precisão o tempo de drenagem, ou seja, o lapso temporal onde, excesso de umidade em torno do sistema radicular, deveria ser drenado. Conforme observações de Cruciani; Minami

(1982) um dos efeitos mais marcantes observados no pimentão em decorrência do alagamento, foi a redução do número de frutos, principalmente em exposições mais prolongadas, sendo menos sensível no final do ciclo.

4. Considerações Finais

O alagamento da raiz é um fator de estresse para a abobrinha. Provoca murcha das plantas, reduzindo o peso da matéria fresca da raiz, da parte aérea, altera a relação parte aérea/raiz, provocando danos mecânicos. Antecipa o fechamento das flores masculinas, prejudicando a diferenciação de flores masculinas e femininas, comprometendo a fixação das flores femininas. A presença esporádica de estruturas aerenquimáticas não garante a oxigenação necessária capaz de superar as 24 horas de saturação do sistema radicular, sendo este, o tempo de drenagem estimado.

Os resultados obtidos também sugerem, que em próximos ensaios, haja um monitoramento mais adequado na definição de intervalos mais curtos de saturação, contemplando outros momentos do ciclo da planta, permitindo também, dimensionar, com maior precisão, um tempo de drenagem para a espécie.

Referências

Abreu, T. B., Nunes, G. H. S., Dantas, M. S. M., Costa Filho, J. H., Costa, G. G., & Aragão, F. A. Z. (2008). Denologia, viabilidade do grão de pólen e receptividade do estigma no meloeiro. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 52-46.

Andrade, A. C. S., Ramos, F. N., Souza, A. F., Loureiro, M. B., & Bastos, R. (1999). Flooding effects in seedlings of *Cytherexylum myrianthum* Cham. In addition, *Genipa americana* L.: responses of two neotropical lowland tree species. *Revista Brasileira de Botânica* 22, 281-285.

Armstrong, W., Braendle, R., & Jackson, M. B. (1994). Mechanisms of flood tolerance in plants. *Acta Botanica Neerlandica* 43, 307-358.

Arruda, G. M.T., & Calbo, M. E. R. (2004). Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore). *Acta bot. bras.* São Paulo, 18(2), 219-224.

Atwell, B. J., & Steer, B. T. (1990). The effect of oxygen deficiency on uptake and distribution of nutrients in maize plant. *Plant and Soil*, 122(1), 1-8.

Avila, C. J. *et al.* (1989). Polinização e polinizadores na produção de frutos e sementes híbridas de abóbora (*Cucurbita pepo* var. melopepo). *Anais Soc. Entomol. Bras.*, Londrina, 18(1), 13-9.

Baruch, Z., & Mérida, T. (1995). Effects of drought and flooding on root anatomy in four tropical forage grasses. *International Journal Plant Science*, Chicago, 156(4), 514-21.

Batista, C. U. N., Medri, M. E., Bianchini, E., Medri, C., & Pimenta, J. A. (2008). *Tolerância a inundação de Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. *Acta bot. bras.* 22(1), 91-98.

Bradford, K. J., & Yang, S. F. (1981). Physiological responses of plants to waterlogging. *HortScience* 16: 25-30.

Calbo, M. E. R., & Moraes, J. A. P. V. (2000). Efeitos da deficiência hídrica em plantas de *Eutepa oleracea* (açá). *Rev. Braz. Bot.* 23, 225–230.

Calbo, M. E. R., Moraes, J. P. V. & Calbo, A. G. (1998). Crescimento, condutância estomática, fotossíntese e porosidade do buriti sob inundação. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 10(1), 51-8.

Carvalho, C. J. R., et al. (2002). Respostas de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) jovens ao alagamento. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, 37(9), 1231-37.

Chen, X., et al. (2011). Fitness consequences of natural variation in flooding induced shoot elongation in *Rumex palustris*. *New Phytologist*, 190(1), 409-20.

Coelho, C. C. R., Neves, M. G., Oliveira, L. M., Conceição, A. G. C., Okumura, R. S., & Oliveira Neto, C. F. (2013). Biometria em plantas de milho submetidas ao alagamento. *Agroecossistemas*, 5(1), 32-38.

Colmer, T. D., et al. (2009). Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*, 36(1), 665-681.

Couto, R. H. N., et al. (1990). Estudo da polinização entomófila em *Cucurbita pepo* (abóbora italiana). *Científica*, São Paulo, 18(1), 21-27.

Cruciani, D. E., & Minami, K. (1982). Suscetibilidade do pimentão (*Capsicum annuum* L.) a inundações temporárias do sistema radicular. *Anais da E.S.A. "Luis de Queiroz"*, 34, 137-150.

Damasceno-Junior, G. A., et al. (2004). Tree mortality in a riparian forest at Rio Paraguai, Pantanal, Brazil, after an extreme flooding. *Acta botânica brasílica*, São Paulo, 18(4), 839-846.

Danka, R. G., & Rinderer, T. E. (1996). Africanized bees and pollination. *Am. Bee J.* Hamilton, 126(1), 680-682.

Davies, F. S., et al (1986). Flooding, gas exchange and root hydraulic conductivity of highbush blueberry. *Physiologia Plantarum*, 67(1), 545-551.

Drew, M. V. (1997). Oxigênio deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Palo Alto, 48(1), 223-250.

Fant, C. A., Alves, J. D., Goulart, P. F. P., Deuner, S., & Silveira, N. M. (2010). Respostas fisiológicas em cultivares de soja submetidas ao alagamento em diferentes estádios. *Bragantia*, Campinas, 69(2), 253-261.

Ferrer, J. L. R., Castro, E. M., Alvez, J. D., Aleancar, M. A., Silva, S., Vieira, C. V., & Magalhães, P. C. (2004). Efeito do cálcio sobre as características anatômicas de raízes de

milho (*Zea mays* L.) “Saracura” BRS-4154 submetido ao alagamento em casa de vegetação. *Revista brasileira de milho e sorgo*. 3(2), 172-181.

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 35(6), 1039-1042.

Filgueira, F. A. R. (2000). *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV.

Gill, C. J. (1970). The flooding tolerance of woody species – A review. *Forestry Abstract*, Oxford, 31(4), 671-683.

Herrera, A., et al. (2008). Estomatal and non estomatal limitations of photosynthesis in trees of a tropical seasonally flooded forest. *Physiologia Plantarum*, 134(1), 41-48.

Horchani, F., Gallusci, P., & Baldet, P. (2008). Prolonged root hypoxia induces ammonium accumulation and decreases the nutritional quality of tomato fruits *Journal of plant physiology*. *Journal of Plant Physiology*, Irvine, 165(13), 1352-1359.

Ishida, F. Y., Oliveira, L. E. M., Carvalho, C. J. R., & Alves, J. D. (2002). Efeitos da inundação parcial e total sobre o crescimento, teor de clorofila e fluorescência de *Setaria anceps* e *Paspalum repens*. *Ciênc. agrotec*. Lavras. 26(6), 1152-1159.

Jackson, M. B., & Drew, M. C. (1984). Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: Kozlowski, T. T. (Ed.). *Flooding and plant growth*. San Diego: Academic Press.

Joly, C. A. (1991). Flooding tolerance in tropical trees. In: M. B. Jackson, D. D. Daves & H. Lambers (eds.). *Plant life under oxygen deprivation*. Netherlands: SPB Academic Publishing.

Kawase, M. (1978). Anaerobic elevation of ethylene concentration in waterlogged plants. *Amer. J. Bot.* 65, 736-740.

Kozłowski, T. T. (1997). Responses of woody plants to flooding and salinity. Tree physiology monograph no. 1. Victoria: Heron Publishing, 1–29.

Kramer, P. J. (1983) *Water relations of plants*. New York: Academic Press, 6, 146-186.

Lacerda, C.A., et al. (1995). Meio de cultura e condições ideais para germinar o grão de pólen de *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Santa Cruz Kada. Rev. Ceres, Viçosa, 42(241), 308-312.

Larcher, W. (2000.) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RIMA Artes e Textos.

Lattaro, L. H., & Malerbo-Souza, D. T. (2006). Polinização entomófila em abóbora caipira, *Cucurbita mixta*. *Acta Sci. Agron. Maringá*, 28(4), 563-568

Leopold, C. A., & Kridman, P. E. (1975). *Plant growth and development*. 2. Ed. New York: MacGraw-Hill.

Levitt, J. (1972). *Responses of plants to environmental stresses*. New York: Academic Press.

Liao, C. T., & Lin, C.H. (2001). Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. *Proceedings of the National Science Council, Roc (B)*, 25(1), 148-157.

Lira, J. M. S., Ferreira, R. A., Silva Junior, C. D., Santos Neto, E. M., & Santana, W. S. (2013). Análise de crescimento e trocas gasosas de plantas de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) D. C. sob alagamento para uso na recuperação de matas ciliares. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 23(4), 655-665.

Mano, Y., Omori, F., Takamizo, T., Kindiger, B., Mck. Bird, R. & Loaisiga, C. H. (2006). Variation for root aerenchyma formation in flooded and non-flooded maize and teosinte seedling. *Plant and Soil*, 281(1), 269-279.

Moraes, M. G., Alves, J. D., & Oliveira, L. E. M. (2001). Efeito da anaerobiose induzida por alagamento em plântulas de seis espécies herbáceas. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, 25(4), 941-951.

- Nepi, M., & Pacini, E. (1993). First observations on nectaries and nectar of *Cucurbita pepo*. *G. Bot. Ital.*, Florence, 127(1), 1208-1210.
- Newsome, R. D., Kozlowski, T. T., & Tang, Z. C. (1982). Responses of *Ulmus americana* seedlings to flooding of soil. *Canadian Journal of Botany*, 60(9), 1688-1695.
- Nicodemo, D., Couto, R. H. N., Malheiros, E. B., & Jong, D. (2007). Biologia floral em moranga (*Cucurbita máxima* Duch. var. "Exposição"). *Acta Sci. Agron. Maringá*, 29(1), 611-616.
- Olien, W. C. (1987). Effects of seasonal soil waterlogging on vegetative growth and fruiting of apples trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(2), 209-214.
- Pelacani, C. R., Oliveira, L. E. M., & Cruz, J. L. (1995). Dry matter production and distribution in plant of Ingá (*Inga vera* Wild.) and Açaí (*Euterpe oleraceae* Mait) grown root system under flooded conditions. *Acta Horticulturae*, 370(1), 181-187.
- Pelacani, C. R., Oliveira, L. E. M., & Cruz, J. L. (1998). Respostas de espécies florestais à baixa disponibilidade de oxigênio. II. Alterações na produção e distribuição de matéria seca. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília*, 33(1), 37-41.
- Pereira A. S., et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.
- Rosa, T. D., Pedó, T., Martinazzo, E. G., Gehling, V. M., Aisenberg, G. R., Aumonde, T. Z., & Villela, F. A. (2015). Alagamento do solo: efeito no crescimento inicial da aveia branca (*Avena sativa* L.). *Scientia Agraria Paranaensis*, 14(2), 127-131.
- Rudich, J., Halevy, A. H., & Kedar, N. (1972). Interaction of gibberellin and SADH on growth and sex expression of muskmelon. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97(3).

Sanduleac, E. (1959). Data on the entomophilous pollination and the selection of cucurbitaceae. *Lucr. Stat. Cent. Seri. Apic. Romanian*, 1(1), 129-132.

Sharkey, T. D. (1985). Photosynthesis in intact leaves of C3 plants: physics, physiology, and rate limitations. *Botanic Review*, 51(1), 53-105.

Stephenson, A. G. (1981). Flower and fruit proximate causes and ultimate functions. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, Palo Alto, 12(1), 253-279.

Vu. J. V. C., & Yelenoski, G. (1991). Photosynthetic responses of citrus trees to soil flooding. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 81(1), 1-14.

Webb, I., & Armstrong, W. (1983). The effects of anoxia and carbohydrates on the growth and viability of rice, pea and pumpkin roots. *Journal of Experimental Botany*, 34(142), 579-583.

Wiendenroth, E. M. (1993). Responses of roots to hypoxia: their structural and energy relations with the whole plant. *Environmental and Experimental Botany* 33(1), 41-51.

Zabalza, A., Dongen, J. T. V., Froehlich, A., Oliver, S. N., Faix, B., Gupta, K. J., Schmäzlin, E., Igal, M., Orcaray, L., Royuela, M., & Geigenberger, P. (2008). Regulation of respiration and fermentation to control the plant internal oxygen concentration. *Plant Physiology*, 149(1), 1087-1098.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Cristóvam Colombo Belfort – 14,28%

Rômulo Batista da Silva Barbosa – 14,28%

Lucivan de Sousa Mota – 14,28%

Marcos Schleiden Sousa Carvalho – 14,28%

Maria da Conceição Prado de Oliveira – 14,28%

Pedro Emartino Bezerra Campelo – 14,28%

Francisco Assunção de Jesus Junior – 14,28%