

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE
PLANTAS DE GIRASSOL SOB EXCESSO HÍDRICO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Luis Henrique Loose

Santa Maria, RS, Brasil

2013

EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE GIRASSOL SOB EXCESSO HÍDRICO

Luis Henrique Loose

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

Loose, Luis Henrique
EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE
GIRASSOL SOB EXCESSO HÍDRICO / Luis Henrique Loose.-2013.
99 p.; 30cm

Orientador: Arno Bernardo Heldwein
Coorientadores: Nereu Augusto Streck, Evandro Zanini
Righi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2013

1. Helianthus annuus 2. Estresse hídrico 3. Emergência
de plantas 4. Redução do crescimento I. Heldwein, Arno
Bernardo II. Streck, Nereu Augusto III. Righi, Evandro
Zanini IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Luis Henrique Loose. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação.

Endereço: Rua Dezessete de maio, 720, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, CEP: 97105-070

Endereço eletrônico: luishloose@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado**

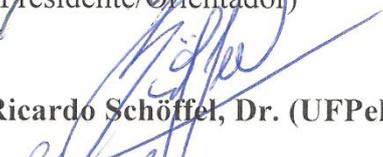
**EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE
GIRASSOL SOB EXCESSO HÍDRICO**

elaborada por
Luis Henrique Loose

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:


Arno Bernardo Heldwein, Dr.
(Presidente/Orientador)


Edgar Ricardo Schöffel, Dr. (UFPel)


Luciano Streck, Dr. (IFC-Sombrio)

Santa Maria, 25 de fevereiro de 2013.

“Para tudo há uma ocasião, e um tempo para cada propósito debaixo do céu:
tempo de nascer e tempo de morrer, tempo de plantar e tempo colher,
tempo de matar e tempo de curar, tempo de derrubar e tempo de construir,
tempo de chorar e tempo de rir, tempo de prantear e tempo de dançar,
tempo de espalhar e tempo de juntar, tempo de abraçar e tempo de se conter,
tempo de procurar e tempo de desistir, tempo de guardar e tempo de lançar fora,
tempo de rasgar e tempo de costurar, tempo de calar e tempo de falar,
tempo de amar e tempo de odiar, tempo de lutar e tempo de viver em paz.”

Eclesiastes 3:1-8.

A Deus, a minha esposa Marta, aos meus
pais Sídio e Haidi, aos meus
irmãos Laís e Léo

Dedico...

AGRADECIMENTOS

Ao autor da vida, Jesus Cristo, a rocha firme sobre a qual coloco toda minha vida, que ao estar no comando de tudo proporcionou a mim grandes oportunidades. A Ele toda minha gratidão.

À minha esposa que tanto amo, Marta, com quem divido todos os momentos, sejam eles de alegria ou tristeza, de dificuldade ou tranquilidade. Pelo carinho e amor.

Aos meus pais Sídio e Haidi, que sempre sonharam e batalharam por um futuro melhor, e aos meus irmãos Laís e Léo. Pelo amor, confiança, incentivo e apoio em todos os momentos.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de aprendizado e crescimento durante o curso de mestrado.

À CAPES, pela concessão de bolsa de estudos, que possibilitou a inteira dedicação para a realização deste trabalho.

Ao professor Arno Bernardo Heldwein, pela orientação, disposição, confiança, amizade e contribuição para o crescimento pessoal e intelectual durante a realização deste trabalho.

Aos professores Evandro Zanini Righi e Nereu Augusto Streck, pela co-orientação, amizade e colaboração nas diferentes etapas do mestrado.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Fitotecnia, que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

Aos colegas de pós-graduação, pela amizade e convivência.

Aos colegas da Agrometeorologia da UFSM, Dionéia Daiane Pitol Lucas, Fernando Dill Hinnah, Roberto Trentin, Mateus Possebon Bortoluzzi, Joner Silveira Dalcin, Tarlen Schach, Jocélia Rosa, Tiago Ferreira, Andréia Schuster, Ricardo Tolfo Ereno, Vitor Hugo Piovesan, Paulo Stuker e Leidiana Faccin, pela amizade, convivência e auxílio na realização dos experimentos e demais etapas.

Aos amigos Ivan Carlos Maldaner, Ricardo Luiz Maldaner, Sidinei Zwick Radons, Matheus Zwick Radons, Marcos Toebe e Evandro Meyer, pela amizade e convivência.

Aos familiares e demais pessoas não mencionadas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

EMERGÊNCIA E CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE GIRASSOL SOB EXCESSO HÍDRICO

AUTOR: LUIS HENRIQUE LOOSE

ORIENTADOR: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 25 de fevereiro de 2013.

O cultivo de girassol tem grande potencial de sucesso em diferentes regiões edafoclimáticas. Entretanto, a ocorrência de estresses, dentre eles o excesso hídrico do solo, é prejudicial ao desenvolvimento e produção da cultura. O objetivo deste trabalho foi determinar os estágios iniciais de desenvolvimento em que a ocorrência de excesso hídrico e sua duração mais afetam negativamente a emergência e o crescimento inicial de plantas de girassol. Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM, durante o segundo semestre de 2011. Foram realizados três experimentos em casa de vegetação e um experimento a campo. Na casa de vegetação os experimentos foram conduzidos em vasos, com tratamentos constando da aplicação de excesso hídrico em diferentes estágios iniciais de desenvolvimento (data da semeadura, três dias após a semeadura, data da emergência, estágio V2 e estágio V4) combinados com diferentes durações (0, 48, 96, 144, 192 e 240 horas), sendo bifatorial no delineamento inteiramente casualizado. Foram determinadas as variáveis: porcentagem e velocidade de emergência após a emergência estabilizar; massa seca de parte aérea e raízes, área foliar, altura de plantas, número de folhas, comprimento máximo de raízes e da raiz principal, além de alguns índices de crescimento, determinadas ao final da aplicação do último tratamento de excesso hídrico. O experimento a campo, conduzido no delineamento inteiramente casualizado, constando de semeaduras semanais realizadas entre 28/07/2011 e 27/11/2011, para as quais ocorreram diferentes condições de excesso hídrico, temperatura do solo e umidade do solo. A temperatura do solo foi monitorada por sensores Pt-100, enquanto o excesso e a umidade do solo foram determinadas pelo balanço hídrico sequencial, sendo correlacionadas com a porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência e número de dias do subperíodo semeadura-emergência. Verificou-se que o excesso hídrico é mais prejudicial para o girassol no subperíodo semeadura-emergência, pois afeta negativamente a emergência e consequentemente, a população de plantas, reduzindo significativamente o crescimento de parte aérea e raiz, mesmo sob apenas 48 horas de excesso. Aplicado após a emergência, o excesso hídrico causa redução significativa do crescimento da parte aérea, enquanto no solo são formadas raízes secundárias e adventícias. Tanto o excesso quanto o déficit hídrico é prejudicial à emergência no campo, sendo que a umidade entre 80 e 85% da capacidade de armazenamento do solo, e a temperatura do solo de 21,5 °C são as condições mais adequadas.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L. Estresse hídrico. Emergência de plantas. Redução do crescimento.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

EMERGENCY AND INITIAL GROWTH OF SUNFLOWER PLANTS UNDER WATER EXCESS

AUTHOR: LUIS HENRIQUE LOOSE
ADVISER: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Location and Date of defense: Santa Maria, February 25th, 2013.

The sunflower cultivation has great potential for success in different edaphoclimatic regions. However, the stress occurrence, including the water excess on soil is detrimental to the crop development and production. The aim of this study was to determine the initial development stages wherein water excess and its duration affect longer negatively the emergence and early growth of sunflower plants. The experiments were carried out in the experimental area of Departamento de Fitotecnia of UFSM, during the second half of 2011. Three experiments were carried out under greenhouse and a field experiment. The experiments under greenhouse were carried out in pots, with treatments based on the application of water excess at different stages of development (at sowing date, three days after sowing, emergency date, V2 and V4 stage) combined with different durations (0, 48, 96, 144, 192 and 240 hours), in a completely randomized design, bifactorial. We determined the following variables: percentage and speed of emergency after emergency stabilization; dry mass of shoots and roots, leaf area, plant height, leaf number, maximum length of roots and main length root, and some growth index, determined after the end of application the last treatment of water excess. The field experiment was carried out in a completely randomized design, consisting of weekly sowing made between 28/07/2011 and 27/11/2011, which occurred in different conditions of excess water, soil temperature and soil moisture. Soil temperature was monitored by Pt-100 sensors, while excess water and soil moisture were determined by sequential water balance, which were correlated with the percentage of emergence, speed emergence and number of days of the phase sowing-emergency. It was found that the water excess is more detrimental for sunflower in phase sowing-emergence, because it affects negatively the emergence and consequently the plants density, reducing the growth of shoots and roots significantly, even after just 48 hours under water excess. Applied after emergence, the water excess causes significant reduction of shoot growth, while in the soil occurs development of adventitious and secondary roots. Both water excess as water deficit is detrimental to the field emergency, because soil moisture between 80 and 85% of the soil storage capacity and soil temperature of 21.5 °C are the best conditions to sunflower emergence.

Key words: *Helianthus annuus* L. Water stress. Plant emergence. Growth reduction.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Aplicação de excesso hídrico iniciado na data da sementeira (A), na data correspondente a 50% da emergência (B), no estágio V2 (C) e no estágio V4 (D), na cultura do girassol conduzida em casa de vegetação. Santa Maria, RS, 2013.....29
- Figura 2 – Temperatura do ar média diária no ambiente externo e temperatura do solo média diária no interior da casa de vegetação medidas durante os três experimentos (1, 2 e 3) de excesso hídrico na emergência e crescimento inicial do girassol. Santa Maria, RS, 2013.....39
- Figura 3 – Porcentagem de emergência (PE) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a sementeira (T1) e 3 dias após a sementeira (T2). Santa Maria, RS, 2013.....42
- Figura 4 – Porcentagem média de emergência de plantas de girassol submetidas a excesso hídrico na data da sementeira (T1) e três dias após a sementeira (T2) em função da temperatura média do ar durante três experimentos conduzidos em casa de vegetação de setembro a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.....44
- Figura 5 – Índice de velocidade de emergência (IVE) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a sementeira (T1) e 3 dias após a sementeira (T2). Santa Maria, RS, 2013.....47
- Figura 6 – Área foliar (AF) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a sementeira (T1), 3 dias após a sementeira (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....51
- Figura 7 – Murchamento foliar (A), dano foto-oxidativo nas folhas (B), parte aérea e raiz de planta (C) sem (C, esquerda) e com estresse (C, direita), e crescimento de raízes secundárias e adventícias na superfície do solo (D) como respostas do girassol ao excesso hídrico em vaso em casa de vegetação. Santa Maria, RS, 2013.....52
- Figura 8 – Número de folhas (NF) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a sementeira (T1), 3 dias após a sementeira (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....55
- Figura 9 – Altura de plantas (AP) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a sementeira (T1), 3 dias após a sementeira (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....58
- Figura 10 – Comprimento máximo de raiz (CMR) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a sementeira (T1), 3 dias após a sementeira (T2), na emergência (T3), no estágio

V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....	61
Figura 11 – Comprimento da raiz principal (CRP) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....	63
Figura 12 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....	68
Figura 13 – Massa seca de raiz (MSR) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....	70
Figura 14 – Massa seca total (MST) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....	73
Figura 15 – Relação da massa seca da parte aérea/raiz (PA/R) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1; Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....	77
Figura 16 – Área foliar específica (AFE) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....	80
Figura 17 – Razão de peso foliar (RPF) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.....	82
Figura 18 – Temperatura média do ar (T_{ar}) e do solo (T_{solo}) (A); variação da fração média da capacidade de água disponível no solo (FCAD) e da precipitação pluvial (Chuva) (B); em cultivos de girassol a campo em diferentes datas de semeadura (1-15). Santa Maria, RS, 2013.....	84
Figura 19 – Regressão entre as variáveis independentes: temperatura média do solo (A, D e G), fração média da capacidade de água disponível no solo (FCAD) (B, E e H), tempo de excesso hídrico em horas (C, F e I); e as variáveis dependentes: porcentagem de emergência (PE) (A, B e C), índice de velocidade de emergência (IVE) (D, E e F), número de dias para o subperíodo S-E (DPE) (G, H, I); do girassol semeado a campo em diferentes datas de semeadura (1-15). *NS = regressão não significativa ($p < 0,05$). Santa Maria, RS, 2013.....	88

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Temperatura média, temperatura máxima absoluta e temperatura mínima absoluta do ar (T_{ar}) e do solo (T_{solo}) e média do fluxo de radiação solar global incidente (R_g) durante três experimentos de excesso hídrico no girassol conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.....38
- Tabela 2 – Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: porcentagem de emergência (PE) e índice de velocidade de emergência (IVE) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.....40
- Tabela 3 – Médias da porcentagem de emergência de plantas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....41
- Tabela 4 – Médias do índice de velocidade de emergência de plantas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....46
- Tabela 5 – Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: área foliar (AF), número de folhas (NF) e altura de planta (AP) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.....48
- Tabela 6 – Médias da área foliar de plantas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....49
- Tabela 7 – Médias do número de folhas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....54
- Tabela 8 – Médias da altura de plantas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....57
- Tabela 9 – Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: comprimento máximo de raízes (CMR) e comprimento da raiz principal (CRP) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.....60
- Tabela 10 – Médias do comprimento máximo de raiz de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios

- iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....60
- Tabela 11 – Médias do comprimento máximo de raiz de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....62
- Tabela 12 – Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.....65
- Tabela 13 – Médias da massa seca de parte aérea do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....66
- Tabela 14 – Médias da massa seca de raiz do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....69
- Tabela 15 – Médias da massa seca total do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....72
- Tabela 16 – Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: relação parte aérea-raiz (PA/R), área foliar específica (AFE) e razão de peso foliar (RPF) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.....75
- Tabela 17 – Médias da relação da massa seca da parte aérea/raiz do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....76
- Tabela 18 – Médias da área foliar específica do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....79
- Tabela 19 – Médias da razão de peso foliar do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.....81
- Tabela 20 – Temperatura média do ar (T_{ar}), temperatura média do solo (T_{solo}) e desvio padrão, fração média da capacidade de água disponível no solo (FCAD) e desvio padrão,

precipitação pluvial (PP), tempo de excesso hídrico (Exc), número de dias da
semeadura a emergência (DPE), resultado da análise de variância e comparação
de médias para a porcentagem de emergência (PE) e para o índice de velocidade
de emergência (IVE) do girassol semeado a campo em diferentes datas de
semeadura. Santa Maria, RS, 2013.....86

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – Graus Celsius
ha – Hectare
RS – Rio Grande do Sul
CAD – Capacidade de armazenamento de água disponível do solo
FCAD – Fração da água no solo em relação a CAD
N₂ – Gás nitrogênio
CO₂ – Gás carbônico
O₂ – Gás oxigênio
CH₄ – Gás metano
H₂S – Sulfeto de hidrogênio
C₂H₄ – Gás etileno
H₂ – Gás hidrogênio
N₂O – Óxido nitroso
ATP – Adenosina trifosfato
ABA – Ácido abcíssico
Cfa – Clima subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes
UE – Unidade experimental (parcela)
UCC – Umidade do solo na capacidade de campo (cm² cm⁻²)
CC – Capacidade de campo
TEST – Testemunha (sem excesso hídrico)
T1 – Tratamento 1 (início do excesso hídrico logo após a semeadura)
T2 – Tratamento 2 (início do excesso hídrico 3 dias após a semeadura)
T3 – Tratamento 3 (início do excesso hídrico no dia da emergência)
T4 – Tratamento 4 (início do excesso hídrico no estágio V2 do girassol)
T5 – Tratamento 5 (início do excesso hídrico no estágio V4 do girassol)
PE – Porcentagem de emergência (%)
IVE – Índice de velocidade de emergência
N1 – Número de plantas emergidas na primeira contagem
Nn – Número de plantas emergidas na última contagem
D1 – Número de dias após a semeadura para a primeira contagem
Dn – Número de dias após a semeadura para a última contagem
CMR – Comprimento máximo de raiz (cm)
CRP – Comprimento da raiz principal (cm)
AF – Área foliar (dm² m⁻² de superfície)
AP – Altura de plantas (cm)
NF – Número de folhas
MSPA – Massa seca de parte aérea (g m⁻²)
MSR – Massa seca de raízes (g m⁻²)
MST – Massa seca total (g m⁻²)
AFE – Área foliar específica (dm² g⁻¹)
RPF – Razão de peso foliar (g g⁻¹)
PA/R – Relação parte aérea/raiz (g g⁻¹)
DAS – Dias após a semeadura
DPE – Número de dias para a emergência
Neg.Ac – Negativo acumulado do balanço hídrico sequencial
ET_o – Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹)
ET_m – Evapotranspiração máxima (mm dia⁻¹)

ETc – Evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹)
Kc – Coeficiente de cultura
Rg – Densidade de fluxo da radiação global incidente (MJ m⁻² dia⁻¹)
Q* – Saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹)
G – Densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹), 5% do Q*
S – Tangente à curva de saturação (kPa °C⁻¹)
γ – Constante psicrométrica (0,066 kPa.°C⁻¹)
T – Temperatura média diária do ar (°C)
e – Pressão parcial de vapor (kPa)
es – Pressão de saturação de vapor (kPa)
N – Comprimento do dia (h dia⁻¹)
n – Insolação diária (h dia⁻¹)
V2 – Estágio vegetativo de duas folhas desenvolvidas
V4 – Estágio vegetativo de quatro folhas desenvolvidas
R1 – Botão floral visível no girassol
S-E – Subperíodo semeadura – emergência
Alf – Área do limbo foliar
T_{ar} – Temperatura do ar (°C)
T_{solo} – Temperatura do solo (°C)
u₂ – Velocidade do vento medido 2 m acima do solo (m s⁻¹)
ε – Emissividade do gramado (0,95)
σ – Constante de Stefan-Boltzmann (4,9*10⁻⁹ MJ m⁻² dia⁻¹°K⁻⁴)
PP – Precipitação pluviométrica ou chuva (mm)
Exc – Tempo de excesso hídrico (h)
NS – não significativo pelo teste estatístico aplicado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 O girassol no contexto da produção agrícola	17
2.2 O excesso hídrico	19
2.3 Excesso hídrico no solo e seu efeito sobre as culturas agrícolas.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Localização, condições edafoclimáticas e meteorológicas.....	27
3.2 Experimentos em casa de vegetação	28
3.2.1 Descrição de ambiente e tratamentos	28
3.2.2 Instalação e condução.....	30
3.2.3 Avaliações das respostas das plantas aos tratamentos.....	32
3.2.4 Análise estatística	33
3.3 Experimento a campo.....	34
3.3.1 Instalação, condução e determinação do balanço hídrico	34
3.3.2 Determinações avaliativas e análise	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Resultados dos experimentos em casa de vegetação.....	38
4.1.1 Variação da temperatura do ar e do solo	38
4.1.2 Porcentagem e velocidade de emergência do girassol sob excesso hídrico	40
4.1.3 Crescimento da parte aérea do girassol sob excesso hídrico	47
4.1.4 Crescimento de raízes do girassol sob excesso hídrico	59
4.1.5 Acúmulo de biomassa seca do girassol sob excesso hídrico	64
4.1.6 Análise dos índices de crescimento do girassol sob excesso hídrico	74
4.2 Resultados do experimento a campo.....	83
4.2.1 Condições meteorológicas e comparação de médias entre datas de semeadura.....	83
4.2.2 Resultados da análise de regressão	86
5 CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas agrícolas, o uso correto e a manutenção dos recursos naturais de solo e água, bem como o adequado manejo da cultura são fundamentais para garantir a sustentabilidade. Uma prática de manejo difundida entre técnicos e agricultores é a rotação de culturas, que melhora as condições químicas e físicas do solo, além de facilitar o manejo de doenças, plantas daninhas e pragas nas culturas. Entretanto, a sucessão entre culturas agrícolas de poucas famílias botânicas pode minimizar o benefício dessa prática.

Nesse contexto, a introdução do girassol no sistema de rotação de culturas produtivas é uma alternativa viável e promissora. Essa cultura possui algumas características agronômicas desejáveis, que permitem cultivá-la com retorno econômico em diferentes épocas e regiões do Brasil. Além disso, seu uso na rotação de culturas implica na quebra do ciclo de vida de patógenos, pragas e plantas concorrentes, melhora a reciclagem de nutrientes e possibilita a alternância de uso de agroquímicos, facilitando o manejo da própria cultura e da cultura subsequente.

Os aquênios do girassol apresentam alto teor de óleo, representando uma ótima matéria prima para extração de óleo vegetal. A maior parte da safra de girassol é destinada à produção de óleo comestível, o qual apresenta alta qualidade nutricional. A cultura é também apontada como de grande potencial para a fabricação de biodiesel, por apresentar óleo de composição e características físicas desejáveis, sendo que a criação do sindicato do biodiesel no RS e a autorização para 11 usinas brasileiras exportarem biodiesel são fatos que devem aquecer o mercado e alavancar a produção do girassol (PORTAL, 2011).

Apesar de possuir clima e áreas favoráveis ao cultivo do girassol, o Brasil é um importador de grãos, farelo e óleo dessa oleaginosa, provenientes principalmente da Argentina. Isso ocorre em razão da área cultivada com girassol e da produtividade média serem baixas em comparação ao país vizinho. A ocorrência de estresses por eventos extremos é fator limitante à produção do girassol, principalmente no Rio Grande do Sul.

Pesquisas recentes têm reforçado a evidência de que é possível aumentar significativamente a produtividade do girassol pela adoção de um manejo mais adequado (MALDANER, 2009; GUSE, 2010; RADONS, 2010). Entretanto, em função das condições meteorológicas e climáticas, há riscos de ocorrência de estresses que afetam negativamente o crescimento e o desenvolvimento, a formação dos componentes de rendimento e a produção

final de aquênios e seu teor de óleo. Dentre os estresses, o excesso hídrico é um problema significativo em várias culturas tanto no estabelecimento de plantas, afetando a população de plantas, quanto nas fases subsequentes, afetando seu crescimento, desenvolvimento, número e o peso de grãos. São comuns falhas na emergência das culturas agrícolas em função de excesso hídrico logo após a semeadura. Ocorre então a necessidade da ressemeadura, que gera gasto extra de sementes e combustível, desgaste de máquinas, sem contar a desuniformidade das plantas resultante na lavoura, que implica em uma série de práticas de manejo adicionais. Quando ocorre em estágios de desenvolvimento mais avançados, o excesso hídrico pode suprimir o crescimento das plantas.

O excesso hídrico ocorre com frequência no Rio Grande do Sul, com maior duração em solos de terras baixas. Dessa forma afeta as culturas agrícolas, resultando principalmente em problemas na germinação, emergência e estabelecimento de plantas, além dos problemas na colheita. Para o girassol, que é uma planta pouco tolerante ao excesso hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva (WAMPLE; DAVIS, 1983; ORCHARD; JESSOP, 1984; GRASSINI et al., 2007), não foram encontradas informações científicas que quantifiquem o efeito adverso do excesso hídrico, na emergência, no estabelecimento e crescimento inicial das plantas. Essa informação é essencial para ser utilizada como parâmetro na análise numérica de probabilidade ou risco climático das diferentes datas de semeadura para o estabelecimento homogêneo e crescimento inicial mais vigoroso do girassol em uma determinada região.

O objetivo deste trabalho foi determinar os estágios iniciais da cultura do girassol em que a ocorrência de excesso hídrico e a duração do mesmo, mais afetam negativamente a emergência e o crescimento inicial das plantas, e quantificar o efeito relativo da duração do excesso hídrico tanto na velocidade e percentual de emergência quanto no crescimento inicial de plantas de girassol.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O girassol no contexto da produção agrícola

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa pertencente à família botânica Asteraceae, caracterizada por apresentar inflorescência na forma de capítulo e as sementes na forma de aquênios. A espécie é originária da América do Norte, mais precisamente da costa do Golfo do México (LENTZ et al., 2001). Atualmente é cultivada nos cinco continentes, sendo que os principais produtores são: Ucrânia, Rússia, Argentina e China, além da União Européia, com produção mundial em torno de 30 milhões de toneladas (FAO, 2012).

Dentre os diferentes usos do girassol, é a produção de óleo comestível que se destaca. Seus aquênios contém alto teor de óleo em comparação a outras oleaginosas. O teor pode variar de 30 a 56%, dependendo da cultivar, da época de semeadura, da sanidade das plantas principalmente a partir da antese, de condições de estresse causado por diferentes fatores e pelas condições meteorológicas durante o ciclo (UNGARO; NOGUEIRA; NAGAI, 2000). Além disso, o girassol é importante para a ornamentação, produção melífera, produção de cosméticos, no suplemento alimentar humano na forma de panifícios, compostos integrais e óleo, e no suprimento alimentar de animais, tanto pelo consumo *in Natura* (principalmente por pássaros) quanto na fabricação de rações em que se utiliza a torta de girassol, que possui alto teor proteico e na forma de silagem (OLIVEIRA et al., 2007; FREITAS et al., 2010). O girassol também é apontado como de alto potencial para a produção de biodiesel (ALONSO, 2005; SPINELLI; JEZ; BASOSI, 2012), fazendo parte do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (BRASIL, 2012).

O óleo de girassol é um alimento rico em ácidos graxos insaturados do complexo “ômega”. Estes são essenciais ao organismo humano, destacando-se o ácido linoleico, que compõem de 55 a 75% do volume do óleo (CONNOR e HALL, 1997). O apelo mundial por alimentos saudáveis ao organismo humano vem sendo um ponto chave para o aumento do consumo de óleo de girassol e, conseqüentemente, o aumento da demanda nacional é da ordem de 13% ao ano (GOMES, 2005). Na Índia o incremento na importação de óleo de girassol foi de 42% no ano de 2012 (VORA, 2012).

O girassol não está entre as espécies anuais mais semeadas no Brasil, onde predominam os cultivos de gramíneas e leguminosas, mas é uma alternativa na rotação de culturas principalmente por ser de outra família botânica e por apresentar várias características agrônômicas desejáveis, algumas das quais são específicas. As plantas possuem sistema radicular agressivo, que resulta no maior aprofundamento das raízes e, conseqüentemente, na melhor exploração da água e reciclagem de nutrientes. É uma espécie com maior tolerância à seca, ao frio e ao calor quando comparada a outras espécies cultivadas, e sua baixa sensibilidade ao fotoperíodo permite seu cultivo em quase todo o território brasileiro (EMBRAPA, 2007), porém, em épocas distintas.

O girassol é uma planta pouco sensível ao fotoperíodo, sendo que a temperatura do ar determina a duração dos subperíodos de desenvolvimento (SENTELHAS et al., 1994). O girassol tem desenvolvimento adequado em temperaturas entre 8 e 34 °C, com temperatura ótima entre 27 e 28 °C (WARREN-WILSON, 1966 apud UNGARO et al., 2009). Para a germinação, temperaturas entre 8 a 10 °C são satisfatórias, porém com o aumento da temperatura até a temperatura ótima resulta no aumento da velocidade de emergência e na diminuição das falhas de plantas na lavoura (CASTRO; FARIAS, 2005). Em solo com disponibilidade hídrica adequada o fator que mais influencia na germinação é a temperatura, sendo que temperatura inferior a 4 °C inibe a germinação das sementes (CASTRO; FARIAS, 2005).

No Brasil, o cultivo comercial iniciou nos anos 40 (DALL'AGNOL; VIEIRA; LEITE, 2005). No final dos anos 70 houve um grande incentivo do governo para o cultivo do girassol, porém, frustrações de safras devido a problemas fitossanitários e tecnológicos no início dos anos 80 levaram os produtores ao desinteresse nessa oleaginosa. Nos últimos anos a área de girassol no Brasil tem oscilado em torno dos 75.000 ha, enquanto a produção anual gira em torno de 116.000 toneladas e a produtividade média em torno de 1.500 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013). Entretanto, apesar de possuir clima e áreas favoráveis ao cultivo, o Brasil é um importador de girassol. O país importa anualmente grande quantidade de grãos, farelo e óleo, provenientes principalmente da Argentina (EMBRAPA 1997), o que representa espaço para sua expansão nos agronegócios brasileiros.

Os maiores produtores brasileiros são os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (RS) (CONAB, 2013). O girassol tem se tornado uma ótima alternativa para cultivo na safrinha, principalmente no Centro-Oeste do Brasil, pois o final do ciclo culmina com um período de menor precipitação pluvial, o que

preserva melhor as condições fitossanitárias das plantas e a qualidade do óleo (CASTRO; FARIAS, 2005). Dessa forma, a área cultivada no Centro-Oeste tem aumentado, enquanto que no território gaúcho tem apresentado redução nos últimos anos (CONAB, 2013).

No RS, a cultura ainda não se estabeleceu na forma de participação significativa no mercado agropecuário, devido principalmente à instabilidade de produção e produtividade. Faltam informações mais detalhadas sobre o manejo mais adequado em relação às exigências edafoclimáticas da cultura e sua resposta aos diferentes fatores de estresse. Dentre os fatores de estresse que afetam a produtividade da cultura destacam-se a disponibilidade hídrica no solo, tanto por déficit quanto por excesso hídrico (GRASSINI et al., 2007; GUSE, 2010), e a ocorrência de doenças fúngicas (LEITE; AMORIM, 2002; MALDANER, 2009; LOOSE et al., 2012). Apesar disso, pesquisas têm mostrado que é possível aumentar a produtividade do girassol em função de um manejo adequado. Em Santa Maria-RS, Guse (2010), sem a aplicação de fungicida, obteve produtividade de até 3.100 kg ha⁻¹, enquanto Maldaner (2009) e Lucas (2011) com aplicação de fungicida somente até o início da antese obtiveram produtividades acima de 4.000 kg ha⁻¹.

Esses resultados permitem inferir que na região central do RS a cultura do girassol pode competir no agronegócio das oleaginosas e que a definição das épocas de semeadura em função de uma análise de riscos agroclimáticos de ocorrência de estresses, os quais afetam negativamente o crescimento, o desenvolvimento, a formação dos componentes de rendimento e a produção final de aquênios, pode tornar essa cultura competitiva e melhorar rentabilidade e a sustentabilidade do sistema de produção agrícola.

2.2 O excesso hídrico

O excesso hídrico é um componente do balanço hídrico que ocorre quando a precipitação pluvial, somada ao armazenamento, supera a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD), diminuindo a presença de O₂ no solo na quantidade que limita o crescimento das plantas. Períodos de excesso hídrico ocorrem toda vez que a precipitação somada a água presente no solo ultrapassam a CAD, superando a umidade de capacidade de campo, promovendo o encharcamento do solo, que geralmente culmina em um período de saturação. Isso ocorre principalmente em solos rasos ou com impedimentos físicos,

sendo que solos profundos promovem a drenagem, que dependendo da intensidade e duração da chuva, pode não ter a eficiência de evitar o encharcamento. Uma CAD no solo com maior ou menor valor (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000) é função das suas propriedades físicas e por isso o excesso hídrico não pode ser definido apenas pela precipitação pluvial.

O solo é constituído de três fases: sólida, líquida e gasosa. A sólida é composta por partículas de origem mineral, fracionadas em diferentes tamanhos (areia, silte e argila) e de origem orgânica (matéria orgânica em decomposição e coloides). A líquida se refere à água e os solutos nela diluídos, formando a solução do solo, na qual ocorrem as reações químicas. A fase gasosa é composta principalmente pelos gases N_2 , CO_2 e O_2 que preenchem os macroporos do solo e os espaços dos microporos não ocupados pela água. Os espaços não preenchidos com água permitem a troca de gases entre as raízes e a atmosfera. Na medida em que o teor de água no solo ultrapassa a umidade da capacidade de campo, o encharcamento gradativo vai eliminando o espaço ocupado pelo ar e, conseqüentemente, vai gradativamente restringindo o fluxo de O_2 e CO_2 e, dependendo da respiração da biosfera do solo, vai estabelecendo a condição anaeróbica. Quando o solo está saturado, a velocidade da troca de gases no solo é minimizada, prejudicando ao máximo a respiração das raízes (TAIZ; ZEIGER, 2004; LIAO; LIN, 2001). Essa condição pode ser mais grave em solos compactados, onde há uma diminuição do volume ocupado por macroporos e a saturação ocorre mais rapidamente (STONE; GUIMARÃES; MOREIRA, 2002).

O excesso hídrico ocorre todos os anos no RS. Pode ser de curta ou de longa duração. Regiões com topografia mais plana (predominância na metade sul do RS) com presença de planossolos, gleissolos, chernossolos, vertissolos e solos aluviais (STRECK et al., 2008), estão sujeitas a períodos prolongados de encharcamento. Em regiões com relevo ondulado, o excesso hídrico ocorre geralmente em períodos mais curtos, associados a duração das precipitações e tempo de drenagem, a não ser que ocorram chuvas continuadas por dias consecutivos, situação mais comum em anos de El Niño (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000).

Em anos sob influência do fenômeno El Niño, fase quente da variabilidade El Niño Oscilação Sul (ENOS), há probabilidade de aumento na precipitação pluvial no sudeste sul-americano, incluindo o RS (DIAZ; STUDZINSKI; MECHOSO, 1998; GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000). Por consequência, é também maior a probabilidade de ocorrência de excesso hídrico nesses anos do que em anos La Niña ou Neutros, sendo conveniente manejar a data de semeadura dos cultivos, antecipando ou atrasando-a de acordo com a melhor condição de

umidade do solo para a germinação e o estabelecimento de plantas (SPESCHA et al., 2004). Nas culturas da soja (ALBERTO et al., 2006) e do milho (ALBERTO et al., 2006; BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005) em anos El Niño a tendência é de aumento nas produtividades, enquanto que para as culturas do trigo (ALBERTO et al., 2006) e do girassol (LOOSE et al., 2010) é de decréscimo, o que provavelmente, entre outros fatores, está atrelado ao excesso hídrico do solo.

Estudos de séries históricas de dados para o RS não são concordantes quanto a tendência das precipitações. Para os dados do período de 1950 a 2009, apresentam tendência de aumento nas precipitações pluviais e no excesso hídrico anual nas quatro estações do ano, principalmente outono e primavera (CORDEIRO, 2010). Para a região do Pampa da Argentina, Spescha et al. (2004) verificaram a mesma tendência observada por Cordeiro (2010). No entanto, para o período de 1912 a 2004 em Santa Maria, Buriol et al. (2006) verificaram não haver tendência de aumento ou diminuição. Quanto à ocorrência de excesso hídrico em Santa Maria, Buriol et al. (1980) já haviam verificado que os excessos hídricos são altos e frequentes no outono, inverno e primavera. As duas últimas são as principais épocas em que é feita a semeadura e ocorre o estabelecimento de plantas da cultura de girassol, estando sujeita aos efeitos do excesso hídrico tanto na emergência quanto no crescimento inicial de plantas.

2.3 Excesso hídrico no solo e seu efeito sobre as culturas agrícolas

O excesso hídrico modifica a fase gasosa do solo, promovendo a deficiência de O_2 na região das raízes das plantas, acúmulo de gases não desejados como CH_4 , H_2S , N_2O , C_2H_4 , H_2 (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000), além do CO_2 , e transformações químicas no solo em função da anaerobiose. Com a insuficiência do suprimento de O_2 , cessa a fosforilação oxidativa e a produção de ATP pelas células, desencadeando processos que levam a desnaturação de proteínas (YORDANOVA; POPOVA, 2001; STEFFENS et al., 2005).

O crescimento das raízes, sob condição de encharcamento do solo, pode ser paralisado em poucos minutos, como é o caso da soja (COSTA, 1996). A fotossíntese diminui, assim como o crescimento das plantas de feveira, prejudicando a formação de frutos e grãos (SILVA; CARVALHO, 2008). Pode também ocorrer a lixiviação de nutrientes, além de

umentar a salinidade do solo, limitando o desenvolvimento das plantas (SALASSIER; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A deficiência de O_2 é denominada hipoxia, enquanto a ausência de O_2 é chamada anoxia (SOUZA; SODEK, 2002). Poucos minutos de anoxia causam mudanças reversíveis na estrutura celular, o que, porém, não ocorre sob anoxia prolongada a partir de 15 horas, em que há danos irreversíveis à estrutura mitocondrial, ao metabolismo energético e à viabilidade celular (ANDREEV; GENEROZOVA; VARTAPETIAN, 1991). Segundo Hook e Crawford (1978) as plantas têm a exigência de certa quantidade de oxigênio necessário para seu metabolismo e crescimento, tolerando a anoxia apenas por curtos períodos de tempo antes da ocorrência de um dano irreversível. O encharcamento do solo reduz a disponibilidade de oxigênio e aumenta a concentração de etileno, reduzindo desse modo o crescimento das raízes, levando a outros efeitos fisiológicos (ORCHARD; SO, 1985), podendo inclusive induzir a senescência de folhas (ORCHARD; JESSOP, 1984). Poucas espécies evoluíram para germinar e crescer em ambiente de anoxia (WAMPLE; DAVIS, 1983).

Segundo Yordanova e Popova (2007), o encharcamento do solo leva a um decréscimo nos teores de clorofila e proteína das folhas e aumento da acidez foliar. Além disso, o conjunto de fatores atuantes em virtude do excesso hídrico confirma que a deficiência de oxigênio nas raízes causa dano foto-oxidativo nas folhas da planta (YORDANOVA; POPOVA, 2007). A planta passa a produzir água oxigenada (H_2O_2) cujo excesso é um potencial causador de danos nas células foliares (APEL; HIRT, 2004; LIN et al., 2004; BANSAL; SRIVASTAVA, 2012).

Segundo Zaidi; Rafique; Singh (2003), a quantidade de O_2 na região da rizosfera vai diminuindo em função dos dias após o início do encharcamento do solo na cultura do milho. Nessa cultura o excesso hídrico promove a redução da concentração de clorofila nas folhas, que apresentam coloração amarelada, e afeta severamente o metabolismo dos carboidratos e a transpiração. O mesmo ocorre para ervilha e cevada, em que o encharcamento do solo causa, respectivamente, o fechamento de estômatos na primeira hora, ou poucas horas após o início do tratamento (ZANG; ZANG, 1994; YORDANOVA; UZUNOVA; POPOVA, 2005). Segundo esses autores, o fechamento dos estômatos pode ser uma resposta à síntese e acúmulo de ácido abscísico (ABA), indutor da senescência foliar junto ao etileno.

A fixação biológica de nitrogênio também é afetada negativamente pelo excesso hídrico. Bactérias fixadoras de nitrogênio e micorrizas precisam de oxigênio e demais gases da atmosfera para serem eficientes. Do contrário, ocorre interferência na nodulação e o

apodrecimento de nódulos, observado em soja na condição de excesso (SCHOLLES; VARGAS, 2004), embora algumas estirpes apresentem certa tolerância (THOMAS; SODEK, 2005).

Em função do excesso hídrico, muitas plantas se adaptam e/ou modificam sua morfologia. Vartapetian e Jackson (1997) separaram quatro categorias de resposta para tolerância das plantas ao excesso hídrico, que são: em primeiro lugar, a capacidade de a planta entrar em estado quase de dormência; em segundo lugar, a capacidade de alongamento para cima, que aumenta a probabilidade de contato com oxigênio; em terceiro lugar, a capacidade de regenerar novas raízes para substituir aquelas asfixiadas; e em quarto lugar, as respostas como fechamento de estômatos e curvatura das folhas. Porém, cada espécie responde de maneira diferente.

No trigo cultivado em casa de vegetação e submetido a condições de excesso hídrico, as plantas apresentam paralisação do crescimento das raízes seminais e iniciação do crescimento de raízes adventícias, além da formação de raízes de menor comprimento (MALIK et al., 2002). Por sua vez, a soja, também em casa de vegetação, apresenta mecanismos de adaptação a condições de hipóxia, como morte da raiz principal e crescimento de raízes laterais e surgimento de raízes adventícias, com redução de nutrientes nas folhas (PIRES et al., 2002). Segundo Schöffel (1997), essa capacidade de formação de raízes adventícias em soja é maior em plantas na fase vegetativa do que na reprodutiva. Em cultivares de milho o crescimento das raízes é mais afetado que o crescimento da parte aérea, e o volume ocupado pelas raízes também foi menor, porém, este efeito difere entre cultivares por apresentarem maior ou menor tolerância ao excesso de umidade (ZAIDI et al., 2004).

Em cultivo de trigo no campo, o excesso hídrico no solo afeta a qualidade dos grãos, que apresentam menor peso hectolitro e produtividade (GUARIENTI et al., 2005). Em alface, cultivada em recipientes a céu aberto, ocorre o decréscimo da área foliar, do número de folhas, da altura do caule, da biomassa da parte aérea e raiz (NOBRE et al., 2009). A soja sofre maior redução no número de legumes e na produtividade, sendo mais significativa a redução quando o excesso hídrico do solo ocorre no estágio R4 (SCHÖFFEL et al., 2001). O algodão apresenta redução na área foliar e no número de capulhos, afetando, conseqüentemente, a produtividade (BANGE; MILROY; THONGBAI, 2004). Em culturas rasteiras como a melancia o excesso hídrico causa rachamento e apodrecimento de frutos (AZEVEDO et al., 2005). A mamoneira sob excesso hídrico apresenta aumento da atividade

da enzima beta-amilase, sendo os teores de amido nas raízes, reduzidos significativamente (BELTRÃO et al., 2003).

Poucos trabalhos tem relatado a importância do excesso hídrico sobre o girassol, porém com evidências de efeito negativo do estresse sobre a cultura. Sob excesso hídrico nos estágios vegetativos e de botão visível (R1) o girassol apresenta diminuição da expansão foliar e crescimento, enquanto o excesso aplicado na antese do girassol leva a uma rápida senescência de folhas e queda significativa na produtividade (ORCHARD; JESSOP, 1984). Sob período de até 48 horas de encharcamento durante o enchimento de aquênios, o girassol apresenta mudanças na duração e taxa de enchimento de aquênios, redução na fotossíntese, na biomassa das raízes e no rendimento de aquênios, sendo que as propriedades do solo são importantes para a maior ou menor interferência sobre as plantas (GRASSINI et al., 2007). Segundo Wample e Davis (1983), o encharcamento aumenta o teor de amido presente no cloroplasto das células de girassol, podendo afetar na taxa de fixação de CO₂, através da distorção das membranas dos tilacóides ou pela redução da luz que as atinge.

Nos estágios iniciais de desenvolvimento de plantas de ervilha, cevada e aveia são mais sensíveis ao encharcamento do que no restante do ciclo (WATSON; LAPINS; BARRON, 1976; CANNEL; GALES; SUHAIL, 1977), reduzindo significativamente suas produtividades. Em trigo, o encharcamento do solo nos períodos iniciais de desenvolvimento afeta a população de plantas, além de predispor a planta a uma condição de menor tolerância à seca em períodos subsequentes (DICKIN; WRIGHT, 2008). Em plantas de sorgo sob alagamento, há supressão e atraso no perfilhamento, redução de área foliar em todas as fases de desenvolvimento, sendo o decréscimo no rendimento mais acentuado para o período inicial de desenvolvimento (ORCHARD; JESSOP, 1984). Na soja (SHIMONO et al., 2012) e na alfafa (BARTA; SULC, 2002), o excesso hídrico no solo também reduziu o crescimento das plantas, sendo que, quanto maior o nível de radiação fotossintética, maiores os danos por excesso hídrico. O arroz, por sua vez, ao longo de sua evolução adaptou-se a solos mal drenados. A sua capacidade de modificação bioquímica e estrutural permite a formação de aerênquimas e o suprimento de O₂ mesmo sob ambiente de anoxia (HOLZSCHUH; BOHNEN; ANGHINONI, 2010).

O conteúdo de água no solo é de fundamental importância para a germinação, emergência e o estabelecimento de plantas. Tanto o déficit quanto o excesso hídrico podem ser prejudiciais, sendo necessário um teor de umidade intermediária ideal para a germinação de cada cultura. Em algumas espécies arbóreas, o excesso de umidade no solo geralmente

provoca decréscimo na germinação, pois impede a difusão do oxigênio para o interior do solo e reduz todo o processo metabólico resultante (BORGES; RENA, 1993). Desse modo, ocorre a diminuição da velocidade e da percentagem de germinação de sementes (SILVA; CARVALHO, 2008). Para as culturas anuais, em razão da necessidade de estabelecer uma população de plantas mínima, com um grau de homogeneidade e vigor aceitáveis, o excesso hídrico no solo após a semeadura e durante o desenvolvimento inicial das plantas pode se constituir em um grande problema.

Segundo Wample e Davis (1983), após o primeiro pico de embebição e protrusão da radícula, a taxa respiratória e a atividade enzimática da semente aumentam muito, de modo que necessitam de O₂. Como em solos encharcados a presença de O₂ é extremamente reduzida, as sementes da maioria das espécies não germinam e perdem rapidamente a viabilidade (KENNEDY; RUMPHO; FOX, 1992).

A emergência das plantas é afetada tanto na quantidade como na velocidade pelo excesso hídrico. O encharcamento contínuo por 72 horas, iniciado um dia após a semeadura, atrasa a emergência de trigo, soja e milho (LANGAN; PENDLETON; OPLINGER, 1986). No milho, o excesso hídrico afeta significativamente a germinação de sementes e o crescimento de plantas (NORTON, 1986; ZAIDI; RAFIQUE; SINGH, 2003). A soja sob 24 horas de encharcamento apresenta emergência de apenas 50% de plantas, enquanto que sob encharcamento de 48 horas não há emergência (SUNG, 1995). Wuebker; Mullen; Koehler (2001) encontraram que as sementes de soja sob encharcamento de 48 horas iniciado 2 a 3 dias após o primeiro pico de embebição foram mais suscetíveis a perda de poder germinativo do que o aplicado logo após a semeadura.

A perda do poder germinativo pode estar relacionada também a danos fisiológicos ou mecânicos na semente, infestação por patógenos no local, ou processos fisiológicos intrínsecos da semente, sendo potencializado pelo excesso hídrico (WUEBKER; MULLEN; KOEHLER, 2001). Além disso, a temperatura do solo pode influenciar significativamente na germinação das sementes sob excesso hídrico. Segundo Wuebker; Mullen; Koehler (2001), 24 horas de excesso hídrico afetam mais a germinação da soja sob temperatura de 15°C do que de 25 °C (WUEBKER; MULLEN; KOEHLER, 2001). Porém, Hou e Thseng (1991) verificaram o contrário, que na temperatura de 25 °C a semente fica mais suscetível a danos e redução da emergência na soja pelo excesso hídrico do que a 10 °C. No milho semeado a campo, com excesso hídrico por 48, 96 e 144 horas, a elevação da temperatura de 10 para 25 °C potencializou as perdas na emergência (FAUSEY; MCDONALD, 1985).

Em pesquisa de comparação entre sementes de arroz e de trigo, espécie tolerante e não tolerante a anoxia, respectivamente, verificou-se o efeito da anoxia sobre a hidrólise de sementes (PERATA et al., 1992). Seus resultados comprovam que o arroz é altamente tolerante a anoxia em função da presença de enzimas com capacidade de quebrar o amido presente no endosperma mesmo sob excesso hídrico, enquanto no trigo não há quebra do amido, restringindo a nutrição do embrião que acaba não germinando. Dessa forma, o girassol, por ser originário de regiões mais secas, possivelmente não apresenta alta capacidade de emergência em condição de anoxia.

Embora estudos científicos tenham evidenciado o efeito do excesso hídrico sobre as culturas agrícolas, pouco se tem pesquisado sobre sua implicação na germinação, emergência e crescimento inicial de plantas, especialmente na cultura do girassol. Esse conhecimento básico precisa ser aprofundado e detalhado no sentido de subsidiar melhor entendimento dos fracassos e/ou êxitos no estabelecimento inicial da cultura do girassol no Rio Grande do Sul, cuja recomendação oficial de período de semeadura (EMBRAPA, 2007) coincide com um período de alto risco de ocorrência de excesso hídrico no solo (BURIOL et al., 1980; CARDOSO, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, condições edafoclimáticas e meteorológicas

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação e a campo na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (latitude: 29°43'23''S, longitude: 53°43'15''W e altitude: 95 m). O clima da região fisiográfica da Depressão Central, que inclui Santa Maria, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões quentes (MORENO, 1961), com um regime pluviométrico isoígro e média anual de 1712 mm (BURIOL et al., 2006). O solo do local é um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006), pertencente à unidade de mapeamento São Pedro (BRASIL, 1973).

No centro da área experimental da sede do Departamento de Fitotecnia também estão instaladas a Estação Meteorológica Principal de Santa Maria, pertencente ao 8° Distrito de Meteorologia do INMET, e a Estação Meteorológica Automática do INMET. Da Estação Automática foram obtidos os dados meteorológicos diários: precipitação pluvial, densidade de fluxo de radiação solar global, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento a 10 m de altura. A Estação Automática registra suas leituras a cada hora, resultando em 24 leituras diárias. A partir desses dados foram calculadas, as somas da precipitação pluvial e da radiação solar global somando-se as 24 leituras desses dados, e as médias para as demais variáveis, somando-se os valores de cada leitura e dividindo pelo número de leituras diárias. Da Estação Meteorológica Principal foram obtidos os dados de brilho solar diário (insolação).

3.2 Experimentos em casa de vegetação

3.2.1 Descrição de ambiente e tratamentos

Foram conduzidos três experimentos em casa de vegetação localizada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. A casa de vegetação possui dimensões de 16,0 m de comprimento por 7,0 m de largura e 3,5 m de pé direito, com orientação Leste-Oeste. A cobertura e as laterais são de placas duplas de polietileno de baixa densidade (PEBD) endurecido. A parede lateral voltada ao quadrante sul possuía em toda sua extensão um painel de argila expandida de 2,0 m de altura a 1,5 m da superfície inferior, que era molhada por um sistema automático de gotejamento no momento do acionamento do sistema de arrefecimento. O sistema automático de arrefecimento incluía também um sistema de exaustores instalados na parede lateral oposta (lado norte) acionado para o controle de temperaturas altas, mantendo a temperatura abaixo de 32 °C, valor digitado no painel do sistema eletrônico de controle.

Os experimentos foram realizados em vasos de 26,0 e 19,0 cm de diâmetro nas bordas superior e inferior, respectivamente, e 23,0 cm de altura. Cada vaso foi preenchido com solo devidamente peneirado, até a altura de 18,0 cm, deixando-se a borda superior livre de 5,0 cm. O solo utilizado é pertencente a unidade de mapeamento São Pedro (horizonte A), corrigido em concordância da análise química, misturado e homogeneizado, peneirado em peneira de malha de 1,0 cm e colocado manualmente dentro dos vasos. Para minimizar as perdas de solo através das perfurações no fundo do vaso, foi colocada uma tela plástica com malha de 0,2 cm.

Cada vaso com solo foi colocado dentro de um balde (Figura 1) com as dimensões de 30,0 e 26,0 cm de diâmetro, respectivamente nas bordas superior e inferior, e 26,0 cm de altura. No fundo interno de cada balde foram colocados calços de madeira, sobre os quais foram apoiados os vasos com solo, que ficaram suspensos a 3,0 cm do fundo, facilitando a drenagem da água quando necessária. Nos tratamentos com excesso hídrico, a água foi colocada dentro do balde de maneira que parte do vaso ficou submersa, complementando-se a saturação com irrigação sobre o vaso durante a primeira hora. As perfurações no fundo dos vasos permitiram a ascensão da água para manter o encharcamento do solo, assim como sua

drenagem, em função do nível da água estabelecido no balde. O nível da água durante a aplicação do tratamento de excesso hídrico foi mantido através de uma perfuração de 0,3 cm de diâmetro na borda lateral de cada balde na altura de 15,0 cm. Dessa maneira, o nível da água ficou mantido a 6,0 cm abaixo da superfície do solo no vaso, isto é, 4,0 cm abaixo das sementes. Isso foi feito para que houvesse a condição de excesso hídrico do solo e não a saturação completa do mesmo.



Figura 1 – Aplicação de excesso hídrico iniciado na data da semeadura (A), na data correspondente a 50% da emergência (B), no estágio V2 (C) e no estágio V4 (D), na cultura do girassol conduzida em casa de vegetação. Santa Maria, RS, 2013.

Foi considerada uma unidade experimental (UE) cada vaso envolvido por um balde. As UEs foram distribuídas ordenadamente numa área de 30,0 m² e os tratamentos sorteados e dispostos no delineamento inteiramente casualizado com três repetições, em experimento bifatorial. O fator A é qualitativo, correspondente ao estágio de desenvolvimento das plantas

de girassol em que iniciou o período de excesso hídrico, sendo os tratamentos: TEST = testemunha sem aplicação de excesso hídrico; T1 = início do excesso hídrico logo após a semeadura; T2 = início do excesso hídrico três dias após a semeadura; T3 = início do excesso hídrico na emergência (data em que 50% das plantas ou mais haviam emergido); T4 = início do excesso hídrico no estágio V2 (duas folhas completamente desenvolvidas), e; T5 = início do excesso hídrico no estágio V4 (quatro folhas completamente desenvolvidas). Alguns níveis do fator A são apresentados na Figura 1. Por sua vez, o fator D é quantitativo, correspondente ao tempo de duração do excesso hídrico contínuo com os níveis: 0 = nenhuma hora de excesso hídrico (Testemunha); 48 = 48 horas de excesso hídrico contínuo; 96 = 96 horas de excesso hídrico contínuo; 144 = 144 horas de excesso hídrico contínuo; 192 = 192 horas de excesso hídrico contínuo, e; 240 = 240 horas de excesso hídrico contínuo.

3.2.2 Instalação e condução

Nos três experimentos foram utilizadas sementes do híbrido simples Helio 250 de ciclo precoce e recomendado para semeadura em todo o Brasil. Conforme teste realizado no Laboratório de Análise de Sementes da UFSM, as sementes do híbrido apresentaram poder germinativo de 82,25%. As sementes foram acondicionadas na câmara de armazenamento de sementes do laboratório sob condições de baixa umidade relativa do ar e baixa temperatura, para manter a qualidade e viabilidade das sementes.

Os experimentos foram conduzidos desde a semeadura até o término da aplicação dos tratamentos, data em que foram coletadas as plantas para as determinações fenológicas e fenométricas. O primeiro experimento (Experimento 1) foi semeado em 29/08/2011 e conduzido até 29/09/2011. O segundo experimento (Experimento 2) foi semeado em 04/10/2011 e conduzido até 31/10/2011. O terceiro experimento (Experimento 3) foi semeado em 03/11/2011 e conduzido até 28/11/2011. Portanto, os experimentos 1; 2 e 3 foram conduzidos, respectivamente, até aos 31; 27 e 25 dias após a semeadura (DAS).

As semeaduras foram realizadas de maneira uniforme e aleatória de 15 sementes por UE, a uma profundidade de 2 cm no solo. Aplicou-se nas sementes o produto Standak Top®, uma mistura de inseticida e fungicida (Piraclostrobina + Metil Tiofanato + Fipronil), permitindo às sementes melhores condições de sanidade durante a germinação e emergência,

e assim, proporcionar que o resultado fosse apenas efeito dos tratamentos de excesso hídrico. No dia anterior à sementeira foi realizada uma irrigação abundante nos vasos para que no dia da sementeira o solo apresentasse umidade próxima à capacidade de campo (UCC).

Logo após a sementeira iniciou-se a aplicação dos tratamentos de excesso hídrico nas UEs repetições do tratamento T1. O nível da água foi mantido em torno de 4,0 cm abaixo da semente. As forças de capilaridade, adesão e coesão da água, e a diferença de potencial de água no solo, permitiram a elevação da água e assim, mantiveram a umidade elevada no entorno da semente. No início da aplicação dos tratamentos nas UEs que receberam o excesso hídrico, a água foi colocada de duas maneiras: por cima diretamente sobre o solo do vaso no início do encharcamento; e dentro dos baldes para a manutenção do nível da água dentro do vaso. O nível de água dentro do balde foi monitorado diariamente, mantendo sempre o nível máximo do balde delimitado pelo orifício a 15,0 cm de altura.

No momento de término do período de aplicação do excesso hídrico, retirou-se a água do balde, permitindo a drenagem do excesso da água através dos furos no fundo do vaso, mantendo-se o balde vazio em torno do vaso. A umidade do solo das UEs que não estiveram recebendo nenhum tratamento (testemunhas, e UEs sem excesso hídrico naquele período) foi mantida próxima à UCC por pequenas irrigações diárias de reposição de água. Caso a irrigação do dia fosse um pouco abundante, o excesso era drenado automaticamente, garantindo que nesses tratamentos não houvesse excesso hídrico. Por outro lado, foram observados o solo e as plantas e em caso de sintomas de deficiência hídrica nos dias de alta demanda atmosférica eram realizadas irrigações extras.

Após o período de emergência das plantas, foi realizado o desbaste nas UEs, deixando-se somente duas plantas aleatoriamente (nos vasos em que emergiram duas ou mais plantas), preferencialmente em posição oposta. Essas plantas foram conduzidas até o final dos experimentos, quando foram coletadas e a partir delas obtidas as variáveis de resposta das plantas aos tratamentos.

Para monitoramento da temperatura do solo, foram instalados dois sensores Pt-100 na profundidade de 0 a 10 cm no solo do vaso de uma parcela testemunha. Os dados eram coletados e armazenados por um datalogger a cada 10 minutos. As médias diárias foram calculadas utilizando todas as leituras diárias.

3.2.3 Avaliações das respostas das plantas aos tratamentos

As variáveis observadas para análise foram: porcentagem de emergência (PE), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento máximo de raiz (CMR), comprimento da raiz principal (CRP), área foliar (AF), altura de plantas (AP), número de folhas por planta (NF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), massa seca total da planta (MST), área foliar específica (AFE), razão de peso foliar (RPF) e relação entre a massa seca da parte aérea e da raiz (PA/R). As variáveis PE e IVE foram observadas nos primeiros dias após a semeadura enquanto as demais variáveis foram determinadas no final do período de aplicação dos tratamentos (31, 27 e 25 DAS, respectivamente para os experimentos 1, 2 e 3), quando as plantas foram coletadas. Todas as variáveis obtidas no final dos experimentos foram corrigidas para a porcentagem de emergência de plantas, uma vez que foi realizado o desbaste e deixadas duas plantas em cada vaso.

A emergência foi determinada por contagens diárias a partir do início do período de emergência até seu final. O início do período de emergência foi considerado quando a primeira plântula apresentava as folhas cotiledonares abertas, caracterizando a emergência, e seu final, quando o número de plantas emergidas estabilizou, não havendo mais emergência adicional de plantas. Com o número final de plantas emergidas foi determinada a PE, cujo valor foi corrigido em razão do poder germinativo das sementes ser de 82,25%. A partir da sequência de observações diárias de emergência pôde-se calcular o IVE, utilizando-se a equação proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} + \dots + \frac{N_n}{D_n} \quad (1)$$

em que, N_1 é o número de plantas emergidas na primeira contagem; D_1 é o número de dias após semeadura para a primeira contagem; N_n é o número de plantas emergidas na última contagem; D_n é o número de dias após semeadura para a última contagem.

Determinou-se a AP (cm) com uma régua graduada em centímetros e mediu-se a largura máxima do limbo foliar de cada folha da planta, que também foram contabilizadas para determinar o NF na data de coleta das plantas. A partir da largura máxima do limbo foliar de cada folha da planta determinou-se a área do limbo de cada folha (Alf), utilizando-se a equação de Maldaner et al. (2009):

$$Alf = 1,7582 * (L)^{1,7069} \quad (2)$$

em que, Alf é área foliar do limbo de uma folha em cm^2 e L é a largura máxima do limbo foliar da folha de girassol mensurada transversalmente à nervura principal em cm. A soma da Alf de todas as folhas da planta corresponde a AF da planta. Para análise, a variável foi transformada para decímetros quadrados de área foliar por metro quadrado de área ocupada pela planta ($\text{dm}^2 \text{ m}^{-2}$).

Na coleta das plantas as raízes foram retiradas com parte de solo e lavadas em água corrente para separá-las do solo. Com o auxílio de uma régua graduada em centímetros, mediram-se o CMR nos três experimentos e o CRP nos experimentos 2 e 3.

Para determinação da MSPA, MSR e MST as partes das plantas foram separadas e colocadas em sacos de papel, que foram levados à estufa de secagem a 65°C com ventilação forçada até o momento em que apresentavam peso constante. Foi realizada a pesagem em balança de precisão com resolução de 1 mg e precisão de 5 mg. A massa seca de parte aérea e a massa seca de raízes foram determinadas e a soma das duas resultou na massa seca total, sendo as variáveis transformadas para massa seca por área (g m^{-2}).

Posteriormente, foram feitas as determinações PA/R, AFE e RPF. PA/R é a relação de partição entre a parte aérea e a raiz, dada pela razão entre a fitomassa da parte aérea em gramas e a fitomassa da raiz, também em gramas (g g^{-1}). A AFE é a razão entre a área foliar e a fitomassa foliar da planta avaliada, dada em decímetros quadrados de área foliar por grama de massa foliar seca ($\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$). RPF é a razão entre a fitomassa foliar em gramas e a fitomassa total da planta em gramas (g g^{-1}).

3.2.4 Análise estatística

Os resultados obtidos nos diferentes tratamentos foram submetidos à análise de variância pelo teste de F. Primeiramente foi realizado o teste de normalidade dos dados, sendo um dos pressupostos para realização da análise de variância. O teste de normalidade de Shapiro Wilk ($p > 0,05$) foi aplicado sobre os resíduos dos erros de cada uma das variáveis. As

variáveis PE e RPF, que não apresentaram distribuição normal foram transformadas pelo método da raiz quadrada ($Y_{ij}^* = (Y_{ij} + 0,5)^{0,5}$).

Por serem experimentos bifatoriais com os mesmos tratamentos e repetições, foi possível fazer uma análise conjunta dos dados, tomando-se os experimentos como um terceiro fator (Fator E). Dessa forma, foram analisados conjuntamente os três experimentos pela análise de variância e teste F. Quando a interação tripla foi significativa, foram desdobrados os níveis dos fatores A e D dentro de E. Então foram desdobradas as médias do fator D dentro de A e comparadas pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$), enquanto as médias do fator A foram desdobradas dentro de D e feita análise de regressão. Quando a interação não foi significativa entre os fatores, não houve diferença entre os três experimentos, utilizando-se os valores médios das variáveis dos três experimentos para o desdobramento dos fatores A e D.

3.3 Experimento a campo

3.3.1 Instalação, condução e determinação do balanço hídrico

O experimento à campo foi realizado no Departamento de Fitotecnia da UFSM. A área utilizada apresenta uma pequena declividade, permitindo o escoamento superficial da água acima do ponto de saturação do solo. O experimento foi conduzido de 28/07/2011 a 27/11/2011, com sementes semanais do híbrido de girassol Hélio 250. As parcelas constaram de três linhas de 3 m de comprimento nas quais foram semeadas 100 sementes em cada linha. As sementes foram realizadas manualmente em sulcos na profundidade média de 2,5 cm. Para avaliação da PE, do IVE e do número de dias para a emergência (DPE), foram semeadas quatro repetições.

Oito sensores de platina modelo Pt-100 foram instalados para monitorar a temperatura média do solo na profundidade de zero a 10 cm. Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição eletrônico de dados (datalogger) em que os dados eram coletados com frequência de um segundo e as médias armazenadas a cada 10 minutos.

A umidade do solo foi determinada pelo balanço hídrico sequencial diário do solo na camada de 0 a 5 cm de profundidade. Além disso, a cada sementeira realizou-se quatro coletas

de solo. As amostras foram levadas à câmara de secagem e ventilação forçada a 65 °C. Os resultados foram utilizados para confirmação do teor de umidade calculado pelo balanço hídrico e para a determinação da umidade do solo no ponto de saturação do solo e no ponto de capacidade de campo. Determinou-se uma CAD de 10,2 mm, e a saturação do solo com 13,8 mm, referente à camada de 0 a 5 cm do solo, o que está em concordância com o apresentado por CARDOSO (2005).

Cada vez que o solo atingiu a saturação, contabilizou-se 36 horas para que a umidade chegasse na capacidade de campo, momento em que se passou a calcular o armazenamento (Armaz, em mm) por meio da equação:

$$\text{Armaz} = \text{CAD} * \text{EXP}(\text{Neg.Ac.}/\text{CAD}) \quad (3)$$

em que: Neg.Ac. é o negativo acumulado do balanço hídrico sequencial e CAD é a capacidade de armazenamento de água disponível no solo (nesse caso, 10,2 mm).

Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o, em mm dia⁻¹) utilizou-se o método de Penman-Monteith proposta por Allen et al. (1998):

$$ET_o = \frac{0,408S(Q^* - G) + \frac{y900u_2(es - e)}{T + 273}}{S + y(1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

em que: S = Tangente à curva de saturação do ar (kPa °C⁻¹), Q* = saldo de radiação (MJ m² dia⁻¹); G é o fluxo de calor no solo (5% do Q*); y é constante psicrométrica (0,066 kPa °C⁻¹); u₂ = velocidade média de vento (m s⁻¹) a 2 metros de altura; es = pressão de saturação de vapor no ar (kPa); e = pressão parcial de vapor no ar (kPa); T = temperatura média diária do ar (°C).

A tangente à curva de saturação do ar é dada por:

$$s = \frac{25051,96 \cdot 10^{[7,5T/(237,5+T)]}}{(T + 237,5)^2} \quad (5)$$

A equação 6 representa a pressão de saturação de vapor no ar:

$$es = 6,108 * 10^{[7,5T/(237,5+T)]} \quad (6)$$

A pressão parcial de vapor no ar é dada por:

$$e = \frac{es * UR}{100} \quad (7)$$

em que: UR = umidade relativa média diária.

O saldo de radiação é dado pela equação abaixo representada:

$$Q^* = 0,77 * Rg - [0,95 * 4,90 * 10^{-9} * (T + 273)^4 * (0,56 - 0,0791 * (e^{0,5})) * (0,1 + 0,9 * n / N)] \quad (8)$$

em que: Rg é a radiação solar global incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); 0,77 refere-se à radiação solar no topo da atmosfera menos o albedo médio (1-0,23); 0,95 = Emissividade (ϵ); $4,9 * 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ K}^{-4}$ = Constante de Stefan-Boltzmann (σ); T = temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); e = pressão parcial de vapor (hPa); n é o brilho solar diário (horas); e N é a duração astronômica do dia (horas).

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi calculada pela equação:

$$ETc = ETo . Kc \quad (9)$$

em que, Kc é o coeficiente de cultura. O Kc foi considerado variável, de forma dual, em função do número de dias após cada precipitação pluvial. Foram utilizados os valores de Kc dual de 0,9 no dia da precipitação pluvial acima de 2 mm, 0,5 no primeiro dia após a precipitação pluvial, 0,3 no segundo dia após a precipitação pluvial e 0,2 nos demais dias (KASHYAP; PANDA, 2001).

3.3.2 Determinações avaliativas e análise

As variáveis analisadas foram a PE, o IVE e o número de dias para a emergência (DPE). O DPE representa o intervalo, em dias, entre a semeadura e a emergência de 50% da população. Diariamente foram contabilizadas as plantas emergidas nas diferentes parcelas, do início ao final do período de emergência. Com o número final de plantas emergidas foi determinada a PE, quando 50% do total haviam emergido, cujos valores foram corrigidos em razão do poder germinativo das sementes, de 82,25%. A partir da sequência de observações

diárias de emergência determinou-se o IVE, calculado pela equação 1 proposta por Maguire (1962), descrita anteriormente.

A partir do balanço hídrico sequencial do solo se tomou o armazenamento como base para verificar a umidade do solo em relação a capacidade de campo (CC). A CC de 10,2 mm foi tomada como valor 1,0 da fração da capacidade de armazenamento de água disponível (FCAD). Determinaram-se as médias da FCAD da semeadura até a emergência. O excesso hídrico foi considerado quando o solo apresentava saturação, ou seja, com umidade acima da CC, sendo contabilizado o número de horas acima da CC do período da semeadura até a emergência das plantas. Também foram calculadas as temperaturas médias do solo e do ar, do período de emergência das plantas.

As variáveis PE e IVE foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$), tendo como tratamentos as diferentes datas de semeadura. Foram comparados os resultados com as variáveis de excesso hídrico, FCAD (o qual apresenta a informação de umidade do solo) e temperatura média do solo.

Para verificar o efeito da umidade no solo, temperatura do solo e do tempo de excesso hídrico, foram feitas análises de regressão entre as variáveis independentes (umidade do solo em porcentagem da CAD; temperatura média do solo em °C; e tempo de excesso hídrico em horas) e as variáveis dependentes (PE, IVE e DPE). Verificou-se a significância dos parâmetros das equações encontradas, a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados dos experimentos em casa de vegetação

4.1.1 Variação da temperatura do ar e do solo

As condições meteorológicas foram distintas nos três experimentos (Tabela 1). Houve um aumento da temperatura média do ar e do solo e também da radiação solar global do primeiro para o terceiro experimento. A temperatura média do ar foi 3,1 e 6,0 °C maior e a temperatura média do solo foi 3,4 e 5,0 °C maior, respectivamente nos experimentos 2 e 3 em relação ao experimento 1 (Tabela 1), similar, ao ocorrido com as médias das temperaturas máximas e mínimas diárias do primeiro experimento para o terceiro. A radiação solar global média aumentou 23 e 53% nos experimentos 2 e 3, em relação ao experimento 1, respectivamente.

Tabela 1 – Temperatura média, temperatura máxima absoluta e temperatura mínima absoluta do ar (T_{ar}) e do solo (T_{solo}) e média do fluxo de radiação solar global incidente (Rg) durante três experimentos de excesso hídrico no girassol conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.

Experimento	-----* T_{ar} (°C)-----			-----** T_{solo} (°C)-----			*Rg (MJ m ⁻² dia ⁻¹)
	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.
1	16,1	25,3	9,3	17,6	22,5	13,7	15,6
2	19,2	25,5	14,6	21,0	24,6	17,0	19,2
3	22,1	28,0	19,3	23,6	27,0	19,6	23,8

* T_{ar} e Rg medidas no exterior à casa de vegetação; ** T_{solo} = medida nos vasos no interior da casa de vegetação.

Na Figura 2 são apresentados os valores médios diários das temperaturas do ar e do solo ao longo dos três experimentos. Há uma tendência de aumento nas temperaturas do solo e do ar do experimento 1 para o experimento 3. A tendência e variação são semelhantes, sendo que a temperatura do solo apresenta valores pouco acima da temperatura do ar.

Considerando que o valor mínimo da temperatura do solo ficou sempre acima de 13 °C, pode-se inferir que não houve limitação térmica para a germinação (CASTRO; FARIAS, 2005).

As temperaturas foram maiores no experimento 3, implicando no desenvolvimento mais acelerado das plantas, justificando que a duração do experimento 3 em dias foi menor que os experimentos 1 e 2. Conforme Sentelhas et al. (1994), o desenvolvimento do girassol pode ser descrito com o conceito de graus-dia, ou seja, o tempo térmico determina a emissão de folhas e a duração dos subperíodos. Dessa forma, a temperatura do ar tem influência direta na velocidade de emergência e de desenvolvimento das plantas, pois tem alta correlação com a temperatura do solo.

A radiação solar também é um elemento meteorológico que interfere nos resultados de desenvolvimento de plantas e de resposta ao excesso hídrico. Por exemplo, altos níveis de radiação solar tendem a aumentar os danos por excesso hídrico nas culturas da soja (SHIMONO et al., 2012) e da alfafa (BARTA; SULC, 2002), afetando também o acúmulo de matéria seca, independentemente do estágio de desenvolvimento. Portanto, a temperatura e a radiação podem ser importantes elementos a serem considerados na discussão dos resultados.

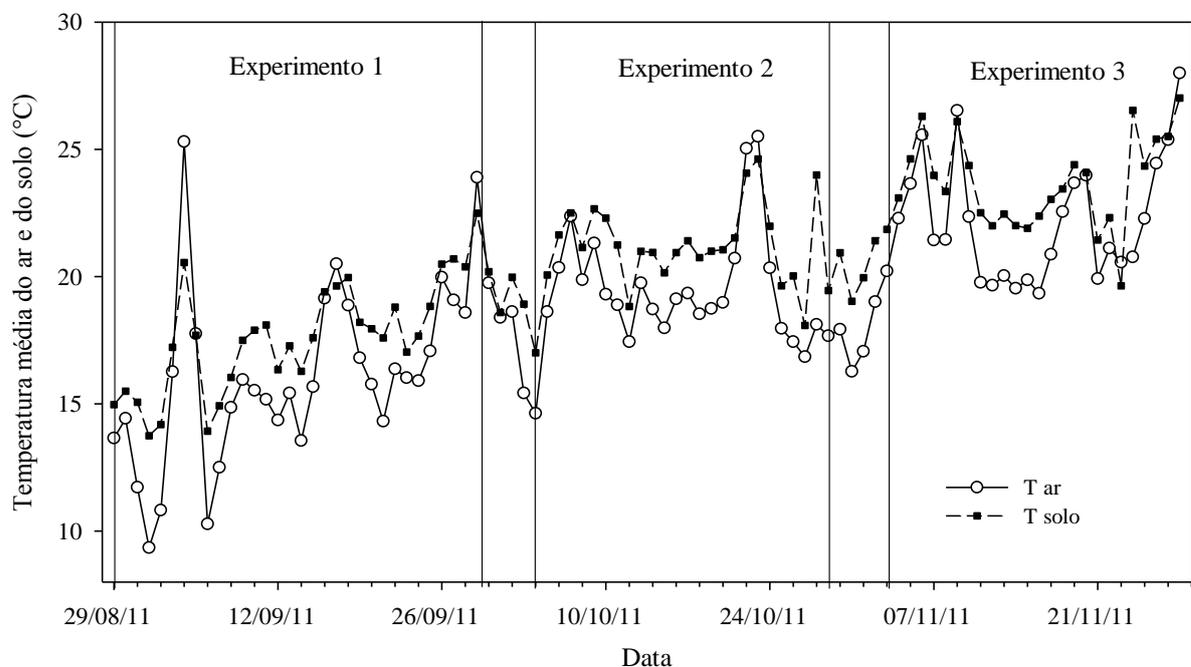


Figura 2 – Temperatura do ar média diária no ambiente externo e temperatura do solo média diária no interior da casa de vegetação medidas durante os três experimentos (1, 2 e 3) de excesso hídrico na emergência e crescimento inicial do girassol. Santa Maria, RS, 2013.

4.1.2 Porcentagem e velocidade de emergência do girassol sob excesso hídrico

Na Tabela 2 pode ser visualizado o quadrado médio da análise de variância da porcentagem de emergência (PE) e do índice de velocidade de emergência (IVE) do girassol. Verifica-se que todas as fontes de variação foram significativas, inclusive as interações entre os três fatores. Portanto, as médias observadas diferiram entre si nos diferentes estágios fenológicos, na duração do excesso hídrico e nos experimentos. Os resultados de comparação de médias são apresentados na Tabela 3, desdobrando-se os níveis do fator A dentro de D e os níveis do fator D dentro de A, diferenciando-se os três experimentos.

Tabela 2 - Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: porcentagem de emergência (PE) e índice de velocidade de emergência (IVE) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.

Fontes de variação	Quadrado Médio	
	PE	IVE
A	67824,73*	902,81*
D	9052,00*	96,14*
E	707,60*	123,73*
A x D	3607,62*	41,53*
A x E	1082,01*	10,49*
D x E	334,61*	1,64*
A x D x E	253,90*	1,39*
Coefficiente de variação (%)	8,78	9,12
Média geral	76,13%	7,70

A = Estágio de desenvolvimento na aplicação do excesso hídrico; D = Tempo de excesso hídrico; E = Experimento; A x D = interação entre estágio de desenvolvimento e tempo de excesso hídrico; A x E = interação entre estágio de desenvolvimento e experimento; D x E = interação entre tempo de excesso hídrico e experimento; A x D x E = interação entre os três fatores. * Significativo a 5% de probabilidade de erro no teste F.

Os tratamentos T1 e T2 foram os mais afetados pelo excesso hídrico na porcentagem de emergência de plantas nos três experimentos realizados (Tabela 3). Por serem aplicados antes da emergência, esses tratamentos tem maior efeito negativo sobre a emergência que os demais. Entretanto, o tratamento T3 do experimento 1 também apresentou redução significativa da emergência. Como esse tratamento foi aplicado quando havia 50% das plantas

emergidas, o excesso hídrico prejudicou a emergência das plantas que ainda estavam em processo de emergência. Isso se deve principalmente ao fato de a emergência ter sido mais lenta no experimento 1, em razão das menores temperaturas do ar e do solo, reduzindo a soma térmica. Como as temperaturas do ar e do solo estavam mais elevadas nos experimentos 2 e 3 (Figura 1), as plantas tiveram uma emergência mais rápida e uniforme, não sendo afetadas significativamente pelo excesso hídrico no tratamento T3.

Tabela 3 – Médias da porcentagem de emergência de plantas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Porcentagem de emergência (%)-----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Experimento 1	TEST	100,00 a*	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	T1	95,27 a	72,99 b	40,55 b	4,06 b	2,03 c
	T2	71,63 b	10,14 c	12,16 c	8,11 b	4,06 c
	T3	84,80 b	91,56 a	85,82 a	93,59 a	70,95 b
	T4	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	T5	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
CV (%)		9,85				
Experimento 2	TEST	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	T1	79,29 a	10,81 b	0,00 b	0,00 c	0,00 c
	T2	18,92 b	13,52 b	2,70 b	8,11 b	16,22 b
	T3	99,11 a	99,11 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	T4	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	T5	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
CV (%)		9,79				
Experimento 3	TEST	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	T1	24,33 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b
	T2	13,52 c	2,70 b	2,70 b	0,00 b	2,70 b
	T3	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
	T4	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	99,10 a
	T5	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
CV (%)		5,92				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Com 48 horas de excesso hídrico apenas no experimento 3 os tratamentos T1 e T2 diferiram da testemunha, enquanto que no experimento 2 apenas o tratamento T2, e no experimento 1 os tratamentos T2 e T3 diferiram estatisticamente (Tabela 3). A partir de 96 horas de excesso hídrico nos três experimentos os tratamentos T1 e T2 apresentaram menor PE em relação a testemunha (TEST). Os tratamentos aplicados após a emergência das plantas, obviamente tiveram 100% das sementes viáveis emergidas, sendo igual à testemunha.

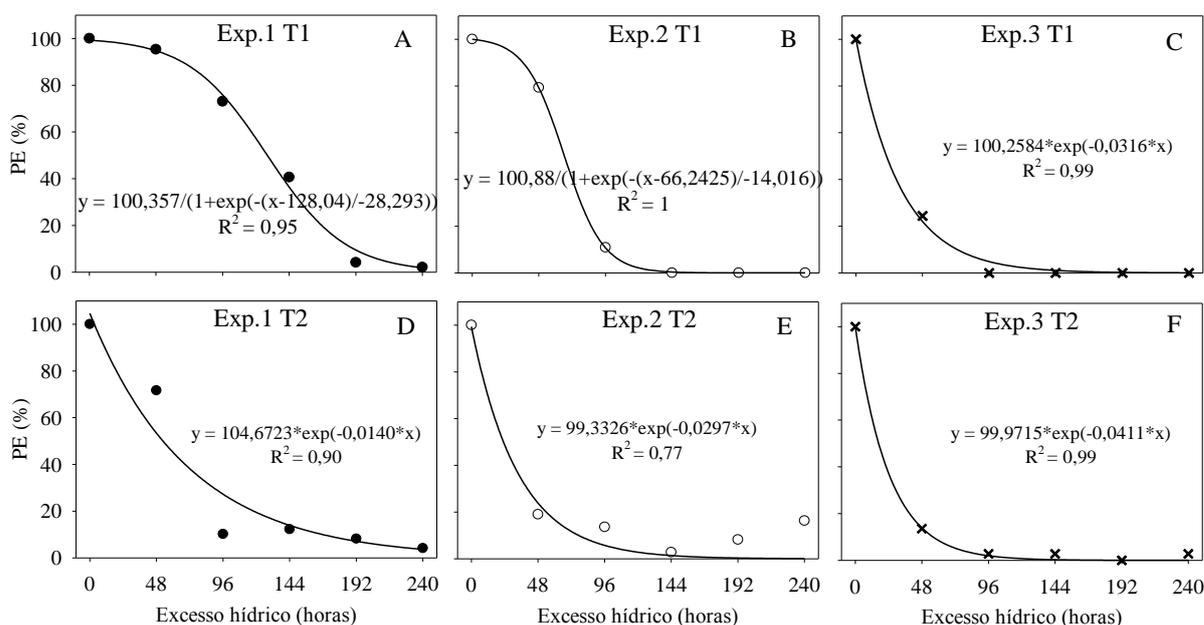


Figura 3 – Porcentagem de emergência (PE) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1) e 3 dias após a semeadura (T2). Santa Maria, RS, 2013.

A Figura 3 apresenta a tendência de redução da porcentagem de emergência das sementes viáveis em função do excesso hídrico, sendo a tendência representada por curva sigmoidal ou exponencial. Para o excesso hídrico iniciado no dia da emergência não houve regressão com coeficientes significativos para nenhum dos experimentos, embora tenha apresentado diferença nas médias do fator A (Tabela 3). Com o aumento do tempo de excesso hídrico aplicado no dia da semeadura (T1), dos experimentos 1 e 2 houve redução sigmoidal da PE (Figuras 3A e 3B). Já no tratamento T1 do experimento 3 o excesso hídrico causou redução exponencial da emergência (Figura 3C), o que ocorreu também para os três

experimentos quando o excesso foi iniciado aos três dias após a semeadura (T2) (Figuras 3D, 3E e 3F).

No experimento 3 a redução da emergência foi mais acentuada, sendo o excesso hídrico de 48 horas responsável pela emergência de apenas 22 e 13,9% das sementes viáveis, respectivamente para os tratamentos T1 e T2 do fator A (Figuras 3C e 3F). Já nos tratamentos T1 e T2 do experimento 1, 48 horas de excesso hídrico reduziram a PE para 95,3 e 71,6%, enquanto que no experimento 2 esses tratamentos apresentaram PE de 79,3 e 18,9%, respectivamente. Além disso, pode-se ressaltar que houve redução de até 100% na emergência do girassol, com respostas distintas nos três experimentos. Resultados semelhantes foram encontrados por Sung (1995), que estudando o efeito do encharcamento do solo na soja encontrou que 24 e 48 horas de encharcamento reduziram a emergência em até 50 e 100%, respectivamente.

Considerando os três experimentos, além de verificar que no experimento 3 ocorreu maior redução da emergência com um mesmo número de horas de excesso hídrico, também ficou evidenciado que nos três experimentos o excesso hídrico teve efeito severo sobre a emergência das plantas quando o processo germinativo já havia começado (T2), seguido pelo excesso aplicado no dia da semeadura (T1). Portanto, o excesso hídrico ocorrendo na data da semeadura não é tão prejudicial como a sua ocorrência na metade do processo germinativo. Esse resultado está de acordo com o encontrado para a cultura da soja por Wuebker; Mullen; Koehler (2001), em que no encharcamento sobre as sementes que já começaram o processo germinativo, a redução da germinação foi significativamente maior do que nas sementes recém semeadas. Isso ocorre pelo fato de que após o primeiro pico de embebição da semente, a respiração e atividade enzimática aumentam, havendo maior demanda por O₂ (WAMPLE; DAVIS, 1983).

A temperatura média do ar foi mais alta no experimento 3, o que contribuiu para que houvesse menor emergência (Figura 4). Segundo Wample e Davis, (1983), a maior temperatura do ar aumenta a atividade enzimática e o metabolismo das sementes de girassol. As sementes então, por ocasião do excesso hídrico, tem o suprimento insuficiente de oxigênio para as atividades metabólicas, o que inviabiliza a emergência (KENNEDY; RUMPHO; FOX, 1992). Há comprovação com outras culturas mostrando que a temperatura do ar influencia nos efeitos do excesso hídrico na germinação de culturas, sendo que tanto a soja (HOU; THSENG, 1991) quanto o milho (FAUSEY; MCDONALD, 1985) sofreram maior redução da emergência quando o excesso hídrico durante o subperíodo semeadura-emergência

foi acompanhado de temperatura de 25°C do que a temperaturas de 15 e 10°C, respectivamente.

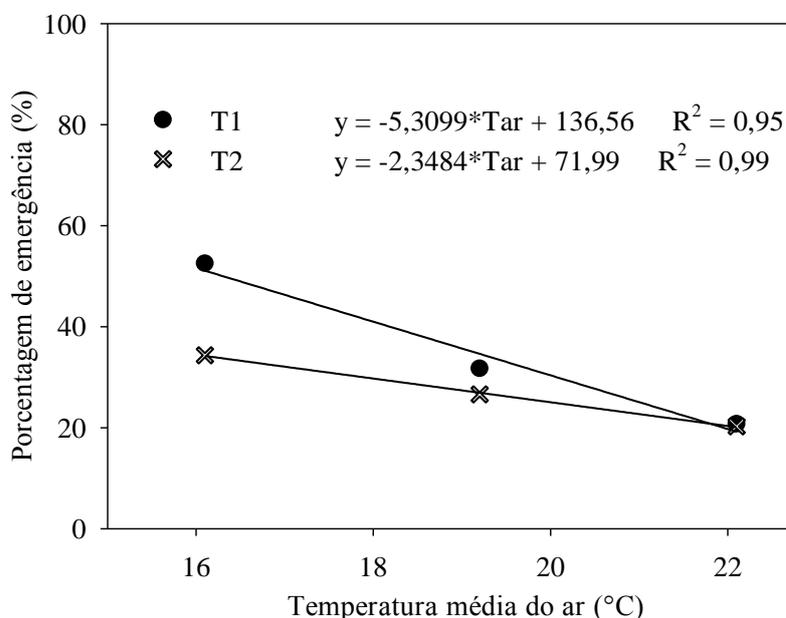


Figura 4 – Porcentagem média de emergência de plantas de girassol submetidas a excesso hídrico na data da sementeira (T1) e três dias após a sementeira (T2) em função da temperatura média do ar durante três experimentos conduzidos em casa de vegetação de setembro a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.

Assim, pode-se concluir que a redução da germinação do girassol pelo excesso hídrico responde diferentemente para as durações de excesso, para os diferentes estágios em que ocorre, e pelas condições relativas a época de sementeira, levando em conta que a variação de temperatura do ar em função da época de sementeira, pode potencializar as perdas causadas por excesso hídrico.

Ao analisar a velocidade de emergência, verificou-se que os tratamentos apresentaram respostas semelhantes à porcentagem de emergência. Os tratamentos T1 e T2 apresentaram os menores valores nos três experimentos (Tabela 4), sendo que o excesso hídrico de 48 horas foi suficiente para afetar significativamente o índice de velocidade de emergência (IVE). Períodos maiores de excesso hídrico causaram uma redução do IVE ainda maior. No experimento 1, além de T1 e T2, o tratamento T3 apresentou diferença significativa no IVE para a maioria dos níveis de D, pelo fato da porcentagem de emergência ter sido menor

(Tabela 3). Os tratamentos TEST, T4 e T5 não apresentaram diferença significativa entre si nos três experimentos, enquanto o T3 também não apresentou diferença nos experimentos 2 e 3 (Tabela 4).

Na Figura 5 visualizam-se as curvas de tendência do IVE em relação ao aumento do tempo de excesso hídrico, semelhantes às curvas da porcentagem de emergência, sendo que o IVE depende da PE. Nota-se uma rápida redução do IVE com 48 horas de excesso hídrico (Figuras 5C, 5D, 5E e 5F), com redução exponencial do IVE chegando a valores próximos de zero. Já no tratamento T1 nos experimentos 1 e 2, as curvas que melhor se ajustaram ao IVE foram sigmoidais, não havendo uma redução tão acentuada, embora o excesso hídrico de 96 horas apresentasse grande redução no IVE (Figuras 5A e 5B).

A germinação e emergência dependem de vários fatores, inclusive temperatura, o que justifica as diferenças entre os experimentos. No geral, a tendência de redução do IVE foi similar a da PE. Houve redução do IVE, devido a menor porcentagem de emergência e ao seu atraso. Em outras culturas, a exemplo de soja, trigo e milho foram constatados atrasos da emergência pelo encharcamento de 72 horas (LANGAN; PENDLETON; OPLINGER, 1986). No girassol, 48 horas de excesso hídrico foram suficientes para alterar o IVE, que variou entre experimentos e estágios de desenvolvimento (Tabela 4), mostrando-se mais sensível.

O IVE foi afetado de maneira semelhante a PE. Excesso hídrico por 48 horas pode afetar fortemente a PE e o IVE, sendo que esse efeito é mais significativo quando o excesso ocorre após o início do processo germinativo do que logo após a semeadura. O primeiro experimento teve menor redução da PE e do IVE em razão da temperatura não ser muito elevada, em relação ao segundo e terceiro experimentos, pois com o aumento da atividade enzimática por causa do calor, as sementes provavelmente ficam mais vulneráveis ao excesso hídrico.

Tabela 4 - Médias do índice de velocidade de emergência de plantas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Índice de velocidade de emergência-----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico (horas)-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Experimento 1	TEST	9,17 a*	9,49 a	8,88 a	9,45 a	9,48 a
	T1	6,99 b	2,13 c	0,68 c	0,04 b	0,06 c
	T2	1,28 c	0,33 d	0,67 c	0,50 b	0,14 c
	T3	7,68 b	8,19 b	7,63 b	8,79 a	6,79 b
	T4	9,48 a	9,86 a	9,87 a	9,95 a	9,87 a
	T5	8,93 a	9,69 a	9,25 a	9,61 a	9,77 a
	CV (%)	11,86				
Experimento 2	TEST	11,79 a	12,12 a	11,84 a	11,92 a	11,97 a
	T1	6,59 b	0,31 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b
	T2	1,40 c	1,08 b	0,37 b	0,44 b	1,05 b
	T3	11,87 a	11,84 a	12,04 a	11,65 a	11,58 a
	T4	12,22 a	11,97 a	12,41 a	12,04 a	11,89 a
	T5	12,66 a	11,78 a	12,36 a	11,59 a	11,87 a
	CV (%)	10,31				
Experimento 3	TEST	9,52 a	9,54 a	9,60 a	9,44 a	9,77 a
	T1	0,68 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b
	T2	0,69 b	0,18 b	0,08 b	0,00 b	0,18 b
	T3	9,43 a	9,94 a	9,09 a	10,09 a	9,45 a
	T4	9,84 a	9,83 a	10,11 a	10,19 a	10,37 a
	T5	9,86 a	10,08 a	9,75 a	10,36 a	10,25 a
	CV (%)	7,78				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

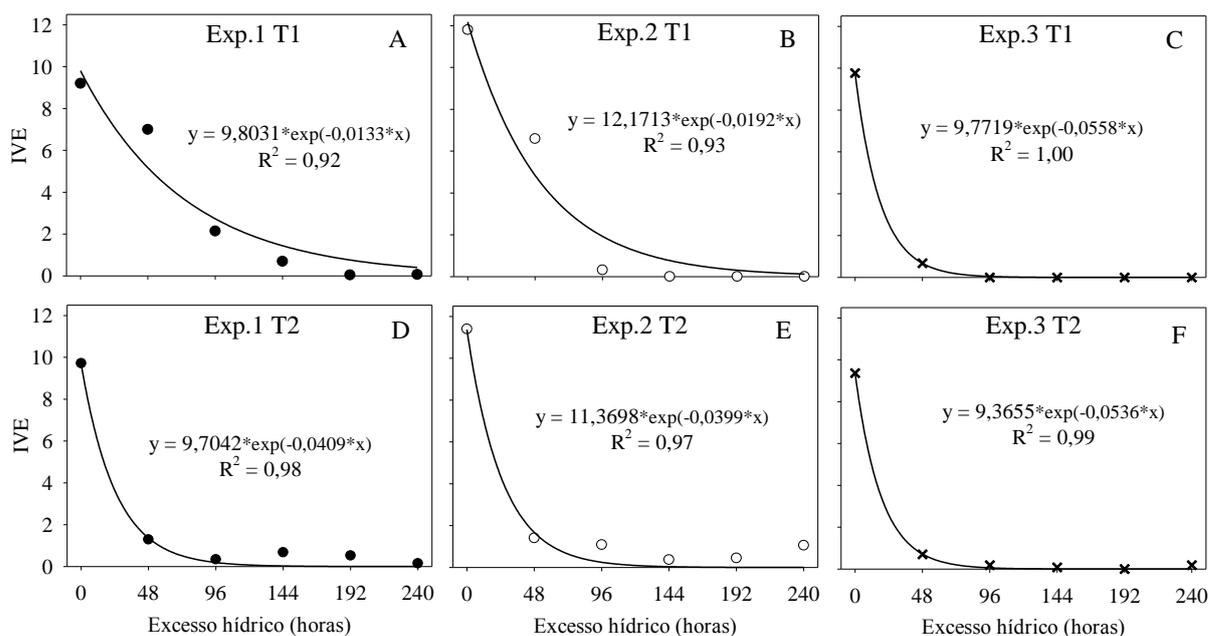


Figura 5 – Índice de velocidade de emergência (IVE) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1) e 3 dias após a semeadura (T2). Santa Maria, RS, 2013.

4.1.3 Crescimento da parte aérea do girassol sob excesso hídrico

A Tabela 5 apresenta os valores do quadrado médio da análise de variância da área foliar (AF), altura de plantas (AP) e número final de folhas (NF). As interações entre os fatores foram todas significativas pelo teste F ($p < 0,05$). Assim, os resultados são apresentados para os três experimentos desdobrando-se os níveis do fator A (estágio) dentro de D (duração) e os níveis do fator D dentro de A.

Na Tabela 6 é apresentado o desdobramento de A em D nos três experimentos. A maior redução de AF nos três experimentos ocorreu para os tratamentos T1 e T2, justamente pelo fato de a emergência das plantas ter sido menor e comprometido a população de plantas por área. Nos tratamentos em que o excesso hídrico do solo ocorreu após a emergência das plantas, a redução, embora menor que nos tratamentos T1 e T2, foi significativa em vários tratamentos.

Tabela 5 - Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: área foliar (AF), número de folhas (NF) e altura de planta (AP) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.

Fontes de variação	Quadrado Médio		
	AF	NF	AP
A	8733,15*	401,27*	3382,87*
D	4683,97*	112,99*	1032,15*
E	3278,81*	15,12*	681,74*
A x D	411,34*	28,84*	255,51*
A x E	855,79*	17,11*	214,24*
D x E	781,21*	10,86*	111,16*
A x D x E	67,16*	4,82*	50,93*
Coeficiente de variação (%)	15,82	18,48	23,06
Média geral	25,14 dm ² m ⁻²	8,38 folhas	23,03 cm

A = Estágio de desenvolvimento na aplicação do excesso hídrico; D = Tempo de excesso hídrico; E = Experimento; A x D = interação entre estágio de desenvolvimento e tempo de excesso hídrico; A x E = interação entre estágio de desenvolvimento e experimento; D x E = interação entre tempo de excesso hídrico e experimento; A x D x E = interação entre os três fatores. * Significativo a 5% de probabilidade de erro no teste F.

No experimento 1 a redução de AF foi mais significativa a partir de 48 horas de excesso hídrico no T2 e a partir de 96 horas no T1 (Tabela 6). Com o excesso hídrico iniciado quando as plantas alcançaram o estágio V2 (T4) não houve diferença, enquanto que o início do excesso hídrico na data da emergência das plantas (T3) reduziu significativamente a AF com 240 horas de excesso hídrico. No experimento 2, também houve maior redução da AF nos tratamentos T1 e T2 sendo que a partir de 48 horas de excesso hídrico foram suficientes para redução significativa da AF. Os tratamentos T3 e T4 diferiram estatisticamente da TEST a partir de 48 horas de excesso e a T5 a partir de 96 horas. Os tratamentos T3, T4 e T5 não diferiram entre si quanto à média de AF a partir de 96 horas, tendo, portanto, reduções de AF semelhantes. No experimento 3, a exemplo dos outros, os tratamentos T1 e T2 tiveram as menores médias, a partir de 48 horas de excesso hídrico. Para os tratamentos T3, T4 e T5 em relação à TEST houve diferença significativa apenas a partir de 96 horas de excesso hídrico. Na maioria dos níveis de D, os tratamentos T3, T4 e T5 não diferiram entre si, sendo que apenas para 240 horas de excesso hídrico houve uma redução significativa da AF para o T5. Tanto no experimento 2 quanto no experimento 3, o girassol submetido ao estresse por excesso hídrico em qualquer dos estágios de desenvolvimento por 96 horas ou mais, tem sua área foliar final reduzida.

Tabela 6 - Médias da área foliar de plantas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Área foliar (dm ² m ⁻²)-----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Experimento 1	TEST	25,44 a*	24,60 b	27,18 a	25,77 a	26,39 a
	T1	24,53 a	15,45 c	6,91 b	0,14 c	0,34 c
	T2	12,29 b	1,72 d	3,02 b	2,18 c	0,78 c
	T3	23,79 a	27,73 a	26,80 a	31,26 a	22,66 b
	T4	26,63 a	30,70 a	25,24 a	28,11 a	28,28 a
	T5	27,20 a	24,77 b	23,80 a	18,07 b	19,90 b
	CV (%)	17,08				
Experimento 2	TEST	40,23 a	40,67 a	40,86 a	41,04 a	40,50 a
	T1	26,73 b	1,91 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	T2	4,64 c	3,95 c	0,67 c	1,08 c	2,47 c
	T3	27,98 b	29,02 b	27,24 b	22,87 b	20,98 b
	T4	27,13 b	22,21 b	22,64 b	21,72 b	17,87 b
	T5	34,94 a	23,85 b	26,01 b	19,99 b	25,46 b
	CV (%)	20,80				
Experimento 3	TEST	46,15 a	58,04 a	56,82 a	46,66 a	47,01 a
	T1	7,10 b	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 d
	T2	5,53 b	0,61 c	0,26 c	0,00 c	0,51 d
	T3	34,34 a	26,90 b	25,72 b	28,38 b	25,29 b
	T4	37,45 a	29,09 b	30,24 b	27,77 b	21,91 b
	T5	34,01 a	29,51 b	27,97 b	18,54 b	14,36 c
	CV (%)	28,09				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

Na Figura 6 podem ser visualizados os efeitos do excesso hídrico sobre a AF em função do número de horas de excesso hídrico. Foram mais acentuados os efeitos negativos sobre a AF quando o excesso ocorreu logo após a sementeira e após o início da germinação (Figuras 6A, 6B, 6C, 6D, 6E e 6F). Nessa fase, as falhas na emergência foram responsáveis pela redução da AF final, chegando a valores próximos a zero com 48 horas de excesso hídrico no tratamento T1 dos experimentos 2 e 3. Portanto, excesso hídrico nessa fase é extremamente prejudicial ao girassol, pois reduz drasticamente o estande de plantas.

Para os tratamentos T3 e T4 do experimento 1 não houve redução significativa das médias de AF com o aumento do número de horas de excesso hídrico (Figuras 6G e 6J). Entretanto para os demais tratamentos aplicados após a emergência das plantas (Figuras 6M, 6H, 6K, 6N, 6I, 6L e 6O), todos tiveram tendência de redução da AF com o aumento do excesso hídrico. No tratamento T5 do experimento 1 e no tratamento T3 do experimento 2 houve redução linear da AF, enquanto que nos demais tratamentos a redução da AF é descrita por uma função exponencial. Um fato que deve ser destacado é de que a AF dos tratamentos T3, T4 e T5 não diferiu muito entre os experimentos, sendo que a principal diferença está no aumento da AF da testemunha (Figura 7C).

Nos tratamentos T3, T4 e T5 do experimento 3 foi verificado que com 48 horas de excesso hídrico a redução da AF foi próxima a 40% da AF da testemunha, enquanto que com 96 horas essa redução foi próxima a 50%. Nos tratamentos T4 e T5 do experimento 2, a redução da AF foi menor do que no experimento 3, embora a redução da AF com 48 horas tenha sido próxima a 25% e em 96 horas próxima a 40% em relação à testemunha.

A redução de AF quando a aplicação do excesso hídrico ocorreu nos estágios iniciais de desenvolvimento, vem principalmente em consequência da redução da fotossíntese. Conforme Orchard e Jessop (1984), a expansão foliar do girassol reduz muito quando o excesso hídrico ocorre nos estágios V3 e V6, sendo que também reduz significativamente a fotossíntese do girassol com 48 horas de excesso hídrico (GRASSINI et al., 2007). Isso também foi constatado por Yasumoto et al. (2011), que afirma que o encharcamento na fase de estabelecimento (V2) suprime o crescimento de girassol, sendo o tratamento que mais prejudicou a AF do girassol. Esses resultados confirmam o resultado encontrado no presente estudo, em que a AF é fortemente reduzida com ocorrência de excesso hídrico.

Na cultura do milho, Zaidi; Rafique; Singh (2003) verificaram que o efeito negativo do excesso hídrico foi mais pronunciado no estágio V2 seguido pelo V7, apresentando alta mortalidade de plantas, redução da área foliar e altura de plantas e queda na produção de biomassa. Nas culturas do trigo (MALIK et al., 2002) e do sorgo (ORCHARD; JESSOP, 1984) os estágios iniciais foram os mais prejudiciais para a AF, pois em ambas culturas o excesso causou redução do perfilhamento, além da formação de folhas de menor tamanho no trigo. Na cultura da soja, o excesso hídrico aplicado em V2 foi mais prejudicial à AF do que nos estágios subsequentes (SCHÖFFEL, 1997). Shimono et al. (2012) constataram redução de até 30% no número de folhas da haste principal na cultura da soja nos tratamentos com excesso hídrico, o que resultou numa grande redução da AF. De modo semelhante, ocorre no

girassol no atual trabalho, em que o excesso hídrico nas fases iniciais de desenvolvimento reduz fortemente a AF, embora sem queda de folhas.

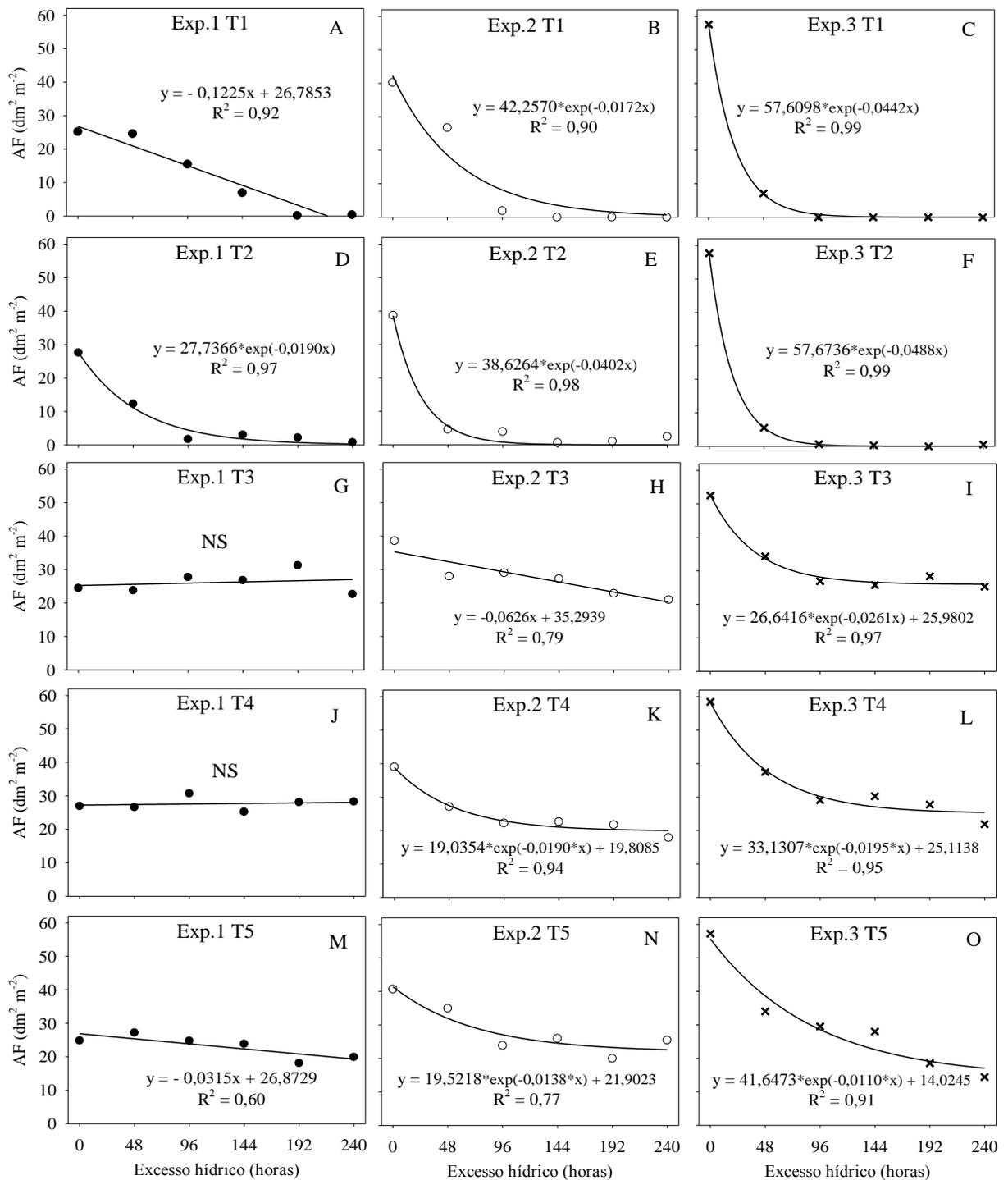


Figura 6 – Área foliar (AF) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

Nos experimentos 2 e 3, os tratamentos T4 e T5 apresentaram queimaduras nas folhas, provavelmente causadas por estresse foto-oxidativo (Figura 7B). Esse tipo de dano foi observado em plantas, sob excesso hídrico, de tomate e berinjela (BANSAL; SRIVASTAVA, 2012) e feijão guandu (LIN et. al, 2004). Na Figura 7A, pode ser visualizado o murchamento foliar ocorrido no girassol submetido a excesso hídrico. Na maioria das espécies de plantas submetidas ao excesso hídrico, as folhas murcham em poucas horas em função do fechamento estomático que é uma das primeiras respostas de defesa da planta (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). O fechamento estomático em defesa ao estresse é semelhante ao da deficiência hídrica, em que as raízes não conseguem suprir a demanda de água nas folhas em função da anoxia nas células radiculares.



Figura 7 – Murchamento foliar (A), dano foto-oxidativo nas folhas (B), parte aérea e raiz de planta (C) sem (C, esquerda) e com estresse (C, direita), e crescimento de raízes secundárias e adventícias na superfície do solo (D) como respostas do girassol ao excesso hídrico em vaso em casa de vegetação. Santa Maria, RS, 2013.

Embora a AF tenha diminuído na maioria dos tratamentos, o NF não foi afetado significativamente em nenhum dos três experimentos quando o excesso hídrico foi aplicado após a emergência das plantas (Tabela 7). Somente nos tratamentos T1 e T2 foram observadas reduções no número final de folhas, o que está relacionado ao menor número de plantas emergidas por área. Nos experimentos 2 e 3, os tratamentos T1 e T2 sofreram redução do NF em relação à testemunha a partir de 96 e 48 horas de excesso hídrico, respectivamente. No experimento 1 essa redução foi observada a partir de 192 e 96 horas de excesso nos tratamentos T1 e T2, respectivamente.

No desdobramento dos níveis do fator D dentro do fator A (Figura 8) se tem uma visibilidade melhor do efeito do número de horas de excesso hídrico sobre o NF. Quando o excesso foi aplicado logo após a semeadura (Figuras 8A, 8B e 8C) houve redução sigmoïdal da emergência, sendo que no tratamento T1 do experimento 1 a redução não foi tão drástica quanto nos experimentos 2 e 3 (Figura 8). Já com excesso aplicado aos 3 DAS (T2) a redução do NF foi mais significativa com menor duração do excesso hídrico.

Os tratamentos aplicados após a emergência das plantas não tiveram grande tendência de redução do NF, sendo que nos tratamentos T3, dos experimentos 2 e 3, T4, do experimento 2 e T5 do experimento 2, a regressão não foi significativa (Figuras 8H, 8I, 8J e 8N). Para os tratamentos T5, do experimento 1 e 3, e T4 dos experimentos 2 e 3 (Figuras 8M, 8K, 8L e 8O) houve uma leve tendência de redução do NF com o aumento do período de excesso hídrico, enquanto que para o tratamento T3 do experimento 1 houve leve tendência de aumento (Figura 8G). Assim, verifica-se que a maior redução do NF ocorre quando o excesso ocorre antes da emergência, afetando assim a quantidade de plantas e conseqüentemente a quantidade de folhas. Após a emergência o efeito do excesso hídrico no número de folhas é mínimo e só ocorre nos estágios V2 e V4 sob condições de encharcamento mais prolongado.

Tabela 7 - Médias do número de folhas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		----- Número de folhas -----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Experimento 1	TEST	9,25 a*	9,19 a	9,25 a	9,31 a	9,18 a
	T1	9,25 a	8,25 a	7,37 a	1,00 c	1,25 b
	T2	7,87 a	3,75 b	4,25 b	4,50 b	2,01 b
	T3	9,19 a	9,38 a	9,81 a	10,06 a	10,19 a
	T4	9,88 a	9,75 a	8,25 a	10,00 a	9,38 a
	T5	9,00 a	9,25 a	8,75 a	8,38 a	8,50 a
	CV (%)	----- 21,72 -----				
Experimento 2	TEST	10,67 a	10,84 a	10,83 a	10,84 a	10,83 a
	T1	9,50 a	4,67 b	1,00 b	1,00 c	1,00 b
	T2	3,67 b	3,67 b	2,67 b	4,33 b	1,51 b
	T3	9,50 a	9,67 a	10,00 a	9,33 a	9,50 a
	T4	10,33 a	9,67 a	9,33 a	9,67 a	8,83 a
	T5	10,50 a	9,50 a	9,33 a	8,50 a	9,67 a
	CV (%)	----- 18,64 -----				
Experimento 3	TEST	10,17 a	12,33 a	12,33 a	9,83 a	9,67 a
	T1	9,50 a	1,00 b	1,00 b	1,00 b	1,00 b
	T2	4,17 b	2,67 b	2,00 b	1,00 b	2,33 b
	T3	10,67 a	9,33 a	9,50 a	9,67 a	10,17 a
	T4	11,00 a	10,33 a	11,00 a	10,17 a	9,67 a
	T5	10,83 a	10,67 a	10,17 a	9,00 a	8,83 a
	CV (%)	----- 22,7 -----				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

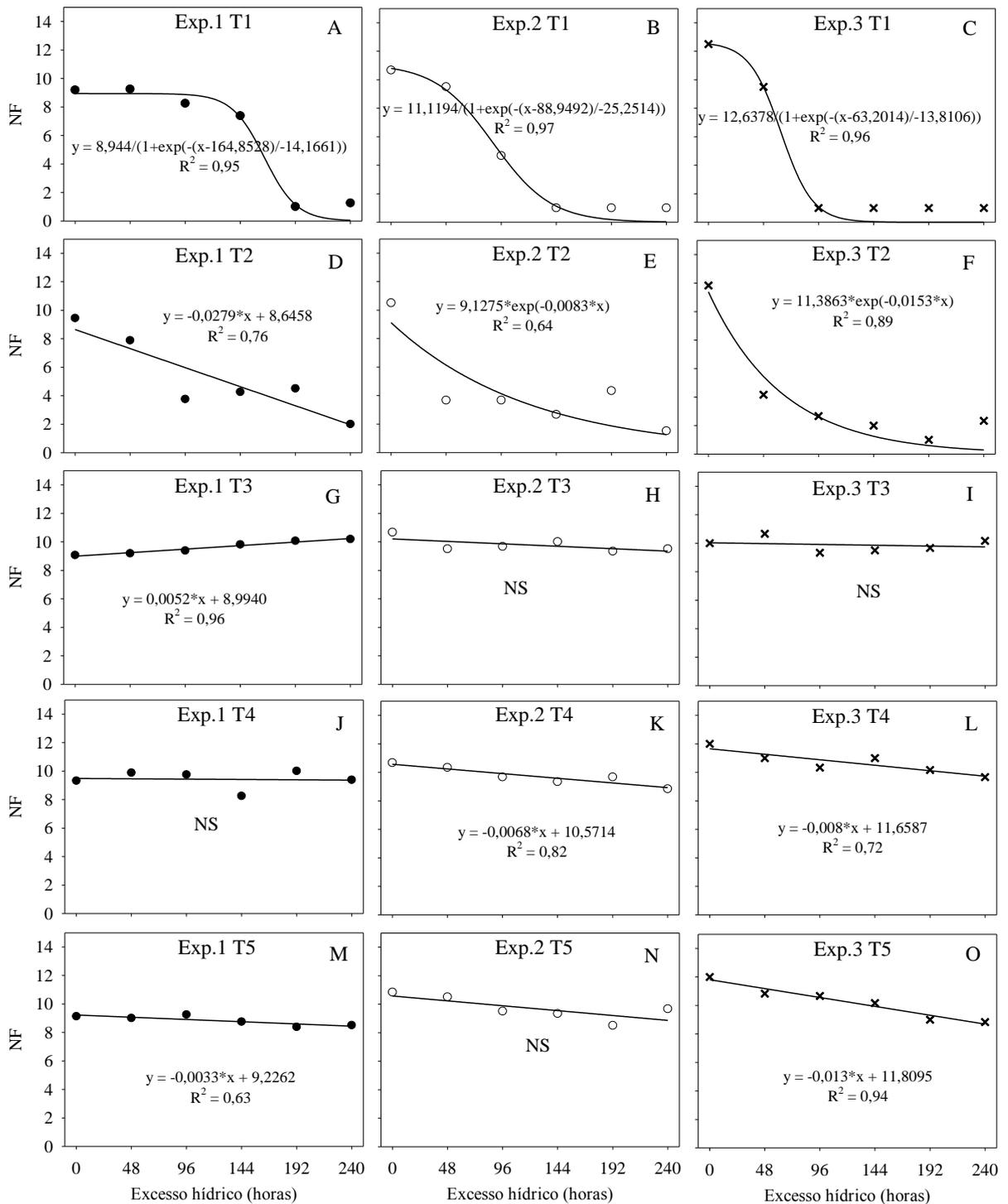


Figura 8 – Número de folhas (NF) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a sementeira (T1), 3 dias após a sementeira (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

Isso leva ao entendimento de que o excesso hídrico causa redução na AF principalmente em razão da redução do tamanho das folhas e não quanto ao número de folhas por planta. Sendo assim, o desenvolvimento da planta seria pouco ou quase nada afetado pelo excesso hídrico. Resultados obtidos por Torres e Diedenhofen (1981) indicam que o desenvolvimento do girassol é afetado pelo encharcamento do solo, sendo que os genótipos demonstram atraso no florescimento. Yasumoto et al. (2005) afirmam que o número de dias do ciclo até o florescimento do girassol aumentou em média 3,8 dias quando o excesso foi aplicado no estabelecimento inicial das plantas em relação a testemunha. Assim, o excesso hídrico pode causar pequeno atraso no desenvolvimento do girassol, dependendo da sua duração e do estágio em que ele ocorre, confirmando os resultados encontrados. A exemplo disso, Schöffel (1997) encontrou que plantas de soja estressadas por excesso hídrico em V2 tiveram menor desenvolvimento vegetativo, com número final de nós pouco menor.

A altura das plantas (AP) foi outra variável que sofreu pouco efeito do excesso hídrico (Tabela 8). Os tratamentos T1 e T2 foram os mais afetados. No experimento 1 a AP foi significativamente afetada a partir de 192 e 96 horas de excesso, respectivamente para os tratamentos T1 e T2. Já nos experimentos 2 e 3 a redução significativa da AP começou com períodos de excesso hídrico de 96 e 48 horas para os tratamentos T1 e T2, respectivamente. Nos tratamentos aplicados na emergência das plantas (T3) ou após (T4 e T5), apenas no experimento 3 com 240 horas de excesso hídrico ocorreu redução significativa da AP em relação a testemunha. Nos demais experimentos e níveis do fator D, não houve diferença significativa da AP para esses tratamentos.

A redução da AP foi significativamente maior para os tratamentos com excesso hídrico iniciado antes da emergência das plantas do que após a emergência (Figura 9). Verifica-se no tratamento T1 dos experimentos 1 e 2 (Figuras 9A e 9B) uma redução da AP de forma sigmoideal, enquanto que nos tratamentos T1, do experimento 3, e T2 dos experimentos 2 e 3 (Figuras 9C, 9E e 9F) a redução da AP foi exponencial. Já no tratamento T2 do experimento 1, a curva que melhor se ajustou foi a linear (Figura 9D). Portanto, o efeito adverso de excesso hídrico a partir da semeadura se manifesta mais severo na AP nos primeiros 2 a 4 dias de encharcamento, principalmente sob temperatura mais alta (experimentos 2 e 3).

Nos tratamentos aplicados após a emergência, as plantas sofreram redução significativa da AP apenas para os tratamentos T4, dos experimentos 2 e 3, T3 e T5 do experimento 3 (Figuras 9K, 9I, 9L, 9O), com leve tendência de redução da AP com o aumento

do excesso hídrico. Nos tratamentos T3, T4 e T5, do experimento 1, T3 e T5 do experimento 2 (Figuras 9G, 9J, 9M, 9H e 9N) a análise de regressão não foi significativa.

Tabela 8 - Médias da altura de plantas de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Altura de plantas (cm)-----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Experimento 1	TEST	23,25 a*	24,12 a	23,28 a	23,25 a	24,69 a
	T1	22,87 a	19,56 a	18,62 a	2,06 c	2,81 b
	T2	17,68 a	7,94 b	12,00 b	11,94 b	4,56 b
	T3	22,06 a	23,88 a	24,41 a	23,16 a	23,75 a
	T4	23,81 a	23,75 a	23,62 a	23,31 a	23,94 a
	T5	22,88 a	24,44 a	22,19 a	24,38 a	24,50 a
	CV (%)	21,65				
Experimento 2	TEST	30,84 a	29,66 a	31,83 a	30,08 a	30,59 a
	T1	26,58 a	14,17 b	0,00 b	0,00 b	0,00 b
	T2	8,08 b	10,00 b	9,67 b	5,45 b	6,32 b
	T3	28,50 a	29,83 a	30,17 a	23,17 a	25,92 a
	T4	28,25 a	26,17 a	22,67 a	25,75 a	24,00 a
	T5	30,50 a	25,92 a	27,17 a	22,25 a	25,25 a
	CV (%)	25,58				
Experimento 3	TEST	34,42 a	36,67 a	34,67 a	35,25 a	36,17 a
	T1	30,50 a	0,00 b	0,00 b	0,00 b	0,00 c
	T2	12,58 b	6,50 b	4,25 b	0,00 b	5,42 c
	T3	33,00 a	32,33 a	30,67 a	29,75 a	26,83 b
	T4	34,00 a	30,58 a	29,17 a	29,42 a	27,25 b
	T5	30,92 a	30,67 a	27,92 a	27,16 a	26,92 b
	CV (%)	20,78				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

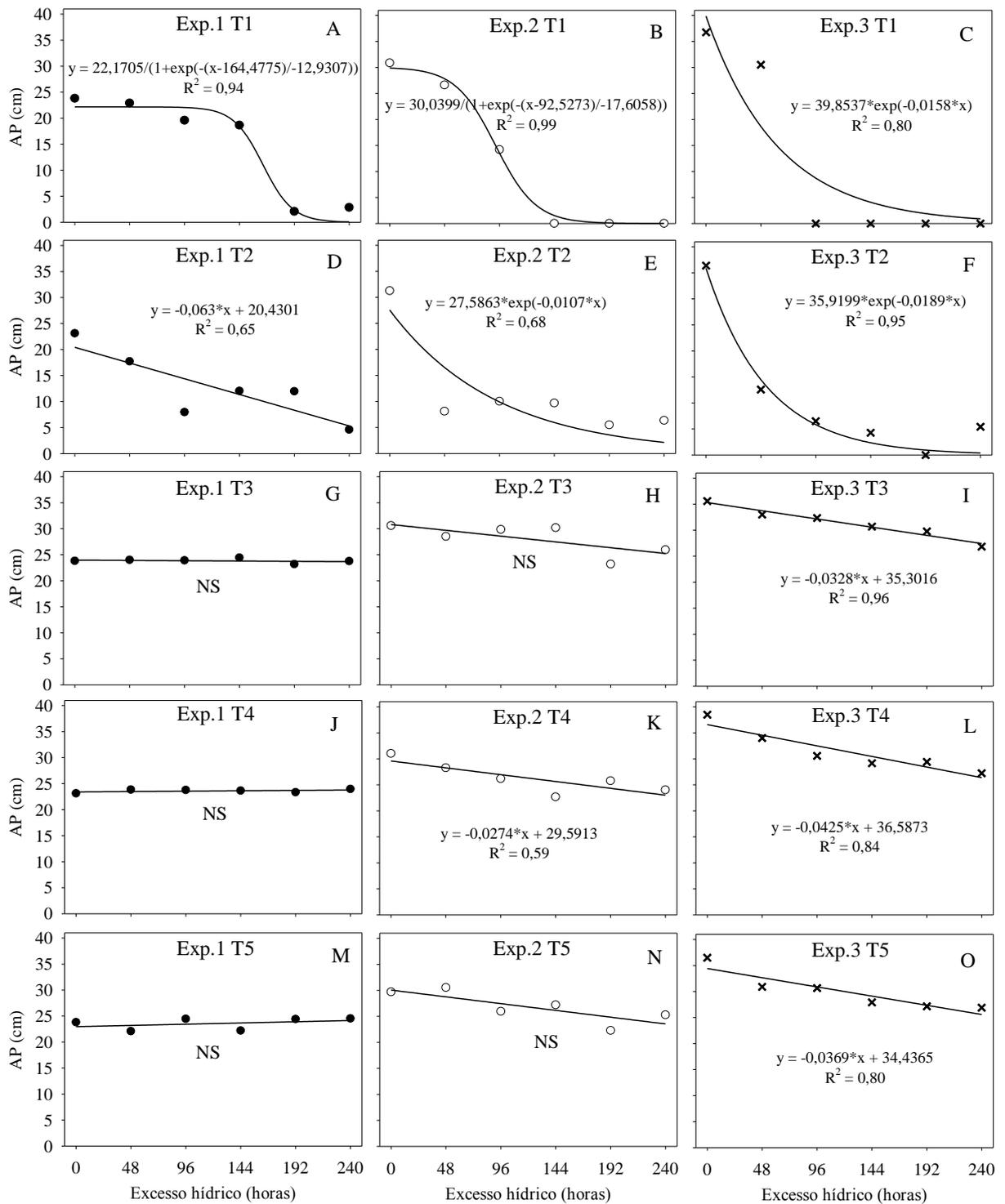


Figura 9 – Altura de plantas (AP) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

Portanto, não houve um efeito drástico do excesso hídrico sobre a altura de plantas quando este ocorreu no sistema radicular plantas já emergidas. Entretanto, pode haver uma pequena redução da AP em função do aumento do tempo de excesso hídrico no solo. Segundo Orchard e Jessop (1984), o excesso hídrico no girassol em estágio V6 e no sorgo em estágio V5, causou redução significativa da altura de plantas. Para a soja foi verificada a redução da altura de plantas de 23 a 30 % nos tratamentos com excesso hídrico (SHIMONO et al., 2012). Sendo assim, é possível que a altura das plantas de girassol seja significativamente afetada pelo excesso hídrico, principalmente quando a temperatura foi mais alta e, portanto, favorável a maiores taxas de respiração.

4.1.4 Crescimento de raízes do girassol sob excesso hídrico

Os resultados do comprimento máximo de raízes e do comprimento da raiz principal não apresentaram interação significativa para os três fatores (Tabela 9). Além disso, verificou-se que o fator E (experimentos, semeados em diferentes datas) também não foi significativo, indicando que não houve diferença entre os três experimentos. Porém, houve interação significativa entre A e D, sendo desdobrados os níveis de um fator dentro do outro e as médias dos três experimentos apresentadas na Tabela 10 e na Figura 10.

O comprimento máximo de raízes (CMR) não é significativamente afetado quando o excesso hídrico persiste por até 192 horas a partir da emergência ou do estágio de duas folhas (V2), e por até 240 horas a partir do estágio V4. Cultivos submetidos a excesso hídrico aos 3 dias após a semeadura por um período de 48 horas ou mais, sofrem redução do CMR. Por sua vez, o excesso hídrico no dia da semeadura provoca a redução do CMR se este persistir por 96 horas ou mais (Tabela 10).

Tabela 9 - Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: comprimento máximo de raízes (CMR) e comprimento da raiz principal (CRP) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.

Fontes de variação	Quadrado Médio	
	CMR	CRP **
A	1819,48*	425,80*
D	330,01*	259,75*
E	8,03	10,49
A x D	147,74*	42,28*
A x E	98,70*	12,30*
D x E	80,16*	4,55
A x D x E	33,95	5,38
Coeficiente de variação (%)	27,41	26,19
Média geral	16,93 cm	8,61 cm

A = Estágio de desenvolvimento na aplicação do excesso hídrico; D = Tempo de excesso hídrico; E = Experimento; A x D = interação entre estágio de desenvolvimento e tempo de excesso hídrico; A x E = interação entre estágio de desenvolvimento e experimento; D x E = interação entre tempo de excesso hídrico e experimento; A x D x E = interação entre os três fatores. * Significativo a 5% de probabilidade de erro no teste F. ** CRP referente aos experimentos 2 e 3.

Tabela 10 - Médias do comprimento máximo de raiz de girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

-----Comprimento máximo de raiz (cm)-----						
Tratamento	-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----					
	48 h	96 h	144 h	192 h	240 h	
Média dos experimentos**	TEST	21,16 a*	21,60 a	22,48 a	18,88 a	21,75 b
	T1	17,52 a	8,97 b	6,06 b	1,14 b	2,17 d
	T2	10,22 b	5,61 b	7,02 b	5,51 b	4,83 c
	T3	17,79 a	17,83 a	18,07 a	18,42 a	18,46 b
	T4	17,28 a	18,89 a	20,19 a	19,81 a	21,42 b
	T5	18,40 a	20,99 a	20,72 a	24,42 a	25,41 a
	CV (%)	27,41				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). ** Média dos três experimentos em razão da interação não significativa entre os três fatores.

A diminuição do CMR é sigmoidal com o aumento da duração do excesso hídrico aplicado após a semeadura (Figura 10A) e exponencialmente quando aplicado aos 3 DAS (Figura 10B). Quando o período do excesso hídrico foi aplicado na emergência das plantas (T3), ou após, nos estágios V2 (T4) e V4 (T5), a análise de regressão não foi significativa, indicando que o estresse nestas fases não afeta o CMR (Figuras 10C, 10D e 10E).

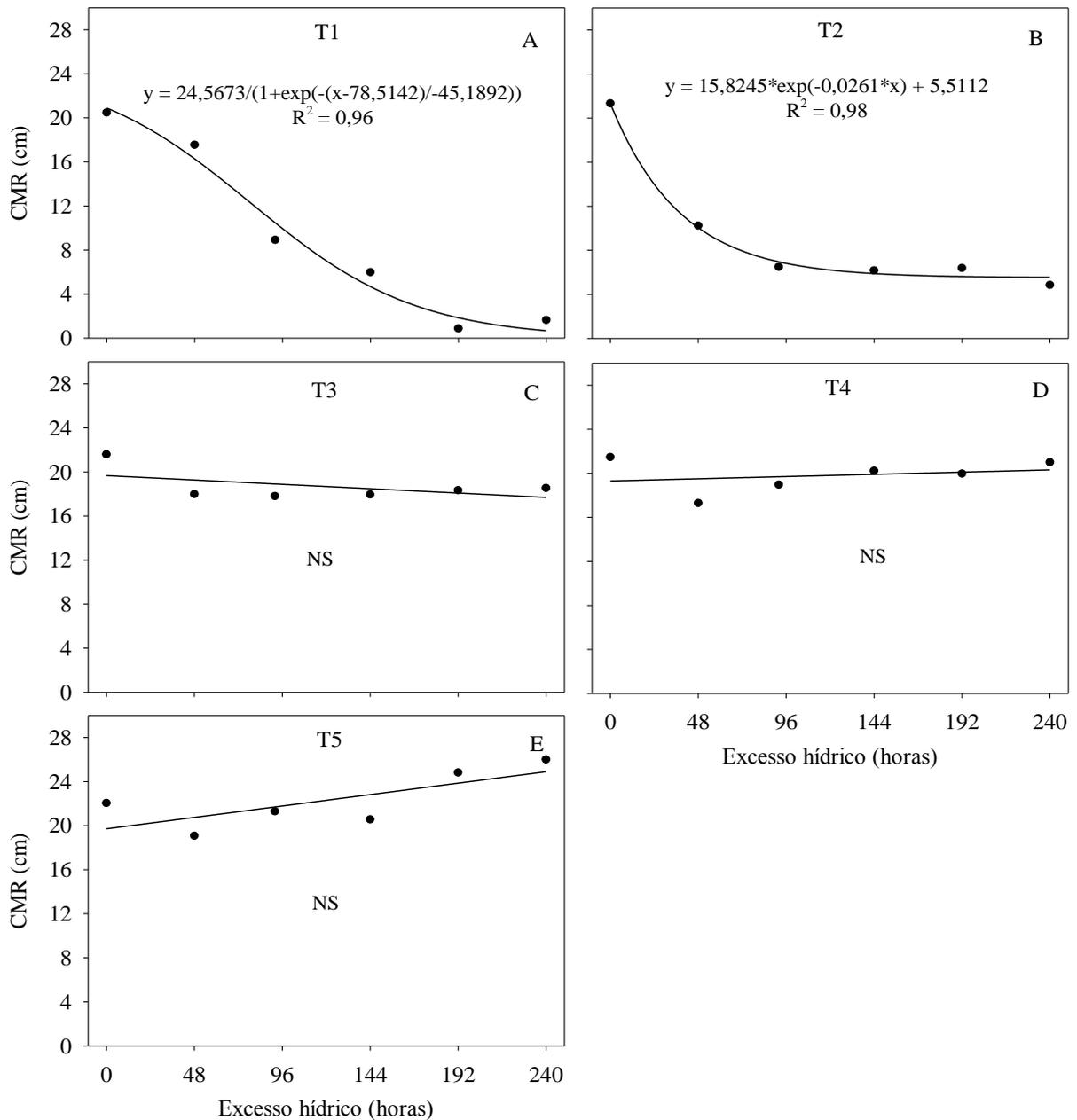


Figura 10 – Comprimento máximo de raiz (CMR) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

O comprimento da raiz principal (CRP) sofreu maior influência negativa do excesso hídrico do que o CMR. Novamente os piores resultados ocorreram nos tratamentos T1 e T2, pois a população de plantas foi afetada na emergência (Tabela 11). O tratamento T2 apresentou menor CRP a partir de 48 horas de excesso hídrico, enquanto o T1 a partir de 96 horas. Já nos tratamentos aplicados após a emergência das plantas, 48 horas de excesso hídrico foram suficientes para a redução do CRP, sendo que os valores nos tratamentos T3, T4 e T5 foram significativamente menores do que a TEST (Tabela 11). Os tratamentos T3, T4 e T5 não diferiram entre si, com exceção do T3 no nível de 96 horas do fator D, que diferiu de T4, T5 e dos demais tratamentos.

Tabela 11 - Médias do comprimento da raiz principal do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

-----Comprimento da raiz principal (cm)-----						
Média dos experimentos **	Tratamento	-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
	TEST	13,50 a*	13,60 a	13,97 a	13,67 a	13,62 a
	T1	13,23 a	3,50 d	0,00 d	0,00 c	0,00 c
	T2	2,75 c	1,54 d	3,00 c	2,60 c	1,63 c
	T3	8,08 b	6,71 c	7,34 b	7,52 b	7,04 b
	T4	9,85 b	10,19 b	8,48 b	8,46 b	7,39 b
	T5	10,31 b	10,19 b	9,34 b	9,95 b	8,32 b
	CV (%)	26,19				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). ** Média dos dois experimentos em razão da interação não significativa entre os três fatores.

O CRP reduziu exponencialmente com o aumento do período de excesso hídrico na maioria dos tratamentos, com exceção do T1, que reduziu de forma sigmoide e já com 96 ou mais horas de excesso hídrico o crescimento da raiz principal foi minimizado (Figura 11). No tratamento T2 os valores de CRP foram mínimos com qualquer tempo de excesso hídrico, alcançando no máximo 3 cm com 48 horas de excesso hídrico (Figura 11B), enquanto no tratamento T1 esse valor foi alcançado por acentuado decréscimo com 96 horas de excesso hídrico (Figura 11A). Nos tratamentos aplicados após a emergência houve redução

significativa do CRP em relação à testemunha (Tabela 11 e Figuras 11C, 11D e 11E), mas não tão drástica quanto nos tratamentos T1 e T2, havendo uma tendência de estabilização do CRP em torno de valores médios de todos os tempos de aplicação do excesso hídrico de 7,15, 7,84 e 9,23 cm, respectivamente para os tratamentos T3, T4 e T5. Nesse caso, já a partir de 48 horas a redução do CRP foi bastante acentuada.

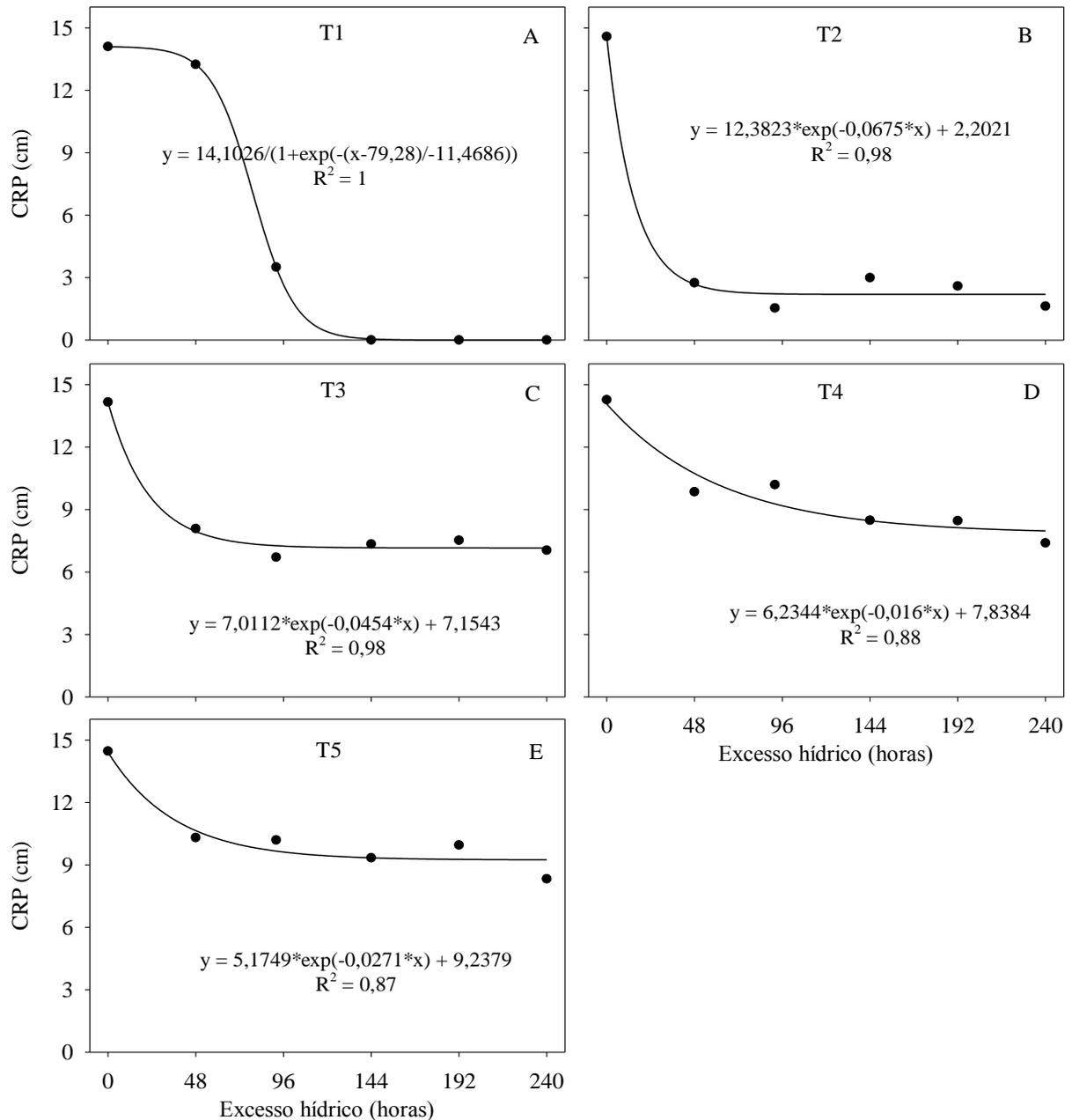


Figura 11 – Comprimento da raiz principal (CRP) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

Os resultados permitem entender que a planta busca se adaptar a nova condição imposta pelo excesso hídrico. Há redução do crescimento da raiz principal, como pode ser observado na Figura 7C, porém, as raízes secundárias continuam a crescer, principalmente próximas da superfície, pois buscam estar próximas as camadas com O₂ suficiente para atender condições mínimas de respiração. Nos experimentos houve um crescimento das raízes secundárias e formação de raízes adventícias (Figura 7D) em detrimento do crescimento da raiz principal e da parte aérea, como observado nas culturas da soja (PIRES et al., 2002) e do trigo (MALIK et al. 2002; THOMPSON et al. 1992). Na soja, ocorre a emissão de numerosas raízes adventícias superficiais quando o excesso hídrico ocorre principalmente na fase vegetativa (SCHÖFFEL, 1997).

Conforme Vartapetian e Jackson (1997) é comum em plantas submetidas ao excesso hídrico a formação de raízes adventícias, na tentativa de contornar o problema da falta de O₂ nas raízes. No girassol não é diferente. Rogers et al. (1984) apud Yasumoto et al. (2011) relataram que o girassol é capaz de produzir muitas raízes adventícias em solo úmido. Orchard (1976) apud Orchard e Jessop (1984) também relatam o potencial do girassol produzir raízes adventícias, destacando o aumento da tolerância a excessos hídricos posteriores.

4.1.5 Acúmulo de biomassa seca do girassol sob excesso hídrico

Na análise de variância para a biomassa seca das plantas, a interação entre os três fatores foi significativa para a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST), não sendo significativa para a massa seca das raízes (MSR) (Tabela 12). Portanto, as médias de MSPA e MST foram desdobradas para cada um dos níveis de cada fator, enquanto que para a MSR foram utilizadas as médias dos três experimentos.

Tabela 12 - Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.

Fontes de variação	Quadrado Médio		
	MSPA	MSR	MST
A	2978,42*	84,14*	4020,15*
D	1964,27*	50,22*	2632,82*
E	684,42*	5,37*	706,02*
A x D	136,05*	5,10*	183,78*
A x E	274,88*	4,48*	342,81*
D x E	257,59*	3,96*	321,83*
A x D x E	20,92*	0,67	27,17*
Coeficiente de variação (%)	17,93	30,39	17,98
Média geral	14,06 g m ⁻²	2,33 g m ⁻²	16,39 g m ⁻²

A = Estágio de desenvolvimento na aplicação do excesso hídrico; D = Tempo de excesso hídrico; E = Experimento; A x D = interação entre estágio de desenvolvimento e tempo de excesso hídrico; A x E = interação entre estágio de desenvolvimento e experimento; D x E = interação entre tempo de excesso hídrico e experimento; A x D x E = interação entre os três fatores. * Significativo a 5% de probabilidade de erro no teste F.

A MSPA teve maior redução nos tratamentos antes da emergência (T1 e T2) nos três experimentos (Tabela 13). No experimento 1, o tratamento T1 passou a se diferenciar da testemunha a partir de 96 horas de excesso hídrico, enquanto o T2 diferiu a partir de 48 horas. Nos experimentos 2 e 3 já a partir de 48 horas de excesso hídrico os tratamentos T1 e T2 foram significativamente menores que a testemunha. Com excesso hídrico ocorrendo após a emergência das plantas, tratamentos T3, T4 e T5, houve redução significativa em relação a testemunha para todos os níveis de D, nos experimentos 2 e 3 (Tabela 13). No primeiro experimento a MSPA nos tratamentos T3 e T5 diferiram da testemunha apenas a partir de 192 e 240 horas de excesso hídrico, enquanto os demais não diferiram da testemunha.

Tabela 13 - Médias da massa seca de parte aérea do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Massa seca da parte aérea (g m ⁻²)-----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Experimento 1	TEST	15,72 a*	15,48 a	16,08 a	16,25 a	16,07 a
	T1	15,30 a	7,88 b	3,40 b	0,05 c	0,18 c
	T2	6,02 b	0,79 c	1,59 b	1,26 c	0,37 c
	T3	12,55 a	15,74 a	14,23 a	13,73 a	11,31 b
	T4	14,24 a	15,44 a	14,14 a	13,98 a	14,09 a
	T5	14,06 a	13,20 a	11,53 a	10,81 b	11,06 b
	CV (%)	19,46				
Experimento 2	TEST	25,37 a	25,64 a	24,92 a	26,49 a	25,56 a
	T1	14,76 b	1,27 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	T2	2,64 c	1,96 c	0,83 c	0,78 c	1,44 c
	T3	16,76 b	17,08 b	17,09 b	11,64 b	11,79 b
	T4	14,17 b	11,29 b	11,20 b	11,39 b	9,47 b
	T5	19,44 b	13,37 b	13,38 b	10,22 b	14,25 b
	CV (%)	23,88				
Experimento 3	TEST	31,60 a	33,60 a	34,49 a	32,90 a	30,54 a
	T1	3,51 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	T2	3,18 c	0,56 c	0,25 c	0,00 c	0,51 c
	T3	16,37 b	12,54 b	11,78 b	12,95 b	11,31 b
	T4	17,53 b	13,31 b	13,24 b	12,54 b	9,04 b
	T5	15,16 b	13,03 b	12,09 b	8,60 b	7,90 b
	CV (%)	23,93				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

As funções de regressão do fator D podem ser visualizadas na Figura 12. Nota-se que as curvas são muito similares as da Figura 6, com resultados semelhantes aos da AF. No tratamento T1 dos experimentos 1 e 2 (Figuras 12A e 12B) houve redução sigmoideal da MSPA, enquanto nos tratamentos T1, do experimento 3, e T2 dos experimentos 1, 2 e 3 (Figuras 12C, 12D, 12E e 12F) a redução da MSPA foi exponencial. Nas Figuras 12G e 12J verifica-se que o número de horas sob excesso hídrico não afetou significativamente a MSPA

dos tratamentos T3 e T4 do experimento 1. Já nos demais tratamentos aplicados após a emergência das plantas houve redução significativa da MSPA. Nos tratamentos T4 e T5 do experimento 2 (Figuras 12K e 12N) e tratamentos T3, T4 e T5 do experimento 3 (Figuras 12I, 12L e 12O), houve redução exponencial da MSPA, sendo observada a redução de 50% de MSPA em relação a testemunha, em apenas 48 horas de excesso hídrico. Os tratamentos T5, do experimento 1, e T3, do experimento 2, apresentam tendência linear de redução da MSPA (Figuras 12M e 12H). A exemplo da AF, a MSPA dos tratamentos T3, T4 e T5 não diferiu muito entre os experimentos, sendo que a principal diferença está no aumento da MSPA da testemunha. No experimento 3 a soma térmica foi maior, dando condições para a testemunha crescer mais rápido, enquanto as plantas sob excesso hídrico estagnaram o crescimento.

Resultados similares foram encontrados para o girassol por Orchard e Jessop (1984), em que o excesso hídrico nos estágios V3 e V6 inibiu a expansão foliar e extensão do caule, e foi observada redução na massa seca da parte aérea, embora não ocorresse senescência foliar nesses estágios. Também foi observada redução da massa seca da parte aérea em razão do excesso hídrico nas culturas do trigo (MALIK et al., 2002; DICKIN; WRIGTH, 2008) do milho (ZAIDI; RAFIQUE; SINGH, 2003), da soja (SHIMONO et al., 2012) e do algodão (BANGE; MILROY; THONGBAI, 2004).

O crescimento da parte aérea foi maior no experimento 3, porém a redução da massa seca foi mais significativa. Nesse experimento a temperatura média foi maior, e por isso, a testemunha cresceu mais do que o dobro dos tratamentos com excesso hídrico. Além disso, a radiação solar também foi aumentando do experimento 1 para o experimento 3, favorecendo a fotossíntese. Nas culturas da soja (SHIMONO et al., 2012) e da alfafa (BARTA; SULC, 2002), o impacto do excesso hídrico sobre o crescimento das plantas aumenta sob condição de altos níveis de radiação solar, enquanto níveis mais baixos não foram tão danosos. Isso se observou também nesse experimento. Nos experimentos com maior disponibilidade de radiação os efeitos do excesso hídrico foram mais danosos ao crescimento da planta de girassol do que nos com menor disponibilidade média de radiação solar.

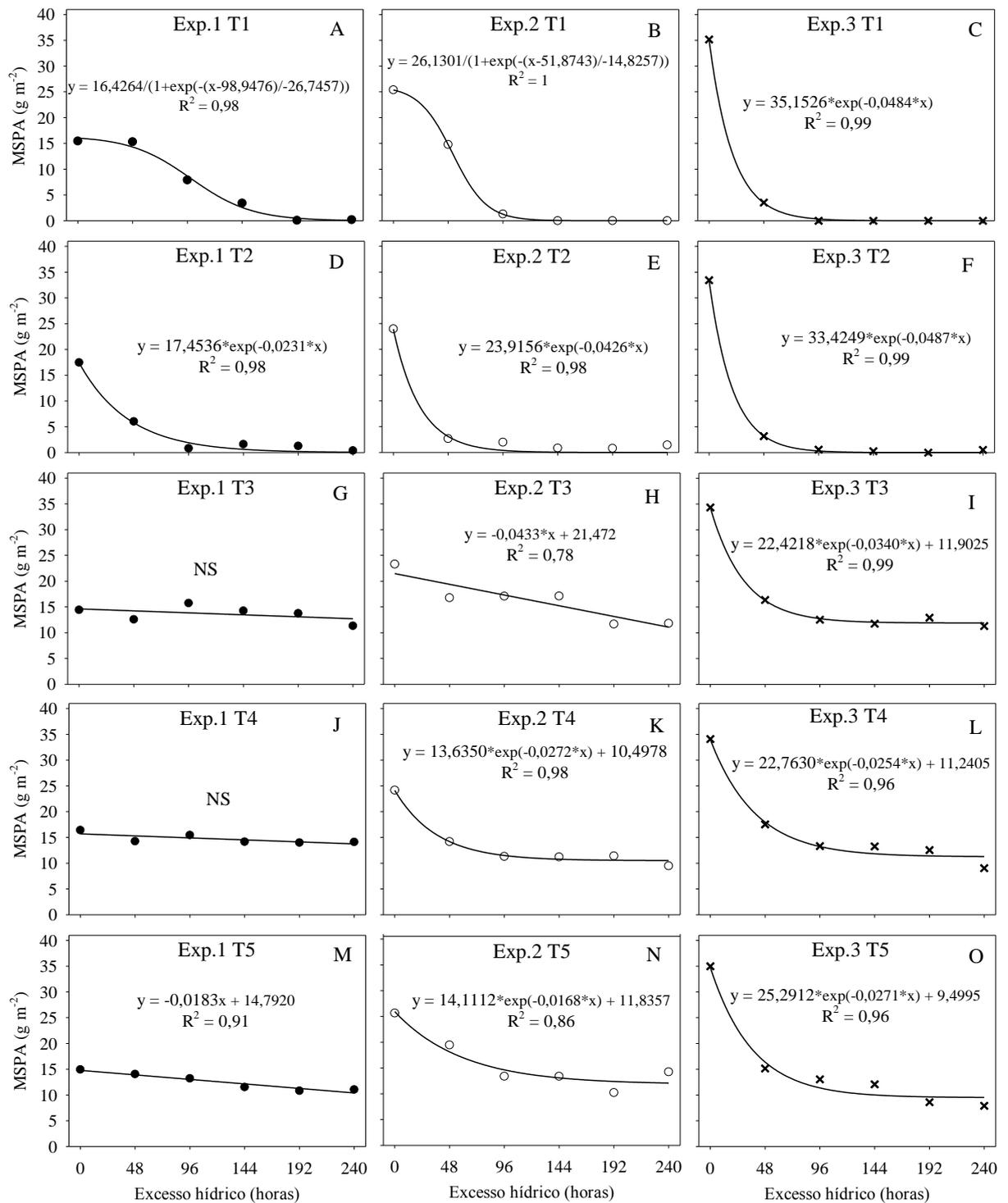


Figura 12 – Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

O excesso hídrico causou redução significativa da MSR em quase todos os níveis de duração do excesso hídrico (Tabela 14). Os tratamentos mais afetados negativamente foram T1 e T2, que diferiram da testemunha já com 48 horas de excesso hídrico. Os tratamentos T3, T4 e T5 não diferiram entre si com 48 e 96 horas de excesso hídrico, sendo que a partir de 144 horas de excesso o tratamento T5 apresentou maior MSR que os tratamentos T3 e T4. Além disso, o tratamento T5 com 240 horas de excesso hídrico, não diferiu significativamente em MSR da testemunha.

Tabela 14 - Médias da massa seca de raiz do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Massa seca da raiz (g m ⁻²)-----				
		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
Tratamento		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Média dos experimentos**	TEST	3,99 a*	4,27 a	4,47 a	4,17 a	4,03 a
	T1	1,82 b	0,43 c	0,19 d	0,01 d	0,01 c
	T2	0,60 c	0,14 c	0,15 d	0,08 d	0,07 c
	T3	2,02 b	2,12 b	1,93 c	1,80 c	1,52 b
	T4	2,02 b	2,14 b	1,92 c	1,79 c	1,80 b
	T5	2,21 b	2,49 b	2,89 b	3,08 b	4,12 a
CV (%)		30,39				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05). ** Média dos três experimentos em razão da interação não significativa entre os três fatores.

Na Figura 13 é apresentado o efeito do excesso hídrico sobre a MSR em diferentes estágios de desenvolvimento. Na maioria dos tratamentos houve redução exponencial da MSR, com exceção da aplicação em V4 (T5). Observa-se grande redução da MSR principalmente quando o excesso foi promovido logo após a sementeira e aos 3 dias após a sementeira (Figuras 13A e 13B). Em relação à testemunha, o tratamento T1 causou redução da MSR em mais de 50% (Figura 13A) e o tratamento T2 próximo a 80% com apenas 48 horas de excesso (Figura 13B). Nos tratamentos aplicados na emergência e no estágio V2, a MSR teve uma redução exponencial e uma tendência de estabilização em torno de 2 g m⁻²

com o aumento do número de horas sob excesso hídrico (Figuras 13C e 13D). Nesses tratamentos o crescimento da raiz cessou com o excesso hídrico.

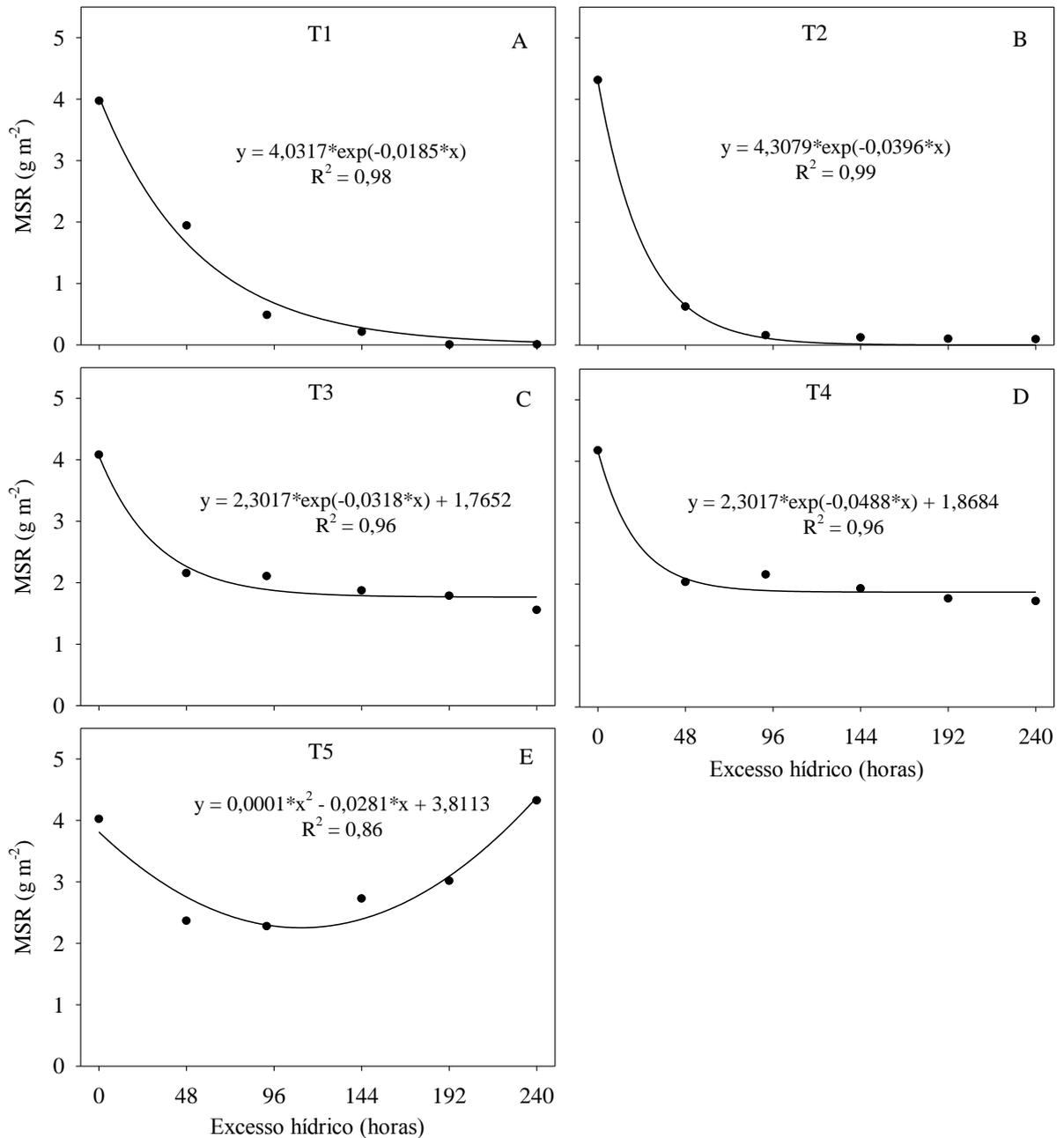


Figura 13 – Massa seca de raiz (MSR) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

Quando o excesso hídrico foi aplicado no estágio de quatro folhas (V4), houve um comportamento totalmente distinto (Figura 13E), pois com 48 e 96 horas de excesso hídrico a MSR foi drasticamente reduzida, apresentando os menores valores. Porém com o aumento da duração do excesso hídrico houve tendência de aumento da MSR (Figura 13E). Nesse estágio de desenvolvimento as plantas já possuem certa área foliar e estão aptas para um crescimento acelerado. Quando ocorreu o excesso hídrico nos tratamentos de maior duração observou-se que as plantas passaram a contornar o estresse produzindo raízes secundárias próximas a superfície do solo (Figuras 7C e 7D). Segundo Vartapetian e Jackson (1997) esse é um mecanismo de defesa da planta, produzir raízes superficiais para suprir o O₂ necessário. No girassol com excesso hídrico na antese, a biomassa de raízes foi reduzida com o encharcamento do solo, porém, plantas não sombreadas sofreram mais do que as plantas sombreadas (GRASSINI et al., 2007). Isso é mais uma prova de que a radiação solar tem o efeito de potencializar os danos por excesso hídrico sobre plantas já emergidas (BARTA; SULC, 2002; SHIMONO et al., 2012).

A massa seca total (MST) também foi afetada significativamente pelo excesso hídrico (Tabela 15). No experimento 1 a MST nos tratamentos após a emergência (T3, T4 e T5), passou a ser significativamente menor que na testemunha a partir de 192 horas de excesso hídrico (Tabela 15), enquanto os tratamentos T1 e T2 apresentassem MST significativamente menor a partir de 96 e 48 horas de excesso hídrico, respectivamente. Já nos experimentos 2 e 3 a MST foi significativamente menor nos tratamentos T3, T4 e T5 em relação à testemunha (TEST) a partir de 48 horas de excesso hídrico, não diferindo entre si. Novamente os tratamentos T1 e T2 tiveram os piores resultados, obtendo-se as menores médias, que foram significativamente distintas dos demais tratamentos.

Na Figura 14, pode se visualizar a tendência da MST com o aumento do excesso hídrico nos diferentes experimentos e níveis do fator A. Na maioria dos tratamentos a tendência de redução da MST foi significativa com o aumento do excesso hídrico. Apenas nos tratamentos T3 e T4 do experimento 1 não houve tendência significativa (Figuras 14G e 14I). Quando o excesso hídrico foi aplicado logo após a semeadura (Figuras 14A, 14B e 14C) e três dias após a semeadura (Figuras 14D, 14E e 14F), teve grande efeito sobre a MST, reduzindo-a a valores baixos e, conforme o experimento, até próximos de zero com apenas 48 horas de excesso. No tratamento T5 do experimento 1 e no tratamento T3 do experimento 2 (Figuras 14M e 14H) a tendência de redução da MST foi linear, enquanto que nos tratamentos T4 e T5 do experimento 2 (Figuras 14K e 14N) e nos tratamentos T3, T4 e T5 do experimento 3

(Figuras 14I, 14L e 14O) a redução foi exponencial. No experimento 3 com 48 horas de excesso hídrico a MST foi reduzida em mais de 50%, tendendo a estabilização próximo a 13 g m⁻², enquanto que sem excesso hídrico (TEST) a MST chegou próxima a 40 g m⁻² (Figuras 14I, 14L e 14O).

Tabela 15 - Médias da massa seca total do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Massa seca total (g m ⁻²)-----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Experimento 1	TEST	19,24 a*	19,16 a	19,40 a	19,94 a	19,72 a
	T1	18,73 a	9,17 b	4,02 b	0,06 c	0,19 c
	T2	7,21 b	0,99 c	1,84 b	1,46 c	0,43 c
	T3	14,72 a	18,30 a	16,49 a	16,36 b	13,03 b
	T4	16,68 a	18,22 a	17,01 a	16,15 b	16,66 b
	T5	17,00 a	15,77 a	14,89 a	14,26 b	15,18 b
	CV (%)	19,57				
Experimento 2	TEST	29,23 a	29,88 a	29,23 a	30,64 a	29,34 a
	T1	16,71 b	1,44 c	0,00 c	0,00 c	0,00 d
	T2	2,92 c	2,17 c	0,91 c	0,88 c	1,59 d
	T3	19,18 b	19,31 b	19,24 b	12,99 b	13,32 c
	T4	15,88 b	13,41 b	12,58 b	12,91 b	10,70 c
	T5	21,83 b	15,53 b	15,88 b	13,18 b	19,08 b
	CV (%)	24,21				
Experimento 3	TEST	36,20 a	38,75 a	39,76 a	37,84 a	34,96 a
	T1	3,96 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c	0,00 c
	T2	3,56 c	0,62 c	0,27 c	0,00 c	0,58 c
	T3	18,25 b	14,05 b	12,99 b	14,33 b	12,73 b
	T4	19,47 b	14,88 b	14,77 b	14,13 b	10,41 b
	T5	16,92 b	15,13 b	14,40 b	11,23 b	11,92 b
	CV (%)	24,89				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da semeadura; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a semeadura; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

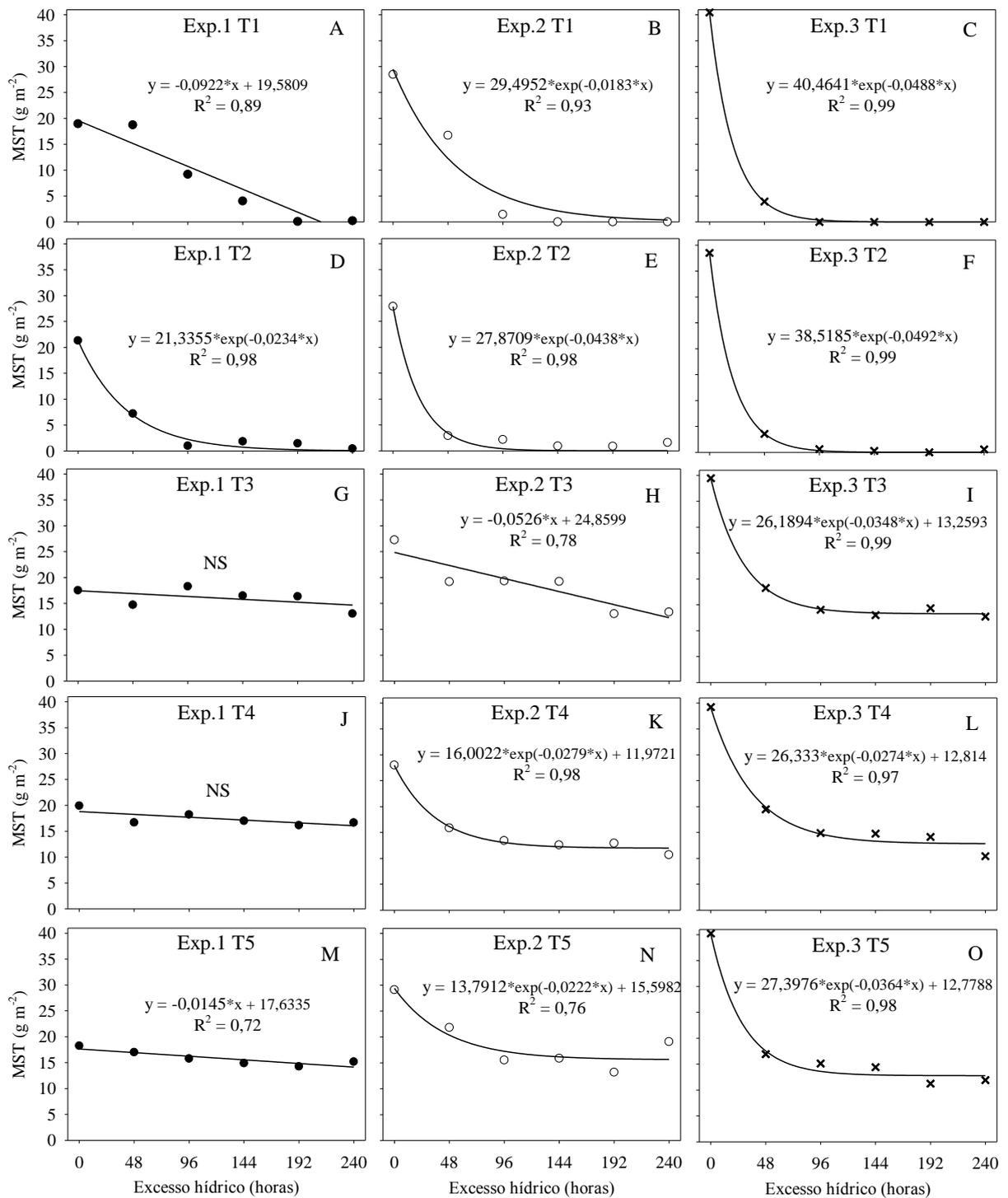


Figura 14 – Massa seca total (MST) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1, Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

O trabalho de Grassini et al. (2007) relata a redução significativa da biomassa total do girassol com o excesso hídrico na antese, além de alterar a partição de matéria seca entre parte aérea e raiz. Shimono et al. (2012) verificaram que para a cultura da soja também houve redução significativa da biomassa total, afirmando que essa redução se deu principalmente pela redução da área foliar resultante do excesso hídrico. Nesse sentido, se pode afirmar que grande parcela da redução da MST e da MSPA ocorre em razão de uma redução da AF.

Entre os três experimentos, as diferenças principais provavelmente ocorreram em razão das condições de temperatura do ar e do solo e da radiação solar, uma vez que a temperatura é responsável pela taxa de desenvolvimento da cultura, enquanto a radiação solar pode potencializar os danos causados pelo excesso hídrico (BARTA; SULC, 2002; SHIMONO et al., 2012).

O excesso hídrico nos estágios iniciais de desenvolvimento pode ser muito prejudicial ao desenvolvimento das culturas agrícolas. Zaidi; Rafique; Singh (2003) verificaram que na cultura do milho o efeito do excesso hídrico foi mais pronunciado no estágio V2, apresentando alta mortalidade de plantas, redução da área foliar e queda na produção de biomassa. Para o trigo, excesso hídrico nos estágios iniciais também causaram grande redução da biomassa (MALIK et al., 2002; DICKIN; WRIGTH, 2008). Na soja o excesso hídrico nos estágios V6 e V8 chegou a reduzir significativamente a massa seca final (FANTE et al., 2010). Da mesma forma, no girassol a matéria seca total é reduzida significativamente, observada principalmente nos experimentos 2 e 3.

4.1.6 Análise dos índices de crescimento do girassol sob excesso hídrico

Na Tabela 16 é apresentado o quadrado médio da análise de variância para alguns índices avaliados de crescimento do girassol. A relação da massa seca da parte aérea com a da raiz (PA/R) apresentou interação significativa entre os três fatores, enquanto que para a AFE e RPF a interação não foi significativa (Tabela 16). Foram desdobradas as médias dos níveis dos fatores para a PA/R nos três experimentos, enquanto para a AFE e a RPF foram desdobradas os valores médios dos três experimentos.

Tabela 16 - Quadrado médio da análise da variância para as variáveis: relação parte aérea-raiz (PA/R), área foliar específica (AFE) e razão de peso foliar (RPF) do girassol em função das diferentes fontes de variação em experimentos conduzidos de agosto a novembro de 2011. Santa Maria, RS, 2013.

Fontes de variação	Quadrado Médio		
	PA/R	AFE	RPF
A	151,85*	36,66*	0,93*
D	30,13*	5,30*	0,13*
E	61,06*	6,86*	0,04
A x D	16,99*	4,43*	0,09*
A x E	17,71*	4,05*	0,05*
D x E	5,44	1,01	0,03
A x D x E	6,59*	1,21	0,03
Coeficiente de variação (%)	36,73	32,52	29,76
Média geral	5,45 g g ⁻¹	2,86 dm ² g ⁻¹	0,43 g g ⁻¹

A = Estágio de desenvolvimento na aplicação do excesso hídrico; D = Tempo de excesso hídrico; E = Experimento; A x D = interação entre estágio de desenvolvimento e tempo de excesso hídrico; A x E = interação entre estágio de desenvolvimento e experimento; D x E = interação entre tempo de excesso hídrico e experimento; A x D x E = interação entre os três fatores. * Significativo a 5% de probabilidade de erro no teste F.

Os resultados dos três experimentos em casa de vegetação para a relação PA/R são apresentados na Tabela 17. Pode-se verificar que a PA/R apresenta maior diferença entre os tratamentos T1 e T2 em relação a TEST, sendo esses os mais afetados pelo excesso hídrico. No experimento 1 a PA/R passou a diminuir a partir de 144 e 96 horas de excesso hídrico, respectivamente para os tratamentos T1 e T2 (Tabela 17). Já o tratamento T5 diferiu da TEST a partir de 144 horas de excesso. No experimento 2 a PA/R começou a reduzir no T2 com 48 horas de excesso hídrico e no T1 com 144 horas. Já no experimento 3 essa redução significativa nos tratamentos T1 e T2 começou com 48 e 96 horas de excesso hídrico, respectivamente.

Destaca-se que nos três experimentos a relação PA/R apresentou uma significativa redução no tratamento T5 (excesso aplicado quando as plantas tinham 4 folhas – V4). A resposta das plantas com redução da PA/R começou a partir de 144 horas de excesso hídrico no experimento 1 e 192 horas de excesso nos experimentos 2 e 3. Em alguns casos, valores da relação PA/R dos tratamentos T2 e T3 foram significativamente maiores que na TEST. Isso ocorreu no experimento 1 com 96 horas de excesso e no experimento 3 com 144 horas.

Tabela 17 - Médias da relação da massa seca da parte aérea/raiz do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Relação da massa seca da parte aérea/raiz (g g ⁻¹)-----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Experimento 1	TEST	4,54 a*	4,26 b	4,89 a	4,43 a	4,45 a
	T1	4,63 a	6,26 a	5,65 a	1,53 b	2,35 b
	T2	5,02 a	1,94 b	3,06 b	3,12 b	1,54 b
	T3	6,47 a	6,74 a	6,35 a	5,85 a	6,59 a
	T4	6,09 a	5,81 a	5,03 a	6,45 a	5,54 a
	T5	4,92 a	4,12 b	3,60 b	3,18 b	2,72 b
CV (%)		35,48				
Experimento 2	TEST	6,65 a	6,20 a	6,01 a	6,49 a	6,91 a
	T1	7,90 a	5,56 a	0,00 b	0,00 c	0,00 b
	T2	3,12 b	3,12 a	3,36 b	1,79 c	2,53 b
	T3	7,02 a	8,07 a	8,22 a	8,62 a	7,92 a
	T4	8,24 a	6,53 a	8,11 a	7,39 a	7,70 a
	T5	8,09 a	6,38 a	5,32 a	3,69 b	2,94 b
CV (%)		37,81				
Experimento 3	TEST	6,98 a	6,67 a	6,54 b	6,84 a	7,15 a
	T1	7,97 a	0,00 b	0,00 d	0,00 c	0,00 b
	T2	2,75 b	2,86 b	3,57 c	0,00 c	2,79 b
	T3	8,80 a	8,41 a	9,73 a	9,46 a	7,96 a
	T4	9,08 a	8,76 a	8,65 a	7,79 a	6,74 a
	T5	8,74 a	6,24 a	5,27 b	3,33 b	1,98 b
CV (%)		32,26				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da sementeira; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a sementeira; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott (p<0,05).

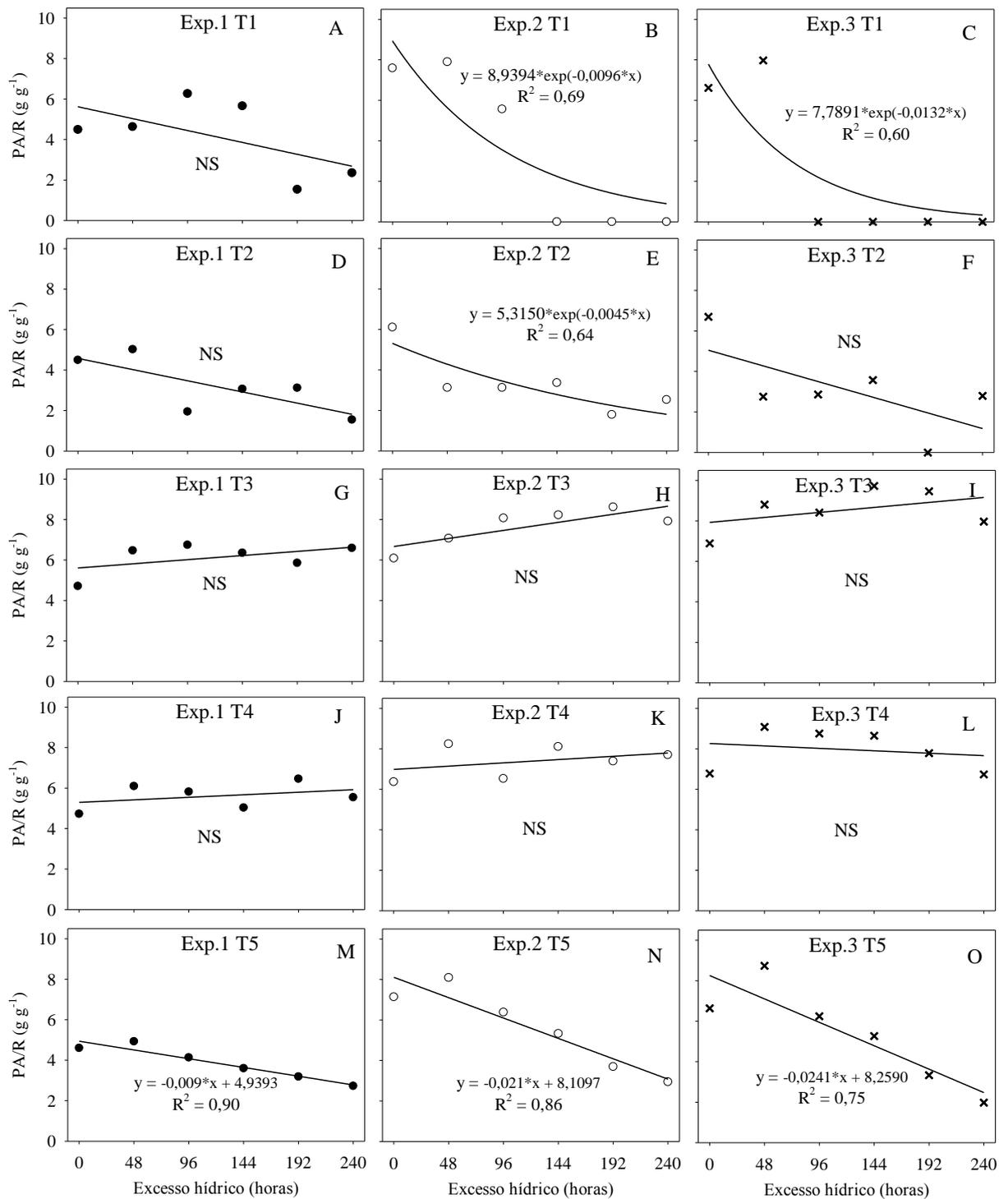


Figura 15 – Relação da massa seca da parte aérea/raiz (PA/R) de plantas de girassol nos três experimentos (Exp.1; Exp.2 e Exp.3) sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

O desdobramento dos níveis do fator D dentro do fator A podem ser visualizados na Figura 15. Nos três experimentos não houve regressão significativa com o aumento do excesso hídrico quando este foi iniciado na emergência e em V2 (Figuras 15G, 15H, 15I, 15J, 15K, 15L). No entanto, quando este foi iniciado em V4, houve uma gradativa tendência de redução da PA/R nos três experimentos (Figuras 15M, 15N e 15O). Já nos tratamentos iniciados logo após a semeadura e aos 3 DAS, os resultados de PA/R são bastante influenciados pela percentagem de emergência. Nos tratamentos T1 e T2 do experimento 2 (Figuras 15B e 15E) e T1 do experimento 3 (Figura 15C) verifica-se uma redução exponencial da PA/R, enquanto que nos tratamentos T1 e T2 do experimento 1 (Figuras 15A e 15D) e no tratamento T2 do experimento 3 (Figura 15F) a regressão não foi significativa.

Estando as plantas com um porte um pouco maior quando aplicado o excesso hídrico, houve uma resposta da planta em produzir raízes superficiais, alterando a relação PA/R como um mecanismo de adaptação (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). Há um decréscimo da massa seca da parte aérea causada pela injúria nas raízes enquanto há surgimento de raízes adventícias e superficiais. Nos experimentos com menos horas de excesso, a formação de raízes adventícias não foi tão numerosa, sendo que a relação PA/R foi em alguns casos maior do que a testemunha. Porém, quando o excesso foi mais prolongado houve uma tendência de redução da relação PA/R. Essa alteração da PA/R foi observada também para o milho (ZAIDI; RAFIQUE; SINGH, 2003) e para o trigo (MALIK et al., 2002), em que 3 dias de excesso hídrico resultou no decréscimo da massa seca da parte aérea em 43% em relação a testemunha.

A AFE média dos três experimentos realizados em casa de vegetação é apresentada na Tabela 18. Pode-se verificar que apenas os tratamentos T1 e T2 apresentaram diferença significativa em relação a testemunha a partir de 96 e 48 horas de excesso hídrico, respectivamente. Os demais tratamentos (T3, T4 e T5) não apresentaram diferença significativa entre si e tampouco em relação a testemunha, ficando evidenciado que o excesso hídrico a partir da emergência até o estágio de quatro folhas (V4) durante 48 a 240 horas não afeta a área folhar específica, mostrando que tanto a AF quanto a MSPA são afetadas negativamente na mesma proporção.

Tabela 18 - Médias da área foliar específica do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Área foliar específica (dm ² g ⁻¹)-----				
		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
Tratamento		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Média dos experimentos**	TEST	3,37 a*	3,43 a	3,30 a	3,45 a	3,34 a
	T1	3,57 a	2,32 b	0,79 c	0,27 c	0,36 c
	T2	1,81 b	0,86 c	1,70 b	1,50 b	1,13 b
	T3	3,33 a	3,52 a	3,53 a	3,27 a	3,37 a
	T4	3,31 a	3,17 a	3,65 a	3,34 a	3,50 a
	T5	3,32 a	3,48 a	3,39 a	3,54 a	3,51 a
CV (%)		-----32,52-----				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da semeadura; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a semeadura; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). ** Média dos três experimentos em razão da interação não significativa entre os três fatores.

Os tratamentos T3 e T4, aplicados na emergência e em V2, quando as plantas apresentavam duas folhas, não apresentaram regressão significativa para o aumento do excesso hídrico (Figuras 16C e 16D). Para o excesso aplicado no estágio V4 (T5) houve uma pequena tendência de aumento da AFE com o aumento do período de excesso (Figura 16 E). Os tratamentos que mais afetaram a AFE foram aplicados em T1 e T2 (Figuras 16A e 16B). Porém, esse resultado é muito dependente da emergência das plantas, pois onde não houve emergência a média foi zero, o que teria reduzido a média do tratamento. Então este resultado não indica necessariamente que a folha tenha aumentado sua espessura.

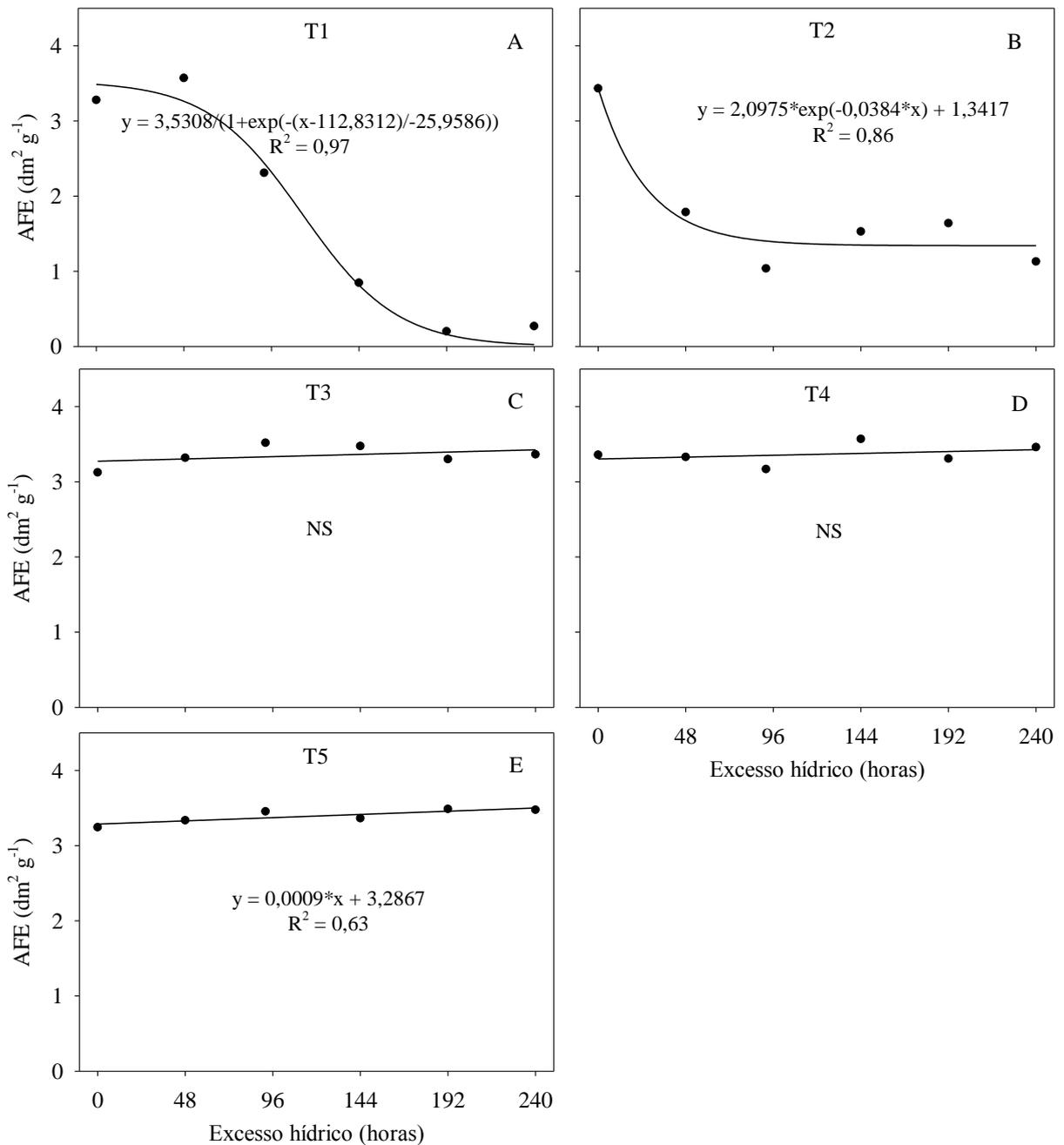


Figura 16 – Área foliar específica (AFE) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

A razão de peso foliar (RPF), que expressa a massa foliar em relação a massa total da planta, também não apresentou grande diferença entre os tratamentos (Tabela 19). Mas principalmente os tratamentos T1 e T2 apresentaram diferença média significativa em relação

a TEST, a partir de 96 e 48 horas de excesso hídrico, respectivamente. Os tratamentos T3, T4 e T5 não diferiram da TEST, com exceção do T5 com 192 e 240 horas de excesso hídrico.

Quando desdobrados os níveis de D dentro de A (Figura 17), verifica-se que o excesso aplicado antes da emergência (T1 e T2) implicou em uma grande redução da média da RPF com o aumento do tempo de excesso hídrico (Figuras 17A e 17B). Depois, somente quando aplicado no estágio V4 (T5) o excesso apresentou redução da RPF de forma linear (Figura 17E). Para os tratamentos T3 e T4 (Figuras 17C e 17D) a regressão não foi significativa.

Esses resultados mostram que a relação da massa da folha pela massa total da planta é pouco afetada quando o excesso ocorre pouco após a emergência, mas pode ser afetado quando ocorre excesso hídrico após um determinado desenvolvimento foliar da planta.

Tabela 19 - Médias da razão de peso foliar do girassol sob excesso hídrico aplicado com diferentes durações (48, 96, 144, 192 e 240 horas) em diferentes estágios iniciais do ciclo de desenvolvimento (T1, T2, T3, T4 e T5) e sem excesso hídrico na testemunha (TEST). Santa Maria, RS, 2013.

		-----Razão de peso foliar (g g ⁻¹)-----				
Tratamento		-----Tempo de excesso hídrico contínuo-----				
		48 h	96 h	144 h	192 h	240 h
Média dos experimentos**	TEST	0,51 a*	0,50 a	0,50 a	0,51 b	0,50 a
	T1	0,52 a	0,31 b	0,13 b	0,06 c	0,06 d
	T2	0,30 b	0,17 c	0,24 b	0,17 c	0,25 c
	T3	0,53 a	0,53 a	0,54 a	0,64 a	0,54 a
	T4	0,55 a	0,53 a	0,56 a	0,55 a	0,54 a
	T5	0,52 a	0,51 a	0,50 a	0,43 b	0,39 b
CV (%)		29,76				

TEST = testemunha sem excesso hídrico; T1 = excesso hídrico aplicado no dia da semeadura; T2 = excesso hídrico aplicado aos 3 dias após a semeadura; T3 = excesso hídrico aplicado no dia da emergência; T4 = excesso hídrico aplicado no estágio V2; T5 = excesso hídrico aplicado no estágio V4. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$). ** Média dos três experimentos em razão da interação não significativa entre os três fatores.

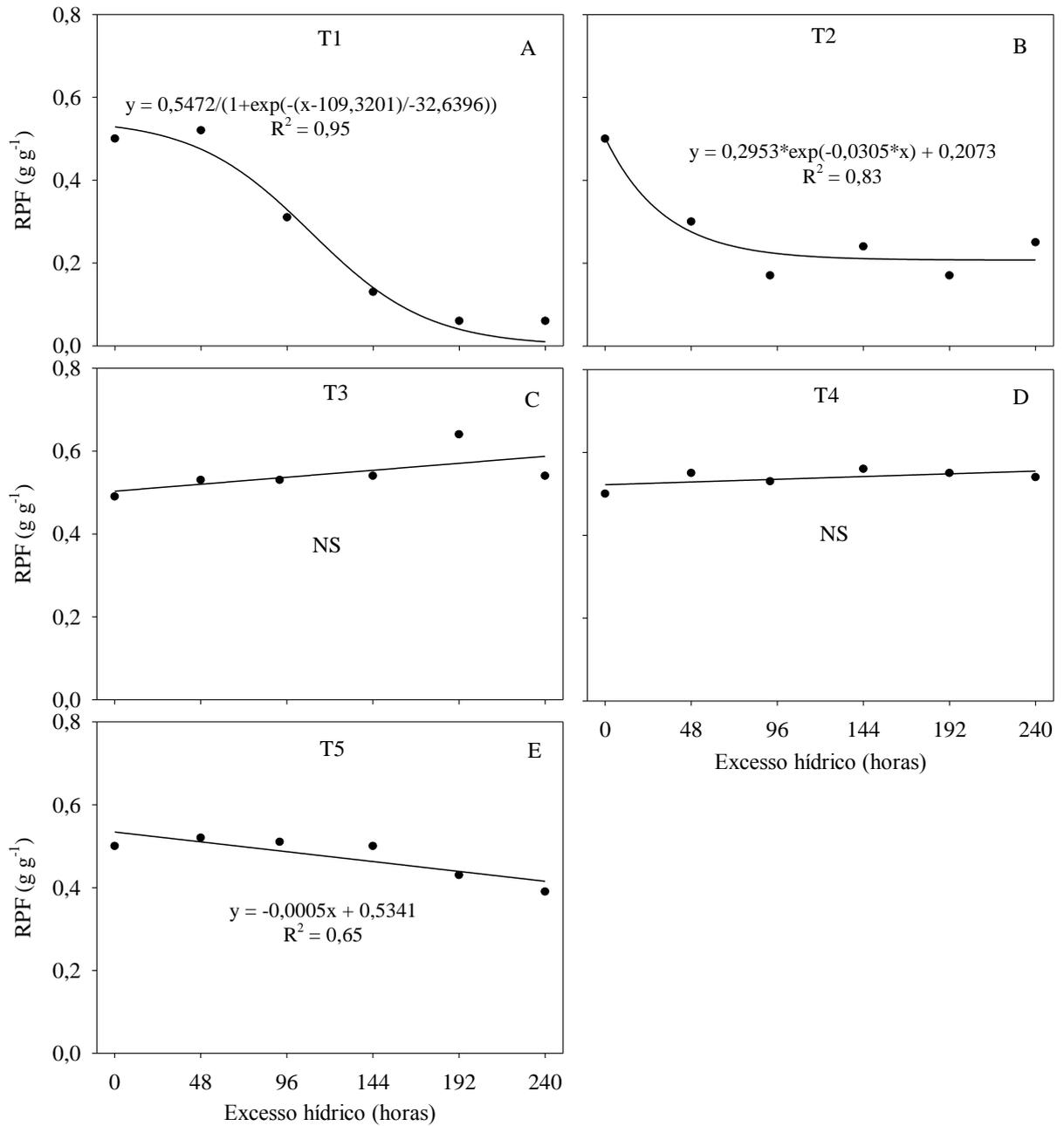


Figura 17 – Razão de peso foliar (RPF) de plantas de girassol, média dos três experimentos sob excesso hídrico de 0 a 240 horas, aplicado logo após a semeadura (T1), 3 dias após a semeadura (T2), na emergência (T3), no estágio V2 (T4) e no estágio V4 (T5). Santa Maria, RS, 2013.

4.2 Resultados do experimento a campo

4.2.1 Condições meteorológicas e comparação de médias entre datas de semeadura

Na Figura 18 apresenta-se a variação da temperatura do solo, da temperatura do ar, da fração da capacidade de armazenamento de água disponível no solo (FCAD) e das chuvas ocorridas ao longo dos períodos experimentais (representado pelas linhas verticais), em função das diferentes datas de semeadura a campo. Verifica-se uma tendência de aumento na temperatura do ar ao longo do ciclo experimental e tendência de redução da FCAD a níveis baixos na medida em que a data de semeadura foi mais tardia. Há certa variabilidade diária e semanal para as diferentes variáveis, principalmente na ocorrência de chuvas, que junto com as demais condições meteorológicas determinam a redução ou aumento da FCAD.

As curvas de temperatura do ar e do solo apresentam variabilidade semelhante, sendo que a temperatura do solo apresenta valores pouco acima da temperatura do ar. Essa condição segundo Rosenberg (1974), justifica-se porque é a superfície que absorve radiação solar e faz as trocas de calor com o ar, ou seja, primeiro se aquece a superfície, que por sua vez aquece o ar no seu entorno.

A campo, por não ter condições controladas da umidade do solo, da precipitação pluvial e da temperatura do solo, há grande variabilidade desses elementos. Como verificado nas Figuras 19A e 19B, as temperaturas do ar e do solo, a FCAD e a distribuição de chuvas variaram muito. Consequentemente, também as variáveis dependentes sofreram variação. São vários os fatores que interferem na emergência, em razão dessa grande variabilidade temporal e espacial dos fatores, sendo que a combinação entre os fatores é responsável pela melhor ou pior condição para a emergência da planta. Dessa forma, as diferentes condições para cada data de semeadura, tornam a interpretação dos resultados mais complexa, justamente em razão de não ter o controle das condições que ocorrem em função da variabilidade.

Na Tabela 20 é apresentado o valor médio no período experimental para as 20 datas de semeadura das variáveis da temperatura do ar e do solo, da chuva, do excesso hídrico, da fração da água disponível no solo, do número de dias para a emergência, além da comparação de médias da porcentagem de emergência (PE) e do índice de velocidade de emergência (IVE), entre as diferentes datas de semeadura. A décima data de semeadura (29/09/2011) foi a

que apresentou a maior PE, com 96,3% das sementes viáveis emergidas, não diferindo das datas de semeadura 3, 4 e 6, que apresentaram emergência de 79,4, 73,9 e 69,5%, respectivamente.

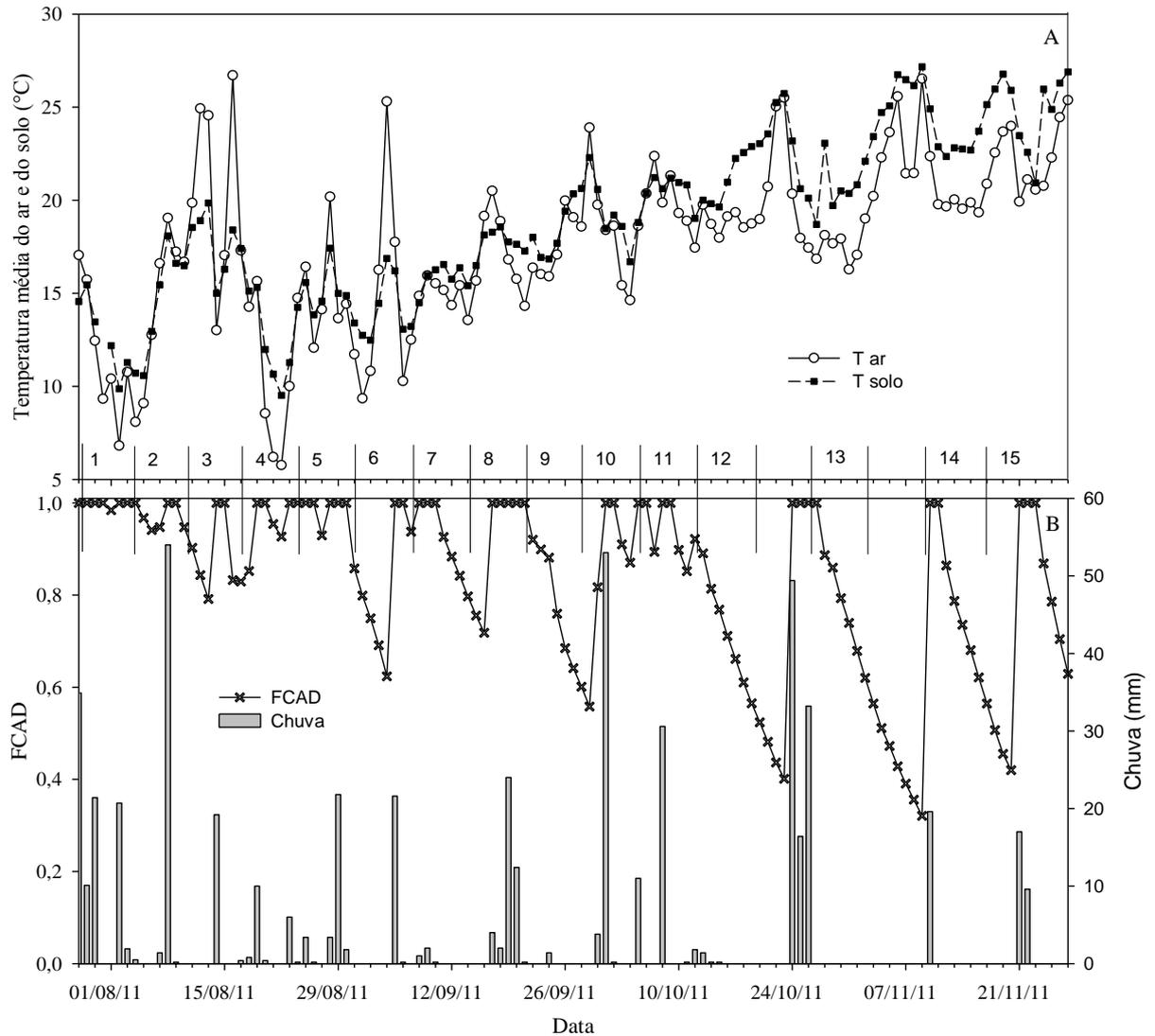


Figura 18 - Temperatura média do ar (T_{ar}) e do solo (T_{solo}) (A); variação da fração média da capacidade de água disponível no solo (FCAD) e da precipitação pluvial (Chuva) (B); em cultivos de girassol a campo em diferentes datas de semeadura (1-15). Santa Maria, RS, 2013.

As semeaduras das datas 1, 9, 12 e 13 foram as que apresentaram menores valores de porcentagem de emergência, com 15,3, 15,7, 17,7 e 14,8% das sementes viáveis emergidas, respectivamente (Tabela 20). Na primeira data de semeadura, ocorreu o maior período de

excesso hídrico, além de ter sido a maior duração do subperíodo S-E, de 23 dias, o que ocorreu em razão da baixa temperatura do ar nos dias posteriores a semeadura, que variou em torno de 10 °C por vários dias consecutivos. Já as datas 9, 12 e 13 não apresentaram excesso hídrico no subperíodo S-E, sendo a provável causa da redução de emergência relacionada a falta de umidade no solo, caracterizado pela FCAD. Portanto, tanto o excesso de umidade quanto a falta de umidade do solo foram prejudiciais para a emergência do girassol.

As datas de semeadura apresentaram diferenças para o IVE (Tabela 1). Os maiores valores de IVE ocorreram nas datas 3, 4, 6, 10 e 14, sendo que as quatro primeiras foram as que apresentaram também maior PE. Os piores valores de IVE ocorreram para as datas de semeadura 1, 2, 9, 11, 12, 13 e 15.

Os resultados de PE e IVE são relacionados às condições de temperatura do solo, da fração de água no solo e do tempo de excesso hídrico (Tabela 20). Com a temperatura do ar mais elevada, maior é a demanda evaporativa da atmosfera, levando ao maior evapotranspiração diária. Por isso, a fração da água no solo oscilou mais nas últimas datas de semeadura, sendo representada pelo desvio-padrão (Tabela 20). Já a temperatura do solo teve maior variação durante a emergência nas primeiras épocas. Isso se deve ao fato de a emergência ocorrer em um período maior, em consequência de temperaturas baixas logo após a semeadura. Dias mais tarde as temperaturas do ar e do solo se elevaram significativamente, proporcionando condições de as sementes germinarem e emergirem. As datas de semeadura 1, 2, 4, 5 e 6 foram as que mais demoraram para emergir, com duração do subperíodo S-E de 23, 16, 15, 12 e 11 dias, respectivamente (Tabela 20).

Quando não há excesso hídrico, em contraponto aumenta a probabilidade de deficiência hídrica, que também é prejudicial à germinação das sementes (ROSSETTO et al., 1997; MACHADO NETO et al., 2006). Isso ocorre principalmente pela menor quantidade de chuvas durante o subperíodo S-E, ou de uma deficiência hídrica mais prolongada, em que as sementes tenham sido semeadas no solo seco e não conseguiram atingir os dois picos de embebição de água, inviabilizando a germinação.

Tabela 20 – Temperatura média do ar (T_{ar}), temperatura média do solo (T_{solo}) e desvio padrão, fração média da capacidade de água disponível no solo (FCAD) e desvio padrão, precipitação pluvial (PP), tempo de excesso hídrico (Exc), número de dias da semente a emergência (DPE), resultado da análise de variância e comparação de médias para a porcentagem de emergência (PE) e para o índice de velocidade de emergência (IVE) do girassol semeado a campo em diferentes datas de semente. Santa Maria, RS, 2013.

Semente	Data	T_{ar}	T_{solo}	FCAD	PP	Exc	DPE	PE	IVE
1	28/07/2011	17,8	15,0 ± 2,9	0,95 ± 0,07	175,9	251	23	15,3 d*	14,4 c
2	04/08/2011	18,0	15,7 ± 2,8	0,93 ± 0,07	86,9	145	16	37,4 c	40,5 c
3	11/08/2011	18,1	16,7 ± 2,4	0,90 ± 0,08	30,8	95	9	79,4 a	73,3 a
4	18/08/2011	12,3	13,6 ± 2,1	0,94 ± 0,08	48	173	15	73,9 a	78,2 a
5	25/08/2011	14,7	14,7 ± 1,6	0,90 ± 0,14	52,4	138	12	54,1 b	53,2 b
6	01/09/2011	14,9	14,8 ± 1,6	0,88 ± 0,14	25	46	11	69,5 a	77,5 a
7	08/09/2011	16,1	16,4 ± 1,1	0,89 ± 0,11	7,2	0	9	49,7 b	66,0 b
8	15/09/2011	17,0	17,6 ± 0,7	0,92 ± 0,11	44	102	9	36,4 c	58,0 b
9	22/09/2011	18,6	19,2 ± 1,9	0,75 ± 0,14	5,2	0	8	15,7 d	30,3 c
10	29/09/2011	19,2	19,7 ± 1,6	0,90 ± 0,14	98,6	127	9	96,3 a	102,0 a
11	06/10/2011	19,9	20,5 ± 0,7	0,72 ± 0,06	34	46	7	42,9 c	40,4 c
12	13/10/2011	18,9	21,2 ± 1,4	0,73 ± 0,11	1,8	0	6	17,7 d	30,6 c
13	27/10/2011	18,0	21,1 ± 1,6	0,77 ± 0,15	0	0	7	14,8 d	24,4 c
14	10/11/2011	20,1	23,4 ± 1,1	0,78 ± 0,16	19,6	44	7	60,2 b	96,9 a
15	17/11/2011	22,4	25,0 ± 1,9	0,72 ± 0,22	26,6	53	10	55,6 b	23,1 c
CV(%)								25,4	32,8
Média								47,9%	53,9

T_{ar} = temperatura média do ar da semente até a emergência (S-E) em °C; T_{solo} = temperatura média do ar da S-E em °C; Chuva = precipitação pluvial acumulada da S-E em mm; Exc = excesso hídrico da S-E em horas; FCAD = fração média de água da CAD no subperíodo S-E; PE = porcentagem de emergência de plantas de girassol; IVE = índice de velocidade de emergência; DPE = número de dias para a emergência a partir da semente. CV = coeficiente de variação. * Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si significativamente pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

4.2.2 Resultados da análise de regressão

Na Figura 19 é apresentada a análise de regressão entre as variáveis independentes de temperatura do solo, umidade do solo e tempo de excesso hídrico em horas, e as variáveis dependentes (porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência e a duração do subperíodo S-E). A temperatura média do solo teve significativa correlação com o número de dias para emergência (Figura 19G), com R^2 de 0,46 e demais coeficientes da equação significativos. Verificou-se que a temperatura do solo média de 21,5 °C durante o subperíodo

S-E foi a temperatura em que a emergência ocorreu em menos dias. Não houve efeito significativo da temperatura do solo sobre a porcentagem de emergência (Figura 19A) e sobre o índice de velocidade de emergência (Figura 19D). Entretanto, a temperatura associada ao excesso hídrico tem efeito sobre a germinação nas culturas da soja e do milho (WUEBKER; MULLEN; KOEHLER, 2001; HOU; THSENG, 1991; FAUSEY; MCDONALD, 1985). Isso mostra que a temperatura pode ter efeito sobre a emergência do girassol, apesar da tendência não ser significativa.

A exemplo da temperatura do solo, a FCAD não teve efeito significativo na porcentagem de emergência (Figura 19B). Porém, para o índice de velocidade de emergência (Figura 19E) e para o número de dias para emergência (Figura 19H) a análise de regressão foi significativa. Para o índice de velocidade de emergência o R^2 foi de 0,34, com máximo valor ocorrendo com FCAD de 0,85 (Figura 19E). Já para o número de dias para emergência o R^2 foi de 0,69, com máximo valor ocorrendo com a FCAD de 0,80 (Figura 19H). A umidade do solo afetou a emergência das plantas tanto na quantidade quanto na velocidade pelo excesso hídrico. O excesso de umidade no solo afeta significativamente a germinação de sementes e o crescimento de plantas de milho (NORTON, 1986; ZAIDI; RAFIQUE; SINGH, 2003). Considerando os resultados experimentais obtidos no atual trabalho, uma umidade no solo de 80 a 85% da FCAD parece ser ideal para a germinação do girassol. Para a semente de soja, o conteúdo de água no solo durante a fase de germinação não deve exceder a 85% da CAD total e nem ser inferior a 50% para viabilizar a emergência (EMBRAPA, 2004). Para a germinação de cebola, o teor de água ideal gira em torno de 40% a 60% de umidade no substrato (PIANA et al., 1994).

Por sua vez, o excesso hídrico teve correlação significativa com as três variáveis resposta. Para as variáveis porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência, cujos valores de R^2 foram respectivamente de 0,43 e 0,21 (Figuras 19C e 19F). Já para o número de dias para a emergência, com R^2 de 0,84, o menor valor ocorreu para os níveis baixos de excesso hídrico, próximos a zero. Portanto, o excesso hídrico é um dos fatores que mais afetam a emergência de plantas de girassol. As diferenças entre as datas de semeadura podem ser explicadas em grande parte pelo número de horas de excesso hídrico. Poucas horas ou nenhuma hora de excesso hídrico também não são desejáveis, pois podem representar condição de campo inversa, isto é, as sementes estariam em um ambiente com umidade menor que o necessário para germinar (ROSSETTO et al., 1997; MACHADO NETO et al., 2006).

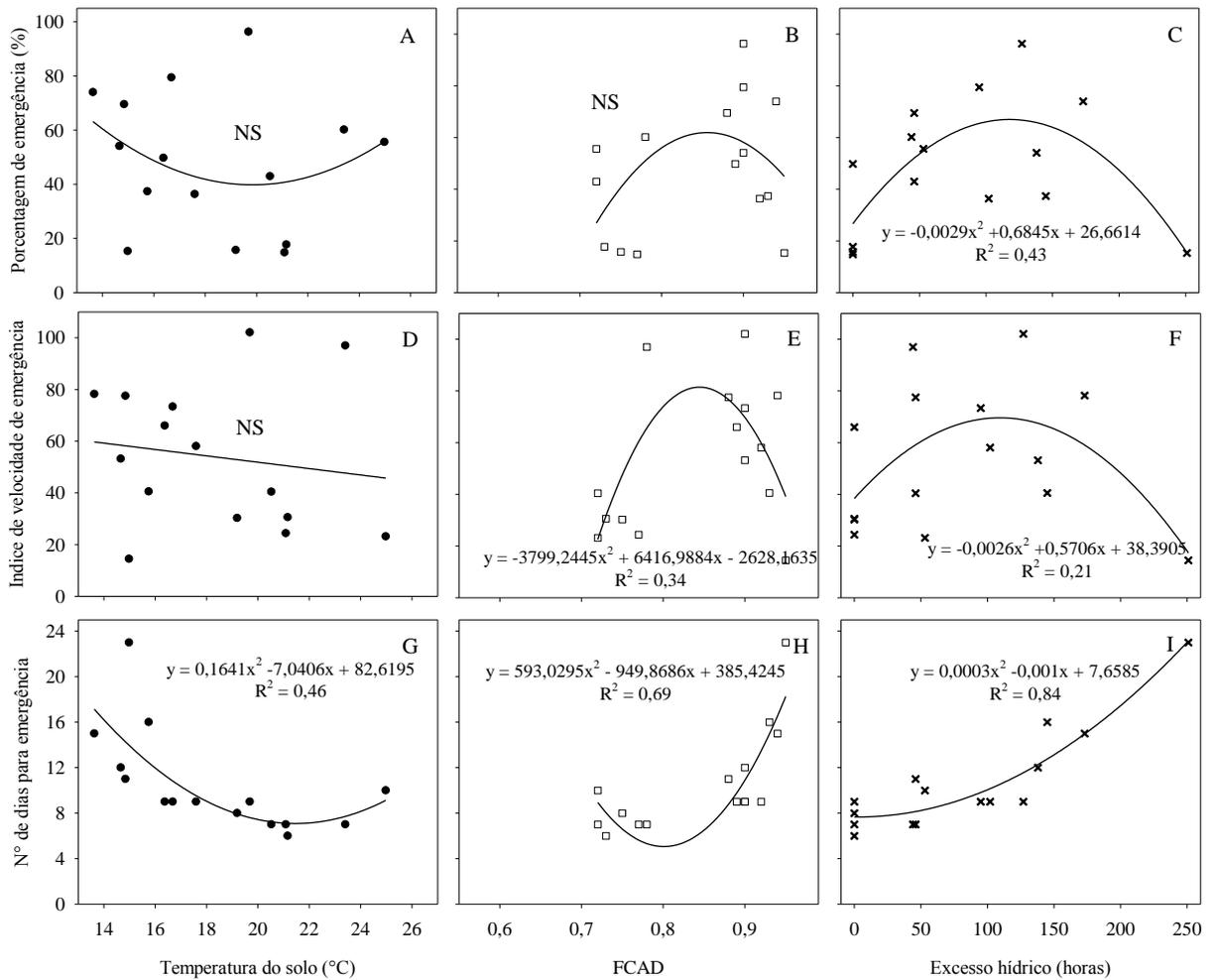


Figura 19 – Regressão entre as variáveis independentes: temperatura média do solo (A, D e G), fração média da capacidade de água disponível no solo (FCAD) (B, E e H), tempo de excesso hídrico em horas (C, F e I); e as variáveis dependentes: porcentagem de emergência (PE) (A, B e C), índice de velocidade de emergência (IVE) (D, E e F), número de dias para o subperíodo S-E (DPE) (G, H, I); do girassol semeado a campo em diferentes datas de semeadura (1-15). *NS = regressão não significativa ($p < 0,05$). Santa Maria, RS, 2013.

5 CONCLUSÕES

Excesso hídrico logo após a sementeira e após o início do processo germinativo é prejudicial ao girassol mais do que em estágios posteriores à emergência, pois afeta a porcentagem e a velocidade de emergência e, conseqüentemente, a população de plantas, a área foliar, a massa seca de parte aérea e raízes das plantas jovens.

A emergência do girassol é afetada negativamente mesmo por curtos períodos de excesso hídrico, como 48 horas de duração, sendo que o excesso associado a temperaturas altas é mais prejudicial do que associado a temperaturas amenas.

A área foliar e a massa seca da parte aérea do girassol chegam a ser reduzidas pela metade quando submetidas a excesso hídrico por 96 horas aplicado nos estágios vegetativos iniciais de V2 e V4.

O excesso hídrico afeta mais o crescimento inicial das plantas de girassol do que o desenvolvimento, não afetando significativamente o número de folhas.

Em resposta ao excesso hídrico as plantas de girassol passam a produzir raízes secundárias e adventícias próximas da superfície do solo em detrimento do crescimento da raiz principal e da parte aérea.

Tanto o excesso quanto o déficit hídrico do solo são prejudiciais à velocidade e porcentagem de emergência do girassol semeado a campo, sendo que a umidade do solo ideal está entre 80 e 85% da capacidade de armazenamento de água do solo.

Temperatura do solo em torno de 21,5 °C é ideal para a emergência do girassol semeado a campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTO, C. M. et al. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.7, p.1067-1075, 2006.

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

ALONSO, L. C. Oil crops and the Common Agricultural Policy. **Agricultura, Revista Agropecuaria**, v.74, n.877, p.616-618, 2005.

ANDREEV, V. Y.; GENEROZOVA, I. P.; VARTAPETIAN. B. B. Energy status and mitochondrial ultrastructure of excised pea root at anoxia and postanoxia. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.29, p.171-176, 1991.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v.55, p.373-399, 2004.

AZEVEDO, B. M. et al. Efeitos de níveis de irrigação na cultura da melancia. **Revista Ciência Agronômica**, v.36, n.1, p.9-15, 2005.

BANGE, M. P.; MILROY, S. P.; THONGBAI, P. Growth and yield of cotton in response to waterlogging. **Field Crops Research**, v.88, p.129-142, 2004.

BANSAL, R.; SRIVASTAVA, J. P. Antioxidative defense system in pigeonpea roots under waterlogging stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.34, p.515-522, 2012.

BARTA, A. L.; SULC, R. M. Interaction between waterlogging injury and irradiance level in alfalfa. **Crop Science**, v.42, n.5, p.1529-1534, 2002.

BELTRÃO, N. E. M. et al. Modificações na bioquímica da planta da mamoneira, cultivar BRS 188 Paraguaçu, submetida ao estresse hídrico (deficiência e excesso). **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.7, n.1, p.653-658, 2003.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.5, p.423-432, 2005.

BORGES, E.E.L.; RENA, A.B. Germinação de sementes. In: AGUIAR, I.B.; PIÑA-RODRIGUEZ, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. (Ed.) **Sementes florestais tropicais**. Brasília: Abrates, 1993. p.83-135.

BRASIL. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria da Agricultura Familiar, 2012. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel> Acesso em: 28 out. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431 p. DNPEA. **Boletim Técnico**, n° 30.

BURIOL, G. A. et al. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 89-97, 2006.

BURIOL, G. A. et al. Disponibilidades hídricas do solo possíveis de ocorrerem no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v.10, p.1-141, 1980.

CANNEL, R. Q., GALES, K., SUHAIL, B. A.. Effects of water-logging under field conditions on the growth of peas. **Agricultural Research Council**, London, v.3, p.67-69, 1977.

CARDOSO, C. D. V. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região central do Estado do Rio Grande do Sul**. 2005. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F. L. **Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: UFSM/Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88 p.

CASTRO, C. de; FARIAS J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In. _____: LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. 1.ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p.163-218.

CONAB. **Série histórica de produção e área plantada: safras 1976/77 a 2012/2013**. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmconteudos> Acesso em: 17 jan. 2013.

CONNOR, D.J.; HALL, A. Sunflower Physiology. In: _____. **Sunflower Technology and Production Agronomy Monograph**. n.35. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1997. p.113-182.

CORDEIRO, A. P. A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 274 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

COSTA, J. A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996. 233p.

DALL'AGNOL, A.; VIEIRA, O. V.; LEITE, R. M. V. B. de C. Origem e histórico do girassol. In: _____. LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2005, cap.1, p.1-14.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v.11, p.251-271, 1998.

DICKIN, E.; WRIGHT, D. The effects of winter waterlogging and summer drought on the growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **European Journal of Agronomy**, v.28, n.3, p.234-244, 2008.

EMBRAPA. **Indicações para o cultivo do girassol nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Roraima**. Comunicado Técnico 78, Embrapa Soja, Londrina, PR, fev. 2007.

_____. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa - SPI; Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 2006. 306 p.

_____. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil**. 2004. Sistema de produção da Soja – Exigências Climáticas. EMBRAPA Soja. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/exigencias.htm> Acesso em: 23 jan. 2013.

FANTE, C. A.; ALVES, J. D.; GOULART, P. F. P; DEUNER, S.; SILVEIRA, N. M. Respostas fisiológicas em cultivares de soja submetidas ao alagamento em diferentes estádios. *Bragantia*, Campinas, v.69, n.2, p.253-261, 2010.

FAO. **Statistics**. 2012. Food and Agriculture Organization. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>> Acesso em: 18 out. 2012.

FAUSEY, N. R.; MCDONALD, M. B. JR. Emergence of inbred and hybrid corn following flooding. *Agronomy Journal*, v.77, p.51-56, 1985.

FREITAS, L. da S. et al. Substituição da silagem de milho por silagem de girassol na dieta de novilhos em confinamento: comportamento ingestivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.1, p.225-232, 2010.

GOMES, E. M. **Parâmetros básicos para irrigação sistemática do girassol (*Helianthus annuus L.*)**. 2005. 99 f. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GRASSINI, P. et al. Responses to short-term waterlogging during grain filling in sunflower. *Field Crops Research*, v.101, p.352-363, 2007.

GRIMM, A.; BARROS, V.; DOYLE, M. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, v.13, p.35-58, 2000.

GUARIENTI, E. M. et al. Efeitos da precipitação pluvial, da umidade relativa do ar e de excesso e déficit hídrico do solo no peso do hectolitro, peso de mil grãos e no rendimento de grãos de trigo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.25, p.412-418, 2005.

GUSE, F. I. **Produtividade, severidade de mancha de alternaria e deficiência hídrica em diferentes épocas de semeadura do girassol em Santa Maria – RS**. 2010. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Avaliação da porosidade e placa férrica de raízes de arroz cultivado em hipoxia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, n.5, p.1763-1769, 2010.

HOOKE, D. D.; CRAWFORD, R. M. M. **Plant Life in Anaerobic Environments**. Ann Arbor Science Publishers, Ann Arbor, 1978. 564 p.

HOU, F.F.; THSENG, F.S. Studies on the flooding tolerance of soybean seed: Varietal differences. **Euphytica**, v.57, p.169-173. 1991.

KASHYAP, P. S.; PANDA, R. K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-umid region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.50, n.1, p.9-25, 2001.

KENNEDY, R. A; RUMPHO, M. E.; FOX, T. C. Anaerobic metabolism in plants. **Plant Physiology**, v.100, p.1-6. 1992.

LANGAN, T. D.; PENDLETON, J. W.; OPLINGER, E. S. Peroxide coated seed emergence in water-saturated soil. **Agronomy Journal**, v.78, p.769-772, 1986.

LENTZ, D. L. et al. Prehistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in Mexico. **Economic Botany**, New York, v.55, n.3, p.370-376, Aug./Oct. 2001.

LIAO, C.; LIN, C. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. Proceedings of the National Science Council, Republic of China. Part B, **Life Sciences**, v.25, n.3, p.148-157, 2001.

LIN, K. H. R. et al. Study of the root antioxidative system of tomatoes and eggplants under waterlogged conditions. **Plant Science**, v.167, n.2, p.355-365, 2004.

LOOSE, L.H. et al. Severidade de ocorrência das manchas de alternaria e septória em girassol semeado em diferentes épocas no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v.71, n.2, p.282-289, 2012.

LOOSE, L. H. et al. Variabilidade dos rendimentos de girassol na argentina em função da variabilidade climática interanual. **Revista de la Facultad de Agronomía – UBA**, v.30, p.169-178, 2010.

LUCAS, D. D. P. **Injúria foliar em diferentes estágios fenológicos de plantas de girassol e seu efeito na produção**. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison. v.2, p.176-177, 1962.

MALDANER, I. C. **Irrigação e aplicação de fungicida na ocorrência de doenças e produtividade do girassol**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

MALDANER, I.C. et al. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. **Ciência Rural**, v.39, p.1356-1361, 2009.

MALIK, A. I. et al. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. **New Phytologist**, v.153, n.2, p.225-236, 2002.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia. 1961, 61 p.

MACHADO NETO, N. B. et al. Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, n.1, p.142-148, 2006.

NOBRE, R. G. et al. Crescimento da alface sob saturação temporal do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.890-898, 2009.

NORTON, C. R. Germination under flooding: metabolic implications and alleviation of injury. **Hortscience**, Alexandria, v.21, n.5, p.1123-1125, 1986.

OLIVEIRA, M. D. S. de. et al. Composição bromatológica e digestibilidade ruminal *in vitro* de concentrados contendo diferentes níveis de torta de girassol. **Ciência Animal Brasileira**, v.8, n.4, p.629-638, 2007.

ORCHARD, P. W.; JESSOP, R. S. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging ..I. Effects of stage of development and duration of waterlogging on growth and yield. **Plant Soil**, v.81, p.119-132, 1984.

ORCHARD, P. W.; SO, H. B. The response of sorghum and sunflower to short-term waterlogging. II. Changes in the soil environment under waterlogged conditions. **Plant and Soil**, v.83, n.3, p.407-419, 1985.

PERATA, P. et al. Effect of anoxia on starch breakdown in rice and wheat seeds. **Planta**, v.188, p.611-618, 1992.

PIANA, Z. et al. Disponibilidade hídrica e germinação de sementes de cebola (*Allium cepa* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.51, n.3, p.486-489, 1994.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. Adaptações morfofisiológicas da soja em solo inundado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.1, p.41-50, 2002.

PORTAL. **Notícias**. Portal do biodiesel. 2011. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/noticias>> Acesso em: 14 abr. 2011.

RADONS, S. Z. **Severidade de ocorrência de mancha de septória e produtividade de girassol irrigado**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

ROSENBERG, J. N. **Microclimate: The biological environment**. New York: Wiley & Sons, 1974. 315 p.

ROSSETTO, C. A. V. et al. Efeito da disponibilidade hídrica do substrato, da qualidade fisiológica e do teor de água inicial das sementes de soja no processo de germinação. **Scientia Agrícola**, v.54, n.1-2, p.97-105, 1997.

SALASSIER, B.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 625 p.

SCHÖFFEL, E. R. et al. Excesso hídrico sobre os componentes do rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, v.31, n.1, p.7-12, 2001.

SCHÖFFEL, E. R. **Comportamento de cultivares de soja, em solo hidromórfico, sob condições de excesso hídrico**. 1997. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 1997.

SCHOLLES, D.; VARGAS, L. K. Viabilidade da inoculação de soja com estirpes de *Bradyrhizobium* em solo inundado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. vol.28, n.6, pp. 973-979, 2004.

SENTELHAS, P. C. et al. Temperatura-base e graus-dia para cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.2, p.43-49, 1994.

SHIMONO, H. et al. Interactive effects of elevated atmospheric CO₂ and waterlogging on vegetative growth of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Plant Production Science**, v.15, n.3, p.238-245, 2012.

SILVA, B.M.S.; CARVALHO, N.M. Efeitos do estresse hídrico sobre o desempenho germinativo da semente de faveira (*Clitoria fairchildiana* R. A. Howard. - Fabaceae) de diferentes tamanhos. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.1, p.55-65, 2008.

SPINELLI, D.; JEZ, S.; BASOSI, R. Integrated environmental assessment of sunflower oil production. **Process Biochemistry**, v.47, n.11, p.1595-1602, 2012.

SOUSA, C. A. F. DE; SODEK, L. The metabolic response of plants to oxygen deficiency. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.14, p.83-94, 2002.

SPESCHA, L. et al. Los excesos de agua edáfica y su relación con el ENSO en la Región Pampeana. **Revista de la Facultad de Agronomía UBA**, v.24, p.161-167, 2004.

STEFFENS, D. et al. Water logging may inhibit plant growth primarily by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity. **Plant Soil and Environment**, v.51, n.12, p.545-552, 2005.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, A. A. J. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

SUNG, J. M. The effect of sub-optimal O₂ on seedling emergence of soybean seeds of different seed size. **Seed Science and Technology**, v.23, p.807-814, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

THOMAS, A. L.; SODEK, L. Development of the nodulated soybean plant after flooding of the root system with different sources of nitrogen. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.3, p.291-297, 2005.

THOMSON, C. J. et al. Tolerance of wheat (*Triticum aestivum* cvs. Gamenya and Kite) and triticale (*Triticosecale* cv. Muir) to waterlogging. **New Phytologist**, v.120, p.335-344, 1992.

TORRES, A. M.; DIEDENHOFEN, U. Sunflower alcohol dehydrogenase genotypes: germination rates and response to flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v.21, n.1, p.35-44, 1981.

UNGARO, M. R. G. et al. Girassol. In: MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. p.205-221.

UNGARO, M. R. G.; NOGUEIRA, S. S. S.; NAGAI, V. Parâmetros fisiológicos, produção de aquênios e fitomassa de girassol em diferentes épocas de cultivo. **Bragantia**, v.59, n.2, p.205-211, 2000.

VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, M. B. Plant adaptations to anaerobic stress. **Annals of Botany**, v.79, supl.1, p.3-20, 1997.

VORA, R. India's sunflower oil imports jumps by 42%. **Business Standard**, Ahmedabad, 15 oct. 2012. Disponível em: <<http://www.business-standard.com/india/news/india039s-sunflower-oil-imports-jumps-by-42/191260/on>> Acesso em: 23 jan. 2013.

WAMPLE, R. L.; DAVIS, R. W. Effect of flooding on starch accumulation in chloroplasts of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Plant Physiology**, v.73, p.195-198, 1983.

WATSON, E. R., LAPINS, P., BARRON, R. F. W. Effects of waterlogging on the growth, grain and straw yield of wheat, barley and oats. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v.16, p.114-122, 1976.

WUEBKER, E.; MULLEN, R.; KOEHLER, K. Flooding and temperature effects on soybean germination. **Crop Science**, v.41, p.1857-1861, 2001.

YASUMOTO, S. et al. Effects of high water table and short-term flooding on growth, yield and seed quality of sunflower. **Plant Production Science**, v.14, n.3, p.233-248, 2011.

YORDANOVA, R.; POPOVA, L. Flooding-induced changes in photosynthesis and oxidative status in maize plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.29, p.535-541, 2007.

YORDANOVA, R.; POPOVA, L. Photosynthetic response of barley plants to soil flooding. **Photosynthetica**, v.39, p.515-520, 2001.

YORDANOVA, R.; UZUNOVA, A.; POPOVA, L. Effects of short-term soil flooding on stomata behaviour and leaf gas exchange in barley plants. **Biologia Plantarum**, v.49, p.317-319, 2005.

ZAIDI, P. H. et al. Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays* L.): susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. **Field Crop Research**, v.90, p.189-202, 2004.

ZAIDI, P. H.; RAFIQUE, S.; SINGH, N. N. Response of maize (*Zea mays* L.) genotypes to excess moisture stress: morphophysiological effects and basis of tolerance. **European Journal of Agronomy**, v.19, p.383-399, 2003.

ZANG, J.; ZANG X. Can early wilting of old leaves account for much of the ABA accumulation in flooded pea plants? **Journal of Experimental Botany**, v.45, p.1335-1342, 1994.

ZHELJAZKOV, V. D. et al. Yield, oil content, and composition of sunflower grown at multiple locations in Mississippi. **Agronomy Journal**, v.100, n. 3, p.635-642, 2008.