

TOLERÂNCIA DO RABANETE AO ENCHARCAMENTO DO SOLO

Ronimeire Torres da Silva

Graduanda em Engenharia Agrônoma, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFERSA, Mossoró – RN. e-mail: ronyapodi@hotmail.com

Antônia Adailha Tôrres Souza

Eng. Agrônoma, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFERSA, Mossoró – RN.
e-mail: adailhatorres@hotmail.com

Francisco de Assis de Oliveira

Prof. Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFERSA, Mossoró – RN.
e-mail: thikaoamigao@ufersa.edu.br

Isabelli Sorrel de Oliveira Targino

Graduanda em Engenharia Agrônoma, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFERSA, Mossoró – RN. e-mail: ronyapodi@hotmail.com

Maria Laiane do Nascimento Silva

Graduanda em Engenharia Agrônoma, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, UFERSA, Mossoró – RN. e-mail: nascimentoilaiane@yahoo.com

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do rabanete ao encharcamento do solo em diferentes fases e duração, e identificar o estágio fenológico em que ocorre a maior diminuição no desenvolvimento das plantas. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 3 x 3 + 1, com 3 repetições. Os tratamentos consistiram três períodos de inundação (10, 17 e 24 dias após a semeadura), três durações de inundação (5, 10 e 15 horas) e uma testemunha, na qual não foi aplicado estresse por elevação do lençol freático. Aos trinta e cinco dias após a semeadura as plantas foram coletadas e avaliadas quanto as seguintes variáveis: número de folhas, área foliar, diâmetro de raiz, massa fresca de raízes e da parte aérea. O rabanete apresentou sensibilidade à saturação hídrica, principalmente quando o estresse ocorreu nos primeiros estágios de desenvolvimento das plantas. Dentre os três períodos nos quais o estresse causado pela elevação do nível freático foi aplicado, o primeiro foi o que ocasionou maiores perdas. O sistema radicular da cultura do rabanete é mais sensível ao encharcamento do que a parte aérea.

Palavras-chave: *Raphanus sativus* L., manejo da irrigação, estresse hídrico, inundação.

TOLERANCE RADISH CROP UNDER WATERLOGGING OF THE SOIL

Abstract: The objective of this study was to investigate the response of radish crop under waterlogging in different phases and duration, and identifying the stage of the crop cycle with the highest reduction in the development plants. The statistical experimental design was completely randomized in factorial scheme 3x4 +1, with three replications. The treatments was three stages of the crop cycle (10, 17 e 24 days after the sowing), three duration water-logging (5, 10 e 15 hours) and a treatment in which stress was not applied with the elevation of the water table. At thirty-five days after sowing the plants were collected and evaluated for the following variables: number of leaves, leaf area, root diameter, fresh weight of roots and shoots. The radish showed sensitivity to water saturation, especially when stress occurred in the early stages of plant development. Among the three crop stages in which the stress caused by the water table elevation was applied, the first one caused the highest loss in the yield. The root system of radish culture is more sensitive to waterlogging than shoot.

Key words: *Raphanus sativus* L., irrigation management, water-stress, water-logging.

INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus Sativus* L.) pertence à família das Brassicaceas, é uma cultura cuja principal parte

comestível são as raízes, as quais são ricas em vitaminas C e B6, ácido fólico, potássio, elevada quantidade de fibras alimentares, significativa atividade antioxidante e isotiocianatos, e possui baixa quantidade de calorias (CAMARGO et al., 2007).

O ciclo é curto constituindo boa alternativa para os produtores pelo retorno financeiro em curto prazo, por ser opção na rotação de culturas e no controle de fitonematóides (ROSSI & MONTALDI, 2004), no entanto, ainda é uma com produção pouco expressiva no Brasil (PULITI et al., 2009).

Por ser uma cultura produzida principalmente por pequenos e médios olericultores, seu cultivo geralmente é cultivado em regiões de baixadas, localizadas próximas às fonte de águas superficiais utilizada na irrigação. O produto comercializável fica localizado na camada subsuperficial, dessa forma o rendimento do rabanete pode ser influenciado diretamente pelas condições físico-hídricas do solo.

A capacidade de drenagem é uma das principais características do solo que pode afetar o desenvolvimento e rendimento das plantas, visto que o excesso de água armazenada na faixa de solo explorada pelo sistema radicular das plantas afeta diretamente a taxa respiratória, uma vez que, nestas condições, o excesso de umidade interfere na aeração do solo, diminuindo a disponibilidade de oxigênio para a planta (SÁ et al., 2004).

Morfologicamente são vários os sintomas que as plantas apresentam sob esse tipo de estresse, dentre estes não encontrados na literatura alterações como redução na área foliar, teor de clorofila, porosidade da raiz (FERREIRA et al., 2008).

As hortaliças são consideradas sensíveis a saturação hídrica do solo, fato este já comprovado em diversas espécies, como ervilha (SÁ et al., 2004), alface (MINGOTI et al., 2006). A extensão dos danos decorrentes do encharcamento do solo depende de vários fatores, incluindo a duração do período de saturação, o estágio de desenvolvimento da planta, a espécie e as condições ambientais (SCHOFFEL et al., 2001; SEVERINO et al., 2005).

Para a cultura do milho, as reduções no rendimento de grãos em áreas encharcadas são mais pronunciadas quando o estresse ocorre no início do estágio vegetativo (MUKHTAR et al., 1990). Plantas de algodão estressadas apresentam redução do número de capulhos e o rendimento de algodão em caroço após dez dias de encharcamento (SOUZA et al., 2001). Na cultura da beterraba, Costa et al. (2008) verificaram maior sensibilidade na fase final da cultura. Garcia et al. (2010) trabalhando com a cultura da ervilha verificaram maior sensibilidade no estágio vegetativo em comparação com o estágio de maturação.

Apesar de já terem sido desenvolvidos estudos sobre a tolerância de algumas hortaliças ao estresse hídrico por

encharcamento do solo, ainda são escassos estudos avaliando o efeito desse tipo de estresse ambiental sobre a cultura do rabanete. Diante do exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito do estresse hídrico provocado por saturação do solo sobre o desenvolvimento e produção da cultura do rabanete em ambiente protegido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a março de 2010 em casa de vegetação, do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas (DCAT) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizado no município de Mossoró, RN, conforme as coordenadas geográficas de 5°11'31" de latitude Sul e 37°20'40" de longitude Oeste de Greenwich e com altitude média de 18 m.

A estrutura da casa de vegetação é de aço galvanizado, sendo as partes laterais e frontais confeccionadas com tela negra (sombrite) com 50% de sombreamento. A cobertura é em arco tipo túnel, medindo 7,0 m de largura e 18,0 m de comprimento, com manta de polietileno de baixa densidade, transparente, com 0,15 mm de espessura.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com os tratamentos distribuídos em esquema fatorial 3 x 3 + 1, resultando em dez tratamentos, com três repetições, sendo a unidade experimental representada por um vaso com capacidade para 12 dm³, contendo três plantas em cada vaso. Os tratamentos resultaram da combinação de três épocas de aplicação do estresse hídrico (10, 17 e 24 dias após a semeadura), com três tempos de saturação do solo (5, 10 e 15 horas), além do tratamento testemunha, no qual não foi aplicado estresse hídrico, sendo a irrigação realizada de acordo com a necessidade hídrica da cultura.

O cultivar de rabanete utilizado foi o 'Crimson Vip' (Feltrin®). Esta cultivar produz frutos de formato redondo, uniformes, diâmetro médio de 5 cm, raízes de coloração vermelho escarlate e resistente a rachaduras. Foram semeadas 12 sementes em cada vaso, distribuídas em três covas a uma profundidade de 2 cm. Aos sete dias após a semeadura foi realizado o desbaste deixando três plantas em cada vaso, ficando estas plantas equidistantes entre si em aproximadamente 10 cm, em arranjo triangular. Três dias após o desbaste foi iniciada a aplicação dos tratamentos (10 dias após a semeadura).

Em cada vaso foi instalada uma mangueira transparente de 4 mm de diâmetro conectada à sua base, para drenagem; e quando presa à face externa do vaso, servia para acompanhar a profundidade do lençol freático em seu interior. A extremidade da mangueira que ficava dentro do vaso foi envolvida com uma manta geotêxtil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução pelo material de solo.

Os recipientes foram preenchidos da base para cima com uma camada de 3 cm de brita + 10 kg de material de solo (devidamente destorroado). Foi realizada adubação de fundação com , incorporando-se adubos (adubação de fundação). Deixaram-se 5 cm livres na abertura do vaso, para facilitar a irrigação.

Como substrato foi utilizado material de solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo de

textura arenosa (EMBRAPA, 2006), coletado na camada de 0-30 m de profundidade, em área não cultivada, localizada no Campus da UFRSA. Uma subamostra foi retirada, seca ao ar, peneirada em malha de 2 mm, e submetida a análises físico-químicas (EMBRAPA, 1997), cujos resultados são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento.

pH	M.O. (%)	P* (mg kg ⁻¹)	K	Na	Ca	Mg	Al	H
					----- (cmol _c kg ⁻¹) -----			
5,3	1,05	20,20	0,14	0,14	0,40	0,20	0,15	3,05
	Densidade (kg m ⁻³)		Areia		Silte		Argila	
	1,53		820		40		140	

* Na determinação do teor de fósforo utilizado o extrator químico Mehlich 1.

Foi realizada adubação fundação colocando-se 500 g de esterco bovino curtido em cada vaso, além de solução mineral contendo nitrogênio, fósforo e potássio, nas concentrações de 100, 200 e 100 mg L⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2010).

As diferentes doses de fósforo (fosfato monoamônico), juntamente com o nitrogênio (fosfato monoamônico e uréia) e o potássio (cloreto de potássio), foram aplicadas após o acondicionamento do material de solo nos vasos, sendo os fertilizantes diluídos em água e aplicando-se em cada vaso o volume suficiente para elevar o teor de água do solo até a umidade próxima a máxima capacidade de retenção de água do solo.

As irrigações foram realizadas com frequência de uma por dia até os 15 dias após a semeadura (DAS), enquanto que do 16º DAS até a colheita foi adotada a frequência de duas aplicações por dia (uma pela manhã e outra à tarde), em virtude da maior necessidade hídrica das plantas. Em cada irrigação foi aplicado o volume de água suficiente para elevar a umidade do solo próximo da máxima capacidade de retenção de água no solo.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada em cada vaso por meio de um balanço de água no solo empregando-se a equação:

$$ET_c = I - P + D - H$$

(1)

em que: ET_c – Evapotranspiração de referência (mm); I – lâmina de irrigação no lisímetro (mm), P – precipitação pluvial no lisímetro (mm) e D – lâmina de percolação profunda (mm). No período em foi conduzido o experimento não houve precipitação, de forma que a água

que entrou no sistema foi proveniente exclusivamente da irrigação.

Os tratamentos de encharcamento foram iniciados aos 10 DAS, colocando-se a água com becker graduado, de forma a aplicar volume suficiente para aumentar o nível do lençol freático do solo, deixando-se uma lâmina de água cerca de 2 cm acima da superfície do solo na parte superior do vaso.

Em cada época de estresse de saturação (10, 17 e 24 DAS), o início do encharcamento foi às 6:00 h, e a partir daí, a cada 5 horas era liberada a mangueira de drenagem do respectivo tratamento.

De acordo com Marouelli et al. (2001) o ciclo do rabanete pode ser dividido em cinco fases: fase I - de 0 a 7 dias; fase II de 7 a 14 dias; fase III - de 14 a 21 dias; fase IV – de 21 a 28 dias; fase V - de 28 a 35 dias da semeadura. No entanto, optou-se por utilizar as três épocas descritas anteriormente (10, 17 e 24 DAS) em virtude das diferenças climáticas da região onde foi desenvolvido este trabalho, considerando ainda que na primeira fase (0 a 7 dias) as plantas apresentam reduzido desenvolvimento e que na quarta fase (28 a 35 dias) a cultura já está em final de ciclo (BREGONCI et al., 2008; PEDÓ et al., 2010).

A colheita foi realizada 30 dias após a semeadura, sendo que as plantas de cada unidade experimental foram colhidas separadamente e acondicionadas em sacolas plásticas previamente identificadas, e em seguidas transportadas para o Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Ciências Ambientais da UFRSA.

Para o número de folhas (NF) foi considerada apenas àquelas que apresentavam mais de 70% com coloração verde. Para determinação da área foliar (AF) foi utilizado o integrador de área foliar, modelo LI-3100 da Licor. O tubérculo de cada planta foi limpo logo após a colheita,

utilizando um pano. Em seguida os tubérculos foram separados da parte aérea e pesados em balança de precisão (0,01 g), determinando-se a massa fresca da raiz (MFR) e da parte aérea (MFPA). Para determinação da massa seca as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação de ar forçada, à temperatura de 70 °C ± 1 °C, até atingir peso constante, em seguida foram determinadas massa seca da raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA)

A partir dos valores de massa fresca das raízes nos diferentes tratamentos foram determinados coeficientes de susceptibilidade, calculado pela equação 1, descrita por Ferreira (2001):

$$C_s = \frac{Y_0 Y_i}{Y_0^2}$$

(1)

em que Y₀ - produção da cultura sem estresse; e Y_i = produção da cultura sob condições de estresse em cada tratamento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as variáveis que apresentaram resposta significativa foram comparadas entre si aplicando-se o teste Tukey (p < 0,05). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o Software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa dos fatores época e duração do encharcamento sobre o número de folhas, de tal forma que o efeito duração do estresse foi variável de acordo com a época de aplicação. Os menores valores sendo obtidos quando o estresse foi aplicado aos 10 dias após a semeadura (DAS), com 7,09 folhas por planta, enquanto o maior número de folhas foi obtido quando se aplicou o estresse aos 24 DAS, obtendo-se 8,08 folhas. Não houve resposta quanto à duração do estresse, sendo obtido valor médio de 7,58 folhas por planta. Fazendo-se o desdobramento do fatorial, verifica-se que, de forma geral, na aplicação do estresse aos 24 DAS não houve diferença significativa em relação à duração do estresse, demonstrando assim que a partir de cinco horas do encharcamento as plantas já alcançaram maior resposta ao estresse (Tabela 2).

Não houve interação significativa dos fatores épocas e duração do encharcamento do solo sobre a área foliar, de forma que os fatores foram avaliados isoladamente. Não ocorreu efeito da duração do estresse, sendo observada área foliar média de 842,84 cm² vaso⁻¹. Com relação às épocas de aplicação verificou-se os menores valores nas plantas submetidas ao estresse quando o mesmo ocorreu aos 10 DAS, com área foliar média de 724,0 cm² vaso⁻¹, enquanto que quando o estresse foi aplicado aos 24 DAS obteve-se os maiores valores, com área foliar média de 950,4 cm² vaso⁻¹. Considerando as diferenças percentuais entre as épocas de estresse, superioridade da época 24 DAS de 11,3 e 31,1% em relação as épocas 10 e 17 DAS (Tabela 2).

Tabela 2. Número de folhas, área foliar e diâmetro médio de raízes do rabanete submetido à saturação do solo em diferentes épocas e duração do estresse

Épocas (DAS)	Duração do encharcamento (horas)			Média
	5	10	15	
----- Número de folhas -----				
10	7,33 ABab	7,78 Aa	7,78 Bb	7,63
17	6,50 Bb	8,11 Aa	8,11 Aa	7,57
24	8,43 Aa	7,55 Aa	8,22 Aa	8,07
Média	7,42	7,81	7,50	
----- Área foliar (cm ² planta ⁻¹) -----				
10	762,0	803,7	606,3	724,0 b
17	751,3	823,0	988,0	854,1ab
24	992,0	956,3	903,0	950,4 a
Média	835,1 A	861,0 A	832,4 A	
----- Diâmetro de raiz (mm) -----				
10	41,61 Ab	39,53 ABb	36,21 Bb	39,12
17	47,02 Aa	45,88 ABa	41,48 Ba	44,79

24	42,57 ABab	39,91 Bb	45,37 Aa	42,62
Média	43,74	41,77	41,02	

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Houve interação significativa dos fatores épocas e duração do encharcamento do solo para o diâmetro da raiz, de tal forma que o efeito da saturação hídrica do solo foi variável em função da época de aplicação. Fazendo-se desdobramento do fator época de aplicação em cada duração do estresse, verifica-se que para a duração de 5 horas as plantas foram mais afetadas quando o estresse foi aplicado aos 10 DAS. Para duração de 10 horas as plantas apresentaram maior diâmetro de raízes com encharcamento do solo realizado aos 17 DAS, enquanto na duração de 15 horas os maiores valores ocorreram com aplicação do estresse de aos 17 e 24 DAS (Tabela 2).

Com relação a fator duração do estresse em cada época de aplicação foi observado que na aplicação aos 10 e 17 DAS os menores valores ocorreram nas plantas submetidas ao estresse por 15 horas, no entanto, na aplicação do encharcamento realizado aos 24 DAS os menores valores foram observados na duração do estresse de 10 horas (Tabela 2). As plantas que não foram submetidas ao encharcamento do solo apresentaram maiores valores de diâmetro de raiz, apresentando valores médios 50,0 mm, sendo assim superior em cerca de 19,9% em comparação com os valores médios obtidos nos tratamentos do fatorial.

Costa et al. (2008) trabalhando com a cultura da beterraba também observaram decréscimo no diâmetro médio das raízes resposta ao encharcamento do solo, no entanto, esses autores verificaram que o efeito foi mais severo quando o estresse foi aplicado nos estádios de desenvolvimento mais avançado da cultura, o que divergem, em parte, dos resultados ocorridos no presente trabalho. Tal diferença de comportamento pode ser atribuída às diferenças botânicas entre as espécies, visto que o rabanete apresenta, entre outras diferenças, menor ciclo em comparação com a cultura da beterraba.

De forma geral verifica-se que as plantas foram mais afetadas quando foram submetidas ao estresse aos 10 DAS, demonstrando assim que na fase inicial a cultura

apresentou maior sensibilidade à deficiência de oxigênio causada pela saturação do solo (Tabela 2). Segundo Reid e Bradford (1984), em plantas em condições de estresse anoxítico ocorre diminuição da síntese e da translocação de fitorreguladores de crescimento, como giberelinas e citocininas, do sistema radicular para a parte aérea, alterando os mecanismos naturais de emissão e de manutenção de folhas.

Para massa fresca de raízes também houve interação dos fatores épocas e duração do encharcamento, de tal forma que foi realizado o desdobramento dos fatores para avaliar o efeito da época do estresse em cada tempo de duração, bem como da duração do estresse em cada época de aplicação do estresse. Avaliando o efeito da duração do estresse em cada época de encharcamento do solo verifica-se que se aplicando o estresse aos 10 e 17 DAS o efeito depressivo do estresse aumentou de acordo com o aumento da duração do estresse, com menores valores nas plantas submetidas ao encharcamento solo por um período de 15 horas, com redução em cerca de 26,9 e 11,9% em comparação à aplicação do estresse aos 10 DAS e com a duração do estresse por 5 e 10 horas, respectivamente; e redução de 23,4 e 30,8% em comparação com aplicação do estresse aplicado dos 17 DAS e duração de 5 e 10 horas, respectivamente (Tabela 3).

Avaliando-se o efeito da duração do estresse em cada época de aplicação, verifica-se que não houve resposta significativa entre as épocas com duração do estresse por 5 horas. Para duração de 10 horas os menores valores foram observados com aplicação do estresse aos 10 dias, apresentando diferenças de 22,3% em comparação com a média obtidas com saturação do solo aos 17 e 24 DAS, que não diferiram entre si. Já para a duração do estresse por 15 horas os maiores valores foram obtidos quando a encharcamento do solo ocorreu aos 24 DAS, superior em 47,2% em comparação aos valores médios entre as épocas de 10 e 24 DAS (Tabela 3).

Tabela 3. Massa fresca e seca de raiz e da parte aérea do rabanete submetido à saturação do solo em diferentes épocas e duração do estresse

Épocas (DAS)	Duração do encharcamento (horas)			Média
	5	10	15	
----- Massa fresca de raiz (g planta ⁻¹) -----				

10	37,99 Aa	31,51 ABb	27,74 Bb	32,42
17	35,88 Aa	39,69 Aa	27,47 Bb	34,35
24	40,54 Aa	41,46 Aa	40,63 Aa	40,87
Média	38,14	37,55	31,94	
----- Massa fresca da parte aérea (g planta ⁻¹) -----				
10	11,67	11,85	11,16	11,56 b
17	13,07	14,61	14,77	14,15 a
24	14,57	14,88	13,19	14,21 a
Média	13,10 A	13,78 A	13,04 A	
----- Massa seca da raiz (g planta ⁻¹) -----				
10	1,39 Bb	1,85 ABb	2,09 Ab	1,78
17	1,68 Bb	1,87 Bb	2,78 Aa	2,11
24	2,64 Aa	2,81 Aa	1,89 Bb	2,45
Média	1,90	2,18	2,25	
----- Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹) -----				
10	2,73 Bb	3,64 Ab	3,19 ABb	3,19
17	3,94 Aa	4,04 Aab	4,18 Aa	4,05
24	4,27 Aa	4,35 Aa	3,99 Aa	4,20
Média	3,65	4,01	3,79	

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De forma geral observa-se que o efeito do encharcamento do solo foi mais prejudicial ao desenvolvimento das raízes quando aplicado no primeiro estágio de desenvolvimento da cultura, principalmente quando as plantas ficaram sob estresse por mais tempo (15 horas). Costa et al. (2008) verificaram redução significativa na produção de raízes de beterraba decresceu com aumento do tempo em as plantas ficaram sob estresse, semelhante os resultados obtidos no presente trabalho. Esses autores observaram maiores reduções na produtividade das plantas submetidas ao encharcamento ocorrido na terceira fase.

Mingoti et al. (2006) trabalhando com a cultura da alface, e Vildoso (1995) com a cultura da cenoura, observaram respostas concordantes com as obtidas neste trabalho, demonstrando a maior sensibilidade das dessas hortaliças nas fases iniciais de desenvolvimento.

Para massa fresca da parte aérea houve efeito significativo apenas para as épocas de encharcamento do solo, com menores valores quando o encharcamento ocorreu aos 10 DAS, com valor inferior em aproximadamente 18,5% em comparação com os valores médios obtidos nas plantas que foram submetidas ao estresse aos 17 e 24 DAS (14,2 g planta⁻¹). Para o fator duração do estresse não houve resposta significativa, sendo obtida massa fresca da parte aérea em média de 13,4 g planta⁻¹ (Tabela 3).

A massa seca das raízes foi afetada pelo encharcamento do solo, apresentando de forma geral os menores valores quando a saturação hídrica do solo ocorreu aos 10 DAS, com 1,78 e 3,19 g planta⁻¹, para MSR e MSPA, respectivamente. Foi realizado o desdobramento dos fatores épocas e duração do encharcamento sobre essas variáveis.

Avaliando o efeito do fator duração do estresse em cada época de avaliação sobre a MSR, foi observado que quando o solo foi inundado aos 10 e 17 DAS, as plantas foram mais afetadas quando o solo ficou inundado por 5 horas, apresentando resposta positiva com o aumento do tempo de encharcamento. Tal comportamento pode ser atribuído a provável adaptação das plantas. Quando a inundação foi realizada aos 24 DAS foi observada resposta inversa, com maiores valores obtidos nas plantas que ficaram inundadas por 5 e 10 horas, que não diferiram entre si estatisticamente. Avaliando-se o efeito das épocas de encharcamento em cada tempo, verificou-se que para os tempos 5 e 10 horas os maiores valores ocorreram quando o encharcamento foi realizado aos 24 DAS, enquanto na duração de 15 horas os maiores valores foram obtidos quando o encharcamento foi realizado aos 17 DAS (Tabela 3).

Para massa seca da parte aérea também foram observados os menores valores nas plantas que ficaram sob encharcamento no início do ciclo. Realizando-se o desdobramento dos fatores verifica-se que para os três

tempos de encharcamento as plantas foram mais afetadas quando a inundação do solo ocorreu aos 10 DAS. Já para o efeito da duração do estresse em cada época de aplicação, houve resposta significativa apenas quando o solo foi inundado aos 10 DAS, e os menores valores foram obtidos quando as plantas ficaram sob encharcamento por 5 horas (Tabela 3).

Comparando os valores médios obtidos pelos tratamentos resultantes do fatorial com o tratamento testemunha, foram observados efeitos variados para cada variável estudada. Para o número de folhas verificou-se redução significativa em cerca de 31,9% em virtude do encharcamento do solo (Tabela 3). Nobre et al. (2009) trabalhando com a cultura da alface também observaram redução significativa na emissão foliar em resposta ao encharcamento do solo.

Esses resultados evidenciam que o efeito da encharcamento foi reduzido na medida em que se retardou

a aplicação do estresse. Houve redução significativa da área foliar em resposta ao estresse, com maior desenvolvimento foliar obtido no tratamento testemunha, sendo este superior em 48,5% em comparação aos valores médios obtidos pelos tratamentos do fatorial.

Sá (2005) trabalhando com a cultura do trigo observou redução significativa (20%) da área foliar de trigo, submetido ao encharcamento do solo em relação ao tratamento controle; conforme o autor, foram ainda, observados reduções da área foliar de 15 e 30%, em experimentos realizados com soja e lentilha, respectivamente, quando da exposição das plantas ao encharcamento. Estudos realizados com outras espécies demonstram que a área foliar é uma das variáveis mais afetadas pela deficiência de oxigênio na zona radicular (SEVERINO et al., 2005; FERREIRA et al., 2008)

Tabela 4. Número de folhas, área foliar, diâmetro médio de raízes, massa fresca de raiz e massa fresca da parte aérea do rabanete em função do encharcamento do solo

Variáveis analisadas	----- Tratamentos -----	
	Testemunha ¹	Fatorial
Número de folhas (unid)	7,6 b*	10,0 a
Área Foliar (cm ² planta ⁻¹)	842,9 b	1252,0 a
Diâmetro de raiz (mm)	41,7 b	50,0 a
Massa fresca de raiz (g planta ⁻¹)	35,9 b	39,4 a
Massa fresca da parte aérea (g planta ⁻¹)	13,3 a	13,4 a
Massa seca de raiz (g planta ⁻¹)	2,11 b	2,72 a
Massa seca da parte aérea (g planta ⁻¹)	3,81 b	4,27 a

* Médias da testemunha significativamente diferente da média dos tratamentos provenientes do fatorial pelo teste t de Student, ao nível de 5% de probabilidade. ¹ Ausência de encharcamento do solo.

Para massa fresca de raízes, verificou-se raízes mais pesados nas plantas que não foram submetidas ao estresse (50,1 g planta⁻¹), sendo superior em 39,4% em comparação com as plantas estressadas (Tabela 3). Com relação a massa fresca da parte aérea não houve diferença entre os valores médios obtidos nos tratamentos do fatorial e do tratamento testemunha, demonstrando assim que esta variável apresenta pouca sensibilidade ao encharcamento do solo, fato este também constatado por Costa et al. (2008) na cultura da beterraba, na qual não foi observado efeito sobre o desenvolvimento da parte aérea.

Houve resposta significativa para massa seca de raiz e da parte aérea em consequência do encharcamento do solo, verificando-se os maiores valores nas plantas do tratamento testemunha, foram conduzidas sem encharcamento do solo, apresentando valores superiores em aproximadamente 28,8 e 11,9% para massa seca de raiz e da parte aérea, respectivamente (Tabela 3).

Bregonci et al. (2008) trabalhando com estresse hídrico (déficit) em diferentes fases do ciclo do rabanete verificaram reduções significativas no diâmetro do bulbo e na massa fresca em resposta ao estresse hídrico, principalmente quando aplicado na segunda fase (7 a 14 dias), equivalente a primeira época utilizada neste trabalho.

Os valores dos coeficientes de sensibilidade da cultura (CS) traduzem, numericamente, o efeito dos períodos de aplicação do encharcamento apresentados. Os valores de CS são maiores nos períodos mais críticos (10 DAS) e na maior duração desse estresse. O coeficiente CS médio para o primeiro estágio foi de 0,35 e apresentou variações de 0,24 a 0,45. No segundo estágio, CS variou de 0,21 a 0,45 sendo, neste estágio, CS médio igual a 0,32. No terceiro estágio, CS oscilou de 0,17 a 0,19 sendo, neste estágio, CS médio igual a 0,18 (Figura 1).

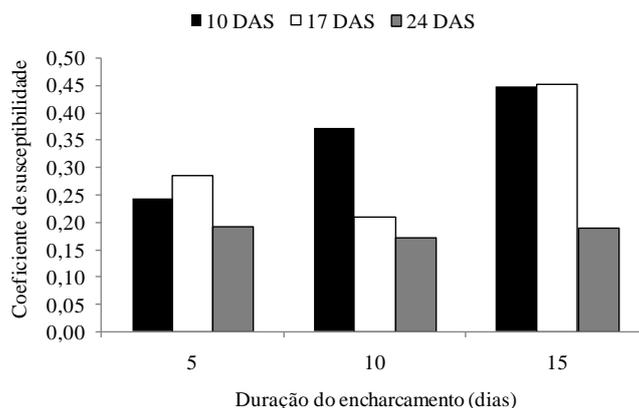


Figura 1. Coeficiente de susceptibilidade da cultura do rabanete em função de diferentes épocas e duração de encharcamento do solo

Tais resultados revelam que a quebra de produção devido aos encharcamentos proporcionados nos 1º, 2º e 3º períodos, foi de 35, 32 e 18%, respectivamente, demonstrando assim que o rabanete apresenta maior sensibilidade ao estresse por saturação hídrica do solo aplicado nas primeiras fases de desenvolvimento e nos maiores tempos de inundação do solo.

CONCLUSÕES

A cultura do rabanete apresentou sensibilidade ao estresse hídrico por encharcamento do solo, e o sistema radicular do rabanete é mais sensível que a parte aérea.

A maior sensibilidade do rabanete ao à saturação hídrica do solo ocorreu aos 10 dias após a semeadura e por período de 15 horas.

LITERATURA CITADA

BREGONCI, I. S.; ALMEIDA, G. D.; BRUM, V. J.; ZINI JÚNIOR, A.; REIS, E F. Desenvolvimento do sistema radicular do rabanete em condição de estresse hídrico. *Idesia*, v.26, n.1, p.33-38, 2008.

CAMARGO, G. A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I. C. S.; MIELI, J.; SASSAKI, E. K. Bebidas naturais de frutas perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v.1, p.181-195, 2007.

COSTA, R. N. T.; VASCONCELOS, J. P.; SILVA, L. A.; NESS, R. L. L. Interferência do excesso de água no solo e componentes de produção em beterraba. *Horticultura Brasileira*, v.26, n.1, p.74-77, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FERREIRA, D. F. **SISVAR** 4.3 - sistema de análises estatísticas. Lavras: UFLA, 2000.

FERREIRA, J. L.; MAGALHÃES, P. C.; BORÉM, A. Avaliação de três características fisiológicas em 4 ciclos de seleção no cultivar de milho BRS-4154 sob solo encharcado. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, n.6, p.1719-1723, 2008.

FERREIRA, P. A. **Drenagem em terras agrícolas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 415 p.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; FIGUEIREDO, W. S. C.; SANTOS, D. B. Fator de susceptibilidade e produtividade da ervilha para diferentes alturas de lençol freático. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.5, n.2, p.265-271, 2010.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. Brasília: Embrapa/CNPH, 2001. 111 p.

MINGOTI, R.; FLECHA, P. A. N.; DUARTE, S. N.; CRUCIANI, D. E. Efeito de velocidades de rebaixamento do nível freático em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura da alface. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 1, p.10-16, 2006.

- MUKHTAR, S. BAKER, J. L.; KANWAR, R. S. Corn growth as effected by excessive soil water. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 33, p. 437-442. 1990.
- NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; SILVA, L. A. Crescimento da alface sob saturação temporal do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.890-898, 2009.
- OLIVEIRA, F. R. A.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; SOUSA, V. F. L.; FREIRE, A. G. Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 519-526, 2010.
- PEDÓ, T.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; AUMONDE, T. Z.; SACCARO, E. L. Crescimento de três cultivares de rabanete (*Raphanus sativus*) ao longo da ontogenia das plantas. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.4, n.3, p.17-21, 2010.
- PULITI, J. P. M.; REIS, H. B.; PAULINO, H. D. M.; RIBEIRO, T. C. M.; TEIXEIRA, M. Z.; CHAVES, A. S.; RIBEIRO, B. R.; MACIEIRA, G. A. A.; YURI, J. E. Comportamento da cultura do rabanete em função de fontes e doses de cálcio. **Horticultura Brasileira**, v.27, p.3003-3008, 2009.
- REID, D. M.; BRADFORD, K. J. Effects of flooding on hormone relations. In: KOZLOWSKI, T. T. (ed.) **Flooding and plant growth**. London: Academic Press, 1984, p.195-219.
- ROSSI, C. E.; MONTALDI, P. T. Nematóides de galha em rabanete: susceptibilidade de cultivares e patogenicidade. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.1, p.72-75, 2004.
- SÁ, J. S.; CRUCIANI, D. E.; DUARTE, S. N.; PEREIRA, J. R. B. Sensibilidade de plantas de soja ao rebaixamento do nível freático. **Irriga**, v.10, n.2, p.135-145, 2005.
- SÁ, J. S.; CRUCIANI, D. E.; MINAMI, K. Efeitos de inundações temporárias do solo em plantas de ervilha. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.1, p.50-54, 2004.
- SCHOFFEL, E. R.; SACCOL, A. V.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.31, p. 7-12, 2001.
- SEVERINO, L. S.; LIMA, C. L. D.; BELTRÃO, N. E. M.; CARDOSO, G. D.; FARIAS, V. A. **Comportamento da mamoneira sob encharcamento do solo**. Campina Grande, 2005. 14 p. (Embrapa Algodão. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57).
- SOUZA, G. J.; BELTRÃO, N. E. M.; SANTOS, J. W. Fisiologia e produtividade do algodoeiro em solo encharcado na fase de plântula. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.3, p.425-430, 2001.
- VILDOSO, T. A. **Relação entre a produção relativa e o índice diário de stress para a cultura da cenoura (*Daucus carota* L.)**. 1995. 43 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa

Recebido em 22 02 2012

Aceito em 20 03 2012