

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

Luís Henrique Loose

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS E MORFOFISIOLÓGICAS DO  
GIRASSOL AO DÉFICIT E EXCESSO HÍDRICO EM DOIS SOLOS**

Santa Maria, RS  
2016



**Luís Henrique Loose**

**RESPOSTAS AGRONÔMICAS E MORFOFISIOLÓGICAS DO GIRASSOL AO  
DÉFICIT E EXCESSO HÍDRICO EM DOIS SOLOS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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 **Doutor em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein

Santa Maria, RS  
2016

Loose, Luis Henrique

Respostas agronômicas e morfofisiológicas do girassol  
ao déficit e excesso hídrico em dois solos / Luis  
Henrique Loose.-2016.

166 p. ; 30cm

Orientador: Arno Bernardo Heldwein

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, RS, 2016

1. Relação água-solo-planta-atmosfera 2.  
Agrometeorologia 3. Crescimento radicular 4. Helianthus  
annuus L. I. Heldwein, Arno Bernardo II. Título.

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

---

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Luís Henrique Loose.

Endereço eletrônico: luishloose@gmail.com

**Luís Henrique Loose**

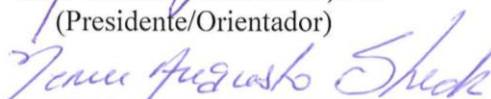
**RESPOSTAS AGRONÔMICAS E MORFOFISIOLÓGICAS DO GIRASSOL AO DÉFICIT E EXCESSO HÍDRICO EM DOIS SOLOS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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 **Doutor em Agronomia**.

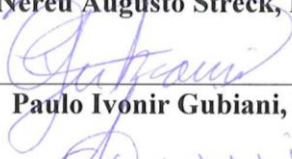
**Aprovado em 29 de janeiro de 2016:**




**Arno Bernardo Heldwein, Dr.**  
(Presidente/Orientador)



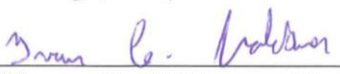
**Nereu Augusto Streck, PhD. (UFSM)**



**Paulo Ivonir Gubiani, Dr. (UFSM)**



**Genei Antonio Dalmago, Dr. (EMBRAPA-TRIGO)**



**Ivan Carlos Maldaner, Dr. (IFFarroupilha - SVS)**

Santa Maria, RS  
2016



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

**Dedico...**





## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, a rocha firme sobre a qual coloco toda minha vida, que ao estar no comando de tudo proporcionou a mim grandes oportunidades. À Ele toda minha gratidão.

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

Aos meus pais Sídio e Haidi que sempre batalharam por um futuro melhor para todos a sua volta, aos meus irmãos Laís e Léo e a minha avó Eli. Pelo exemplo, 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 pessoal desde a graduação em Agronomia até a pós-graduação, nos cursos de Mestrado e Doutorado em Agronomia.

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

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

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

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

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

Aos colegas da Agrometeorologia da UFSM, Jocélia Rosa, Mateus Bortoluzzi, Tiago Ferrera, Ricardo Ereno, Mateus Leonardi, Júnior Somavilla, Mateus Lunkes, Samuel Kovaleski, Gabriel Brixner, Silvane Brand, Victor Snovarski, Adriana Amarante, Dionéia Lucas, Fernando Hinnah, Roberto Trentin, Francilene Tartaglia, Leidiana Rocha, Cristine Schons, pela amizade, convivência e auxílio na realização dos experimentos e demais etapas.

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

**Muito Obrigado!**



“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)



## RESUMO

### RESPOSTAS AGRONÔMICAS E MORFOFISIOLÓGICAS DO GIRASSOL AO DÉFICIT E EXCESSO HÍDRICO EM DOIS SOLOS

AUTOR: Luís Henrique Loose

ORIENTADOR: Dr. Arno Bernardo Heldwein

A disponibilidade hídrica do solo é um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso ou insucesso de um cultivo agrícola. A ocorrência de estresses causados por déficit ou por excesso hídrico é prejudicial ao crescimento e à produtividade do girassol. O padrão de crescimento das plantas é alterado e a produtividade é reduzida com o aumento da intensidade correspondente ao estresse. Os principais objetivos deste trabalho foram avaliar a produtividade de grãos e de óleo e a qualidade do óleo do girassol, o crescimento, aprofundamento e distribuição de raízes no solo, o crescimento da parte aérea e raiz em matéria seca e a modelagem do crescimento de plantas de girassol, em resposta ao estresse causado por excesso e déficit hídrico, em duas épocas de semeadura e dois solos do Rio Grande do Sul. Os experimentos foram realizados na Safra (semeadura em início de setembro) e na Safrinha (semeadura em início de janeiro), em dois solos nos municípios de Santa Maria (Argissolo) e Panambi (Latossolo). Foram aplicados três tratamentos de disponibilidade hídrica: déficit hídrico (mantendo-se a umidade do solo entre 40 e 60% da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD)), excesso hídrico (mantido entre 90% da CAD e o ponto de saturação determinado) e controle (mantido entre 75 e 100% da CAD). Para determinar a condição hídrica do solo ao longo do ciclo, realizou-se o balanço hídrico sequencial diário. A entrada de água por chuva no tratamento de déficit hídrico foi controlada. As variáveis analisadas foram a produtividade, os componentes da produtividade, o teor e o rendimento de óleo, o perfil de ácidos graxos, a profundidade radicular, a distribuição radicular, a matéria seca das diferentes partes da planta, além das variáveis intrínsecas a análise de crescimento. Foi realizada a modelagem do aprofundamento radicular e do crescimento do girassol em matéria seca das diferentes partes da planta. Verificou-se que o nível de déficit hídrico aplicado foi mais prejudicial do que o nível de excesso hídrico aplicado, com redução significativa da produtividade, dos componentes da produtividade e do crescimento do girassol. A época de semeadura teve influência sobre a produtividade, em que a Safra produziu mais do que a Safrinha. O solo teve grande influência sobre o aprofundamento radicular que foi maior no Argissolo em comparação ao Latossolo, o que impactou na diferença de produtividade. O déficit hídrico foi responsável pelo aumento do Ácido Oleico e pela redução do Ácido Linoleico. A semeadura na Safra possibilita um maior aprofundamento e maior produção de massa seca de raízes do que a semeadura da Safrinha. Os modelos de crescimento do girassol em matéria seca e em profundidade radicular apresentaram bom ajuste aos dados medidos. Dessa forma, conclui-se que a disponibilidade hídrica do solo e a época de semeadura influenciam na produtividade e na qualidade do girassol e se devem tomar medidas para mitigar os problemas causados.

**Palavras-chave:** *Helianthus annuus* L. Estresse Hídrico. Produtividade. Composição do Óleo. Redução do Crescimento. Crescimento Radicular.



## ABSTRACT

### AGRONOMIC AND MORPHOPHYSIOLOGICAL RESPONSES OF SUNFLOWER TO WATER DEFICIT AND SURPLUS IN TWO SOILS

AUTHOR: Luís Henrique Loose

ADVISOR: Dr. Arno Bernardo Heldwein

Soil water availability is one of the major factors affecting the success or failure of an agricultural crop. Stresses caused by water deficit or surplus are harmful to the growth and sunflower yield. Plant growth pattern is changed and the yield is reduced with the growth of the intensity corresponding to stress. The main aims of this study were to evaluate the grain yield and quality of sunflower oil, root growth, deepening and distribution of roots in the soil, growth of shoot and roots in dry matter and modeling of sunflower plant growth, in response to stress caused by water surplus and water deficit in two sowing dates and two soils of Rio Grande do Sul. The experiments were carried out at early sowing date (sowing in early September) and late sowing date (sowing in early January), in two soils in the municipalities of Santa Maria (Ultisol) and Panambi (Oxisol). Three treatments of water availability were applied: water deficit (maintaining soil moisture between 40 and 60% of the available water capacity (AWC)), water surplus (maintained between 90% of AWC and the determine saturation point) and control (maintained between 75 and 100% of the AWC). To determine the water condition of the soil along the cycle was held daily sequential water balance. The water inlet by rain in the treatment of water deficit was controlled. The analyzed variables were yield and yield components, oil content and oil yield, fatty acid profile, root depth, root distribution, dry matter of different plant parts, in addition to intrinsic variables of growth analysis. Modeling of the root depth and sunflower growth in dry matter was held of different plant parts. The drought level applied was more harmful than the level of water surplus applied, with significant reduction in yield, yield components and sunflower growth. Sowing date had influence on yield, where the early sowing date produced more than late sowing date. Soil had great influence on the root deepening which was higher in Ultisol compared to Oxisol, which impacted the yield gap under water deficit. Water deficit was responsible for increased Oleic Acid and reduction of Linoleic Acid. The sowing at early sowing date enables deepening and increased dry matter production of roots than sowing at late sowing date. Sunflower growth models in dry matter and root depth had good fit to the measured data. In this way, it is concluded that soil water availability and sowing dates influences the yield and quality of sunflower and should be taken measures to mitigate the problems caused.

**Key words:** *Helianthus annuus* L. Water Stress. Yield. Oil Composition. Reduced Growth. Root Growth.





## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

- Tabela 1 – Produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) no Argissolo de Santa Maria/RS e no Latossolo de Panambi/RS, conduzido sob condições de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídricos (Def.).....57
- Tabela 2 – Massa de mil grãos (MMG), número de grãos por capítulo (Ngr./Cap) e diâmetro médio de capítulo ( $\emptyset$ ) do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) no Argissolo de Santa Maria/RS (Arg.) e no Latossolo de Panambi/RS (Lat.), conduzido sob condições de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídricos (Def.).....58
- Tabela 3 – Teor de óleo (TEOR) e rendimento de óleo (RENDIMENTO) do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) em Argissolo de Santa Maria/RS e Latossolo de Panambi/RS, conduzido sob condições de controle, excesso e déficit hídricos.....60
- Tabela 4 – Perfil de ácidos graxos do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) em Argissolo de Santa Maria/RS (Arg.) e Latossolo de Panambi/RS (Lat.), conduzido sob condições de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídrico (Def.).....61
- Tabela 5 – Principais ácidos graxos do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) em Argissolo de Santa Maria/RS (Arg.) e Latossolo de Panambi/RS (Lat.), conduzido sob condições de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídrico (Def.).....62

### ARTIGO II

- Tabela 1 – Matéria seca de raízes e profundidade de raízes avaliadas no estágio R6 do girassol cultivado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) no Argissolo de Santa Maria/RS e no Latossolo de Panambi/RS, conduzido sob condição hídrica de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídricos (Def.).....79
- Tabela 2 – Densidade do comprimento radicular em profundidade e em distância da planta do girassol (0,00; 0,12 e 0,24) no estágio R6 em cultivo semeado na época de Safra no Argissolo de Santa Maria/RS e Latossolo de Panambi/RS.....85

### ARTIGO III

- Tabela 1 – Análise de crescimento em função da soma térmica da cultura do girassol conduzido sob condições de déficit hídrico (Déf), controle (Cont) e excesso hídrico (Exc) na Safra e Safrinha do Rio Grande do Sul em diferentes subperíodos.....102

- Tabela 2 – Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação ( $R^2$ ),  $x_0$  e P-valor dos modelos obtidos na modelagem da profundidade radicular (cm) (1 a 12) e da matéria seca de raízes ( $g\ m^{-2}$ ) (13 a 18) do girassol conduzido sob déficit, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha em Argissolo e Latossolo. Erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (1981).....106
- Tabela 3 – Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação ( $R^2$ ),  $x_0$  e P-valor dos modelos obtidos na modelagem da matéria seca toral ( $g\ m^{-2}$ ) (19 a 24), da matéria seca de folhas ( $g\ m^{-2}$ ) (25 a 30) e da matéria seca de caule ( $g\ m^{-2}$ ) (31 a 36) do girassol conduzido sob déficit, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha em Argissolo e Latossolo. Erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (1981).....109
- Tabela 4 – Coeficientes linear (a) e de determinação ( $R^2$ ),  $y_0$  e p-valor dos modelos obtidos na modelagem da matéria seca do capítulo ( $g\ m^{-2}$ ) do girassol conduzido sob déficit, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha em Argissolo e Latossolo. Erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (1981).....110

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO II

- Figura 1 – Distribuição horizontal (0,00 m, 0,12 m, 0,24 são as distâncias horizontais da avaliação em relação a posição da planta) e vertical do sistema radicular do girassol conduzido sob déficit hídrico (A, B, C), controle (D, E, F) e excesso hídrico (G, H, I), avaliado nos estádios V10 (A, D, G), R2 (B, E, H) e R6 (C, F, I). Experimento semeado em 06/09/2013 no Argissolo de Santa Maria/RS.....82
- Figura 2 – Distribuição horizontal (0,00 m, 0,12 m, 0,24 são as distâncias horizontais da avaliação em relação a posição da planta) e vertical do sistema radicular do girassol conduzido sob déficit hídrico (A, B, C), controle (D, E, F) e excesso hídrico (G, H, I), avaliado nos estádios V10 (A, D, G), R2 (B, E, H) e R6 (C, F, I). Experimento semeado em 07/09/2013 no Latossolo de Panambi/RS.....83
- Figura 3 – Distribuição radicular do girassol (estádio R6) semeado em 06/01/2014 e conduzido sob déficit hídrico (A), controle (B) e excesso hídrico (C) no Argissolo de Santa Maria/RS.....86
- Figura 4 – Distribuição radicular do girassol (estádio R6) semeado em 07/01/2014 e conduzido sob déficit hídrico (A), controle (B) e excesso hídrico (C) no Latossolo de Panambi/RS.....88

### ARTIGO III

- Figura 1 – Aprofundamento radicular (A, B, C e D) e matéria seca de raízes (E e F) do girassol conduzido sob déficit hídrico, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha no Argissolo de Santa Maria/RS e no Latossolo de Panambi/RS, como função da soma térmica. Argissolo Safra (A); Latossolo Safra (B); Argissolo Safrinha (C); Latossolo Safrinha (D); Safra (E); Safrinha (F)...105
- Figura 2 – Modelagem da matéria seca total (A e B), matéria seca de folhas (C e D), matéria seca de caule (E e F) e matéria seca do capítulo (G e H) do girassol conduzido sob déficit hídrico, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha, como função da soma térmica, conforme os modelos ajustados.....108



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CAD – Capacidade de armazenamento de água disponível do solo  
CAD<sub>f</sub> – CAD final  
CAD<sub>in</sub> – CAD inicial  
CAD<sub>n</sub> – CAD calculada para cada dia  
CC – Capacidade de campo  
PMP – Ponto de murcha permanente  
LS – Limite superior (CC) de umidade do solo  
LI – Limite inferior (PMP) de umidade do solo  
DS – Densidade do solo  
Cfa – subtropical úmido, sem estação seca definida, com verões quentes  
CN – Curva número, adimensional;  
ST – Soma térmica acumulada  
ST<sub>(n)</sub> – Valor de soma térmica acumulada do dia “n”  
Armaz – Armazenamento de água no solo  
PROF<sub>n</sub> – Profundidade do sistema radicular no dia “n”  
PROF<sub>n-1</sub> – Profundidade do sistema radicular no dia “n-1”  
PROF<sub>in</sub> – Profundidade inicial considerada de 0,10 m  
PROF<sub>f</sub> – Profundidade final efetiva do girassol considerada de 0,60 m  
Neg.Ac – Negativo acumulado do balanço hídrico sequencial calculado  
BH – Balanço hídrico  
BHS – Balanço hídrico sequencial  
ETc – Evapotranspiração da cultura  
PEBD – Polietileno de baixa densidade  
PROD – Produtividade  
MMG – Massa de mil grãos  
NG/Cap. – Número de grãos por capítulo  
DIAM – Diâmetro de capítulo  
ARG – Argissolo Vermelho Distrófico arênico  
LAT – Latossolo Vermelho Distroférico típico  
TRAT – Tratamento  
CONT – Tratamento controle

DEF – Tratamento déficit hídrico  
EXC – Tratamento excesso hídrico  
PSR – Profundidade do sistema radicular  
DCR – Densidade do comprimento de raízes  
VRA – Variável radicular acumulada  
MSR – Matéria seca de raízes  
MST – Matéria seca total  
MSF – Matéria seca de folhas  
MSC – Matéria seca de caule  
MSCap – Matéria seca de capítulo  
AF – Área foliar  
TCC – Taxa de crescimento da cultura  
TCR – Taxa de crescimento relativo  
TAL – Taxa de assimilação líquida  
TCFR – Taxa de crescimento foliar relativo  
DAF – Duração da área foliar (DAF)  
RAF – Razão da área foliar  
AFE – Área foliar específica  
EM – Estádio fenológico de emergência de plantas  
V6 – Estádio fenológico de seis folhas expandidas  
V10 – Estádio fenológico de dez folhas expandidas  
R2 – Estádio fenológico de alongamento do broto floral  
R6 – Estádio fenológico de final da floração  
R8 – Estádio fenológico de final do enchimento de grãos  
EM - V10 – Subperíodo fenológico entre EM e V10  
V10 - R2 – Subperíodo fenológico entre V10 e R2  
R2 - R6 – Subperíodo fenológico entre R2 e R6  
R6 - R8 – Subperíodo fenológico entre R6 e R8  
EAM – Estatística do erro absoluto médio  
RQME – Estatística da raiz do quadrado médio do erro  
Cao 6:0 – Ácido Caprótico  
Cai 8:0 – Ácido Caprílico  
Cap 10:0 – Ácido Cáprico  
Mir 14:0 – Ácido Mirístico

Pen 15:0 – Ácido Pentadecílico

Pal 16:0 – Ácido Palmítico

Ple 16:1n7 – Ácido Palmitoleico

Est 18:0 – Ácido Esteárico

Ela 18:1n9t – Ácido Elaídico

Ole 18:1 $\Delta^9$  – Ácido Oleico

Lin 18:2 – Ácido Linoleico

Beh 22:0 – Ácido Behêmico

d – Estatística do índice “d” de Willmott

$^{\circ}\text{C dia}^{-1}$  – Unidade de tempo térmico utilizada na soma térmica

Sigm. – Equação sigmoideal

P. Gauss. – Equação pico gaussiano

CV (%) – Coeficiente de variação

NPK – Adubo a base de nitrogênio, fósforo e potássio

RS – Rio Grande do Sul

WP4 – Dewpoint Potential Meter, medidor do potencial de água





## LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE A - Curvas de drenagem de água após a saturação em Argissolo Vermelho Distrófico arênico de Santa Maria/RS (A, C, E, G) e Latossolo Vermelho Distroférrico típico de Panambi/RS (B, D, F, H) nas camadas de 0 a 10 cm (A, B), de 10 a 30 cm (C, D), de 30 a 60 cm (E, F) e a média de 0 a 60 cm (G, H).....131
- APÊNDICE B - Umidade gravimétrica do limite inferior (LI), limite superior (LS) e do ponto de saturação determinado (Sat), densidade média do solo (DS), capacidade de armazenamento de água disponível às plantas (CAD), ponto de saturação do solo determinado (SAT) e classe textural (CL. TEXT.) do Argissolo e do Latossolo nas diferentes camadas de solo em profundidade (PROF).....132
- APÊNDICE C - Variação dos elementos meteorológicos de chuva, temperatura do ar média diária (Tar) e radiação solar incidente (Rg) ao longo do ciclo do girassol semeado na Safra em Santa Maria/RS (A) e Panambi/RS (B).....133
- APÊNDICE D - Variação dos elementos meteorológicos de chuva, temperatura do ar média diária (Tar) e radiação solar incidente (Rg) ao longo do ciclo do girassol semeado na Safrinha em Santa Maria/RS (A) e Panambi/RS (B).....134
- APÊNDICE E - Variação dos elementos meteorológicos de chuva, temperatura do ar média diária (Tar) e radiação solar incidente (Rg) ao longo do ciclo do girassol semeado na Safrinha de 2015 em Santa Maria/RS.....135
- APÊNDICE F - Armazenamento de água no solo, calculado por balanço hídrico (BH) sequencial diário de Thornthwaite e Mather modificado, na cultura do girassol de Safra (semeada no início de Setembro) em Argissolo Vermelho Distrófico arênico de Santa Maria/RS (A, C, E) e Latossolo Vermelho Distroférrico típico de Panambi/RS (B, D, F) conduzido sob três regimes hídricos: déficit hídrico (A, B), controle (C, D) e excesso hídrico (E, F).....136
- APÊNDICE G - Armazenamento de água no solo, calculado por balanço hídrico (BH) sequencial diário de Thornthwaite e Mather modificado, na cultura do girassol de Safrinha (semeada no início de Janeiro) em Argissolo Vermelho Distrófico arênico de Santa Maria/RS (A, C, E) e Latossolo Vermelho Distroférrico típico de Panambi/RS (B, D, F) conduzido sob três regimes hídricos: déficit hídrico (A, B), controle (C, D) e excesso hídrico (E, F).....137
- APÊNDICE H - Comparação do armazenamento de água estimado pelo método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather adaptado para a escala diária

acrescentando-se a variação da CAD ao longo do ciclo com o armazenamento observado por coletas de solo ao longo do ciclo da cultura do girassol em Argissolo Vermelho Distrófico arênico de Santa Maria/RS (A) e Latossolo Vermelho Distroférico típico de Panambi/RS (B).....138

- APÊNDICE I - Análise de crescimento do girassol, em função do número de dias, conduzido sob condições de déficit hídrico (Déf), controle (Cont) e excesso hídrico (Exc) na Safra e Safrinha do Rio Grande do Sul.....139
- APÊNDICE J - Partição de matéria seca nos diferentes órgãos, raízes, folhas, caule e capítulo do girassol conduzido sob déficit hídrico (A, B), controle (C, D) e excesso hídrico (E, F) na Safra (A, C, E) e Safrinha (B, D, F) do Rio Grande do Sul, como função da soma térmica acumulada.....140
- APÊNDICE K - Quadro da análise de variância da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....141
- APÊNDICE L - Quadro da análise de variância da massa de mil grãos (g) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....142
- APÊNDICE M - Quadro da análise de variância do número de grãos por capítulo do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....143
- APÊNDICE N - Quadro da análise de variância do diâmetro médio de capítulo (cm) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....144
- APÊNDICE O - Quadro da análise de variância do teor de óleo (%) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....145
- APÊNDICE P - Quadro da análise de variância do rendimento de óleo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....146
- APÊNDICE Q - Quadro da análise de variância da matéria seca de raízes ( $\text{g m}^{-2}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....147
- APÊNDICE R - Quadro da análise de variância da profundidade efetiva de raízes (cm) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....148
- APÊNDICE S - Quadro da análise de variância da densidade do comprimento de raízes ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) do girassol conduzido em dois solos, três distâncias da planta

	referência e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....	149
APÊNDICE T -	Quadro da análise de variância da densidade do comprimento de raízes (cm cm <sup>-3</sup> ) do girassol conduzido em dois solos, seis camadas de solo em profundidade e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....	150
APÊNDICE U -	P-valor da análise de variância da porcentagem (%) dos ácidos graxos Capróico (Cao 6:0), Caprílico (Cai 8:0), Cáprico (Cap 10:0), Mirístico (Mir 14:0), Pentadecílico (Pen 15:0) e Palmítico (Pal 16:0) presentes no óleo do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....	151
APÊNDICE V -	P-valor da análise de variância da porcentagem (%) dos ácidos graxos Palmitoleico (Ple 16:1n7), Esteárico (Est 18:0), Elaídico (Ela 18:1n9t), Oleico (Ole 18:1Δ <sup>9</sup> ), Linoleico (Lin 18:2) e Behêmico (Beh 22:0) presentes no óleo do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....	152
APÊNDICE W -	P-valor da análise de variância da taxa de crescimento da cultura (TCC) (g g <sup>-1</sup> °Cdia <sup>-1</sup> ) e da taxa de crescimento relativo (TCR) (g m <sup>-2</sup> °Cdia <sup>-1</sup> ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....	153
APÊNDICE X -	P-valor da análise de variância da taxa de assimilação líquida (TAL) (g dm <sup>-2</sup> °Cdia <sup>-1</sup> ) e da taxa de crescimento foliar relativo (TCFR) (g g <sup>-1</sup> °Cdia <sup>-1</sup> ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....	154
APÊNDICE Y -	P-valor da análise de variância da duração da área foliar (DAF) (dm <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup> ) e da razão da área foliar (RAF) (dm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....	155
APÊNDICE Z -	P-valor da análise de variância da área foliar específica (AFE) (dm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.....	156
APÊNDICE AA -	Estádios fenológicos de 10 folhas expandidas (V10) (A), alongamento do botão floral (R2) (B), final da floração (R6) (C) e final do enchimento de grãos (R8) (D), seguindo a escala fenológica do girassol de Schneiter e Miller (1981), nos quais foram realizadas as coletas de dados e avaliações das plantas na Safra e na Safrinha em Santa Maria/RS e Panambi/RS.....	157
APÊNDICE AB -	Observação do crescimento de raízes superficiais de plantas de girassol em Santa Maria conduzidas sob déficit hídrico (A), controle (B) e excesso hídrico (C) no estágio de R3 e em plantas sob excesso	

hídrico em R6 (D). Detalhe das coletas realizadas com trado a 0,00; 0,12 e 0,24 m da planta referência um dia após a aplicação de excesso hídrico (E) e detalhe do trado utilizado para as avaliações (F).....158

## LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A - Descrição das equações para cálculo das variáveis da análise de crescimento conforme: LUCCHESI (Utilização prática da análise de crescimento vegetal. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 41, n. 1, p. 181-201, 1984).....161
- ANEXO B - Análise de solo nº 01 das áreas experimentais de Santa Maria/RS e Panambi/RS.....163
- ANEXO C - Análise de solo nº 02 das áreas experimentais de Santa Maria/RS e Panambi/RS.....164



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	32
1.2 OBJETIVOS .....	33
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>35</b>
2.1 GIRASSOL NO CONTEXTO AGRÍCOLA .....	35
2.2 DÉFICIT HÍDRICO NAS CULTURAS AGRÍCOLAS.....	36
2.3 EXCESSO HÍDRICO NAS CULTURAS AGRÍCOLAS .....	38
2.4 SINALIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ESTRESSE E MECANISMOS DE TOLERÂNCIA DAS PLANTAS .....	40
2.5 MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE PLANTAS .....	43
2.6 HIPÓTESES .....	45
<b>3. ARTIGO I – Produtividade e qualidade do óleo de girassol sob três regimes hídricos em Argissolo e Latossolo .....</b>	<b>47</b>
RESUMO .....	47
ABSTRACT .....	47
INTRODUÇÃO .....	48
MATERIAL E MÉTODOS .....	50
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
CONCLUSÕES .....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
<b>4. ARTIGO II – Crescimento e distribuição de raízes do girassol em dois solos com diferentes condições hídricas .....</b>	<b>69</b>
RESUMO.....	69
ABSTRACT.....	69
INTRODUÇÃO .....	70
MATERIAL E MÉTODOS .....	72
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	78
CONCLUSÕES .....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
<b>5. ARTIGO III – Análise de crescimento e modelagem do crescimento do girassol sob três regimes hídricos em dois solos .....</b>	<b>93</b>
RESUMO.....	93
ABSTRACT.....	93
INTRODUÇÃO .....	94
MATERIAL E MÉTODOS .....	95
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	101
CONCLUSÕES .....	110
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	110
<b>6. DISCUSSÃO .....</b>	<b>115</b>
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>159</b>





## 1 INTRODUÇÃO

A utilização do girassol (*Helianthus annuus* L.) no sistema de rotação de culturas é uma alternativa viável e promissora, pelo fato de possuir características agronômicas desejáveis, tais como maior tolerância à seca, ao frio e ao calor quando comparada a espécies como a soja e o milho. Além disso, a baixa sensibilidade ao fotoperíodo permite seu cultivo nas diferentes latitudes do território brasileiro (EMBRAPA, 2007).

A maior parte da safra de girassol é destinada à produção de óleo comestível, pois os grãos apresentam alto teor de óleo com elevada qualidade nutricional. A cultura é apontada como de grande potencial para a fabricação de biodiesel, o que pode aumentar o interesse das indústrias e dos agricultores pela oleaginosa, alavancando sua produção. O Brasil tem uma produção de girassol menor que a demanda, sendo que dentre os óleos vegetais, o óleo de girassol representa o quarto produto mais importado (CARVALHO, 2013).

O desinteresse pela produção da oleaginosa no Brasil está ligado à baixa produtividade média alcançada, que ocorre em resposta a ocorrência de estresses que limitam o crescimento e a produtividade da cultura. Dentre os principais fatores de estresse está a condição hídrica do solo, com a ocorrência, tanto de déficit, quanto de excesso hídrico. A ocorrência de eventos extremos de disponibilidade hídrica é comum no Rio Grande do Sul, sendo que no verão, frequentemente, ocorrem períodos de deficiência hídrica, enquanto no final do outono, no inverno e início da primavera predominam os períodos de excesso hídrico (BURIOL et al., 1980; CARDOSO, 2005; HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

As plantas, quando submetidas a uma condição de estresse, apresentam alterações fisiológicas e morfológicas. As alterações fisiológicas são notadas poucas horas após o início do estresse, enquanto as alterações morfológicas ocorrem em resposta ao estresse fisiológico na tentativa da planta tolerar ao estresse, cuja capacidade varia entre espécies. A ocorrência de excesso hídrico causa a paralisação do crescimento das raízes em profundidade e estimula o crescimento de raízes secundárias superficiais (YASUMOTO et al., 2011). Ocorre o fechamento estomático e a redução da taxa fotossintética em poucos minutos. Por sua vez, o déficit hídrico também causa fechamento estomático, redução na taxa fotossintética, redução do crescimento da parte aérea, enquanto as raízes crescem em profundidade buscando água e nutrientes nas camadas mais profundas do solo (TAIZ; ZEIGER, 2012). Tanto o déficit quanto o excesso hídrico acabam determinando modificações no crescimento das plantas, na partição de matéria seca, na relação parte aérea/raiz, na distribuição do sistema radicular e redução da produtividade.

A maioria dos trabalhos científicos de resposta ao déficit ou excesso hídrico avalia apenas a parte aérea das plantas, em razão da avaliação de raízes ser bastante trabalhosa. Entretanto, a avaliação de raízes é fundamental para o entendimento das respostas da planta à ocorrência de déficit ou excesso hídrico, principalmente quando se trata de plantas sob estresse por déficit ou por excesso hídrico. Além disso, o conhecimento da real profundidade das raízes e sua modelagem é essencial para o correto cálculo do balanço hídrico, específico para cada condição hídrica que se apresenta ao longo do ciclo da cultura nos diferentes anos agrícolas. Segundo Kage; Kochler e Stützel (2004), as pesquisas sobre o que ocorre com as raízes são fundamentais para entender a resposta produtiva de uma cultura agrícola.

Para melhorar a modelagem do crescimento do girassol é necessário obter também variáveis de crescimento de raiz e parte aérea do girassol sob diferentes condições de estresse. Recentemente têm crescido o número de pesquisas utilizando modelagem das culturas agrícolas. Entretanto, poucos modelos matemáticos contemplam em suas variáveis a relação com a disponibilidade hídrica do solo e profundidade das raízes.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A ocorrência de períodos de déficit e excesso hídrico no solo tem relação direta com o crescimento das plantas. Um dos principais efeitos é a redução da taxa fotossintética, que culmina no menor acúmulo de fotoassimilados e, conseqüentemente, redução da produtividade. A produtividade é a resposta mais estudada frente à condição de estresse hídrico. Porém, em plantas oleaginosas além da produtividade tem-se que levar em conta o produto final, verificando se o estresse afeta o rendimento de óleo e a sua qualidade. Assim, é necessário quantificar essa redução e verificar se o solo e a época de semeadura têm influencia sobre a produtividade e o óleo do girassol.

As respostas fisiológicas e morfológicas, em função do estresse hídrico, são conhecidas em várias culturas agrícolas. Entretanto, poucos autores avaliam o sistema radicular das plantas, sendo que a raiz é o órgão vegetal que sofre os primeiros efeitos de um estresse hídrico. Portanto, na cultura do girassol se faz necessário um aprofundamento científico no estudo do crescimento e da distribuição de raízes no solo, principalmente quando se trata de locais com solos de diferentes texturas, uma vez que a textura implica na capacidade de armazenamento de água.

A análise de crescimento é importante para verificar em que momentos do ciclo a cultura é mais afetada pelo estresse submetido. Além disso, a quantificação da redução do

crescimento frente ao estresse precisa ser modelada para melhorar o uso de modelos incluindo dados da cultura do girassol conduzidos na condição de déficit e excesso hídrico. Alguns autores buscaram melhorar os modelos integrando a eles o efeito do déficit hídrico, porém, não foi encontrada literatura que relata a integração do excesso hídrico aos modelos. Para o girassol e principalmente para o estudo de raízes da cultura, não foram encontrados modelos matemáticos de crescimento.

## 1.2 OBJETIVOS

Avaliar o efeito da disponibilidade hídrica nos níveis de controle, déficit e excesso hídrico sobre a produtividade de grãos, o teor de óleo e o perfil de ácidos graxos do girassol cultivado na Safra e Safrinha em dois solos do Rio Grande do Sul (Argissolo e Latossolo).

Determinar o crescimento, o aprofundamento e a distribuição radicular do girassol conduzido sem e com estresse por déficit e excesso hídrico do solo em dois locais com diferentes solos.

Gerar modelos e informações para a modelagem a partir da análise de crescimento do girassol, sob diferentes condições de disponibilidade hídrica em duas épocas de semeadura e dois solos do Rio Grande do Sul.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GIRASSOL NO CONTEXTO AGRÍCOLA

O girassol é uma espécie da família Asteraceae, originária da costa do Golfo do México (LENTZ et al., 2001). A produção mundial de grãos da oleaginosa gira em torno de 44 milhões de toneladas, sendo que os principais produtores são: Ucrânia, Rússia, Argentina e China, além da União Européia (FAOSTAT, 2015). Os grãos possuem teor de óleo que varia de 30 a 56% (UNGARO et al., 2009), composto por triglicerídeos de alto valor nutricional, o que faz com que sua principal utilização seja para óleo comestível. O girassol também faz parte do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, sendo apontado como de alto potencial para a produção de biodiesel (SPINELLI; JEZ; BASOSI, 2012).

As plantas de girassol possuem sistema radicular agressivo, podendo alcançar camadas mais profundas do solo para exploração da água e nutrientes do que o milho e a soja, desde que não haja impedimentos físicos ou químicos. É uma espécie com baixa sensibilidade ao fotoperíodo, maior tolerância à seca, ao frio e ao calor quando comparada a outras espécies anuais cultivadas (EMBRAPA, 2007). A temperatura ótima para o girassol ocorre entre 27 e 28 °C, apresentando desenvolvimento adequado a temperaturas do ar entre 8 e 34 °C (WARREN-WILSON, 1966 apud UNGARO et al., 2009). Por ser pouco sensível ao fotoperíodo, seu desenvolvimento responde diretamente à temperatura do ar, e assim a duração dos subperíodos pode ser determinada pela soma térmica (SENTELHAS et al., 1994). Da mesma forma, o índice de área foliar pode ser estimado pela soma térmica ao longo do ciclo (LUCAS et al., 2015).

A cultura do girassol não está entre as mais cultivadas no Brasil. Por não haver mercado permanente para essa oleaginosa, a maioria dos cultivos de girassol ocorre por contratos com empresas que se comprometem a comprar a produção após a colheita. Apesar disso, o girassol se apresenta como uma alternativa na rotação de culturas onde predominam os cultivos anuais de gramíneas e leguminosas. Na safra de 2014/15 a produção brasileira anual foi de 150,5 mil toneladas e a produtividade média de 1.376 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). Apesar de possuir clima e áreas favoráveis ao cultivo, o país é um importador de girassol, o que representa espaço para sua expansão no agronegócio brasileiro (CARVALHO, 2013), com sua utilização principal na produção de óleo de cozinha, mas também na alimentação animal e produção de biodiesel (ANTOLIN et al., 2002; SPINELLI; JEZ; BASOSI, 2012),

além do emprego na indústria de cosméticos e fármacos, principalmente por apresentar propriedades cicatrizantes e antioxidantes (TOPAN, 2012).

Os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (RS) são os maiores produtores nacionais de girassol (CONAB, 2015). No Centro-Oeste do Brasil, a cultura tem se tornado uma ótima alternativa para cultivo na Safrinha, pois o final do ciclo culmina com um período de menor precipitação pluvial, o que preserva melhor as condições fitossanitárias das plantas e favorece a colheita. No Rio Grande do Sul (RS) o girassol é frequentemente semeado no final do inverno, de agosto a setembro (Safrinha), ou nos meses de janeiro até fevereiro (Safrinha). Isso ocorre pela cultura ter que se adequar à rotação de culturas e não competir por área com as principais culturas de verão, que são a soja e o milho. Entretanto, no RS a instabilidade de produtividade, em grande parte devida à ocorrência de eventos extremos de disponibilidade hídrica, tem desestimulado os produtores a investir na cultura. Tanto o déficit quanto o excesso hídrico são limitadores da produtividade da cultura do girassol (GRASSINI et al., 2007; BARNI et al., 1995).

Para mitigar os problemas causados pela ocorrência de estresses é fundamental conhecer as respostas morfofisiológicas da planta. Faltam informações mais detalhadas da cultura do girassol sobre o manejo adequado em relação às necessidades edafoclimáticas e às respostas ao estresse, principalmente as respostas de crescimento do órgão que primeiro é afetado pelo estresse, a raiz. Outro fato a ser destacado é que poucos modelos matemáticos do crescimento das culturas agrícolas levam em conta a ocorrência de estresses, sendo esta uma lacuna científica a ser preenchida.

## 2.2 DÉFICIT HÍDRICO NAS CULTURAS AGRÍCOLAS

A existência da vida terrestre está diretamente relacionada à presença da água. A água é um solvente universal, possuindo um alto calor específico, estabilidade molecular e bipolaridade, o que permite a dissolução de substâncias em seu meio. Por essas características, a água foi o grande facilitador da evolução dos seres vivos, inclusive dos vegetais. Sendo assim, a água é extremamente essencial para as plantas. A fotossíntese, o transporte de nutrientes, a manutenção da turgescência foliar e principalmente a atenuação dos extremos térmicos da planta, estão associados à presença de água (TAIZ; ZEIGER, 2012).

As plantas, através dos estômatos foliares, transpiram mais de 97% da água absorvida via sistema radicular, enquanto os outros menos de 3% se dividem em água ocupada nos processos metabólicos e aumento de volume e expansão celular (TAIZ; ZEIGER, 2012).

Portanto, a transpiração é responsável pela quase totalidade do consumo de água pela planta. Em uma superfície terrestre vegetada, parte da água presente no solo é transpirada pelas plantas e parte é evaporada diretamente da superfície. A soma da evaporação com a transpiração é denominada evapotranspiração, conceito utilizado para definir uma das variáveis para calcular o balanço hídrico sequencial do solo (BHS).

O BHS tem como base a água armazenada no solo (Armaz), cuja capacidade máxima é denominada capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), que pode variar em função das propriedades físicas do solo, dos impedimentos físicos e químicos do solo ao crescimento de raízes e da profundidade efetiva do sistema radicular de cada espécie. A CAD é a diferença entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). A CC é considerada a água total retida pelo solo após a drenagem de um solo saturado pela ação da força da gravidade, em que a água ocupa todos os microporos e o ar ocupa a maior parte do volume de cada um dos macroporos. O PMP é considerado o conteúdo mínimo de água no solo que a planta não tem capacidade de extrair, abaixo do qual a planta não sobrevive. Na medida em que ocorre a evapotranspiração, o armazenamento de água no solo diminui e as partículas de solo passam a reter mais fortemente a água, o que diminui a água disponível às plantas (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). As precipitações pluviais deveriam repor a água evapotranspirada do solo. Entretanto, períodos sem ou de baixa precipitação pluvial e de alta demanda hídrica atmosférica são comuns em diferentes regiões edafoclimáticas do mundo, levando à ocorrência de déficit hídrico nas plantas, redução do crescimento e alteração no desenvolvimento das culturas agrícolas (SANTOS; CARLESSO, 1998).

No mundo todo ocorre a redução da produção de alimentos e sérios prejuízos econômicos em grande parte devido ao déficit hídrico. Por essa razão, o déficit hídrico é o fenômeno abiótico mais estudado internacionalmente. Atualmente pesquisadores têm investido tempo e recursos financeiros para identificar genes de tolerância à seca através de marcadores moleculares e desenvolver plantas mais tolerantes (ZIMMERMANN et al., 2008; JANGPROMMA et al., 2010).

Os primeiros sintomas da deficiência hídrica na planta, após a sinalização que parte da raiz, são o murchamento foliar, o fechamento estomático e a redução significativa da transpiração (GHOLINEZHAD; SAJEDI, 2012). Conseqüentemente ocorre a redução da taxa fotossintética, da expansão da área foliar, da taxa de enchimento de grãos e da produtividade da cultura do girassol (GÖKSOY et al., 2004). Com a ocorrência do déficit hídrico, ocorrem modificações morfofisiológicas na planta para se adaptar a nova condição imposta. Essa

capacidade é chamada plasticidade fenotípica, que permite às plantas responder a flutuações ambientais. Uma resposta como tentativa de contornar o déficit hídrico, é o aprofundamento radicular, que tem por objetivo alcançar camadas mais profundas do solo, com maior disponibilidade de água. Porém, para isso ocorrer, é necessário que a planta gaste energia para aprofundar o sistema radicular, em detrimento do crescimento da parte aérea (KAGE; KOCHLER; STÜTZEL, 2004).

O girassol é uma planta considerada de maior tolerância ao déficit hídrico que outras culturas anuais, característica conferida principalmente pela sua alta capacidade de aprofundamento radicular (EMBRAPA, 2007; RAUF; SADAQAT, 2007). Mesmo assim, a cultura do girassol sofre prejuízos com o déficit hídrico. Ungaro et al. (2009) afirmam que se o déficit hídrico for precoce no ciclo do girassol, pode até haver redução do vigor da planta e do número total de folhas, afetando até mesmo o desenvolvimento e não apenas o crescimento. Segundo Barni et al. (1995), o subperíodo crítico do girassol ao déficit hídrico ocorre na fase reprodutiva, do estágio de início da formação do capítulo até o término da antese (R1-R6). A ocorrência de déficit hídrico nesse subperíodo afeta significativamente a produtividade do girassol, porém, conforme Silva et al. (2014), o déficit hídrico ocorrido também em outros subperíodos não deixa de ter um efeito negativo acumulado na produção.

### 2.3 EXCESSO HÍDRICO NAS CULTURAS AGRÍCOLAS

A ocorrência de excesso hídrico é frequente no RS, sendo de curta ou longa duração. Regiões com relevo ondulado apresentam excesso hídrico de curta duração após chuvas em dias consecutivos, comum em anos El Niño (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000), enquanto regiões mais planas estão sujeitas a períodos mais prolongados de encharcamento do solo (STRECK et al., 2008). Em regiões que recebem um grande volume de chuvas e de relevo plano, é comum a ocorrência de excesso hídrico e a consequente redução da produtividade de grãos.

O excesso hídrico ocorre pelo preenchimento dos macroporos do solo com água, cuja função principal seria alocar a fase gasosa do solo. Esse preenchimento ocorre quando a precipitação pluvial, somada ao armazenamento, supera a CAD, diminuindo a presença de O<sub>2</sub> no solo na quantidade que limita o crescimento das plantas (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Com a insuficiência do suprimento de O<sub>2</sub> nas células radiculares, as atividades metabólicas podem ser paralisadas ou extremamente reduzidas. A deficiência de O<sub>2</sub> é denominada hipoxia, enquanto a ausência de O<sub>2</sub> é chamada anoxia (LICAUSI, 2011).



As plantas têm a necessidade 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. A partir de 15 horas de anoxia, podem ocorrer danos irreversíveis à estrutura mitocondrial, ao metabolismo energético e à viabilidade celular (ANDREEV; GENEROZOVA; VARTAPETIAN, 1991). Somente as espécies que são originárias de ambientes de solos úmidos evoluíram para germinar e crescer em condição de anoxia (WAMPLE; DAVIS, 1983).

O primeiro sintoma das plantas ao excesso hídrico é o fechamento estomático, induzido pelo acúmulo de ácido abscísico (YORDANOVA; UZUNOVA; POPOVA, 2005). Havendo o fechamento estomático, as folhas murcham e com o passar do tempo reduzem a concentração de clorofila e proteínas nas folhas levando a drástica redução da fotossíntese (ZAIDI; RAFIQUE; SINGH, 2003; YORDANOVA; POPOVA, 2007). Podem ocorrer danos foto-oxidativos nas folhas da planta pelo acúmulo de água oxigenada ( $H_2O_2$ ) cujo excesso é um potencial causador de danos nas células foliares (LIN et al., 2004; BANSAL; SRIVASTAVA, 2012).

Outra resposta das plantas ao excesso hídrico ocorre nas raízes. O crescimento de raízes seminais pode ser paralisado em poucas horas após a ocorrência do encharcamento do solo, podendo haver até senescência de raízes. Entretanto, a planta passa a produzir raízes adventícias e secundárias próximas a superfície do solo (PIRES; SOPRANO; CASSOL, 2002; LOOSE, 2013). Segundo Vartapetian e Jackson (1997), essa capacidade de regenerar novas raízes para substituir aquelas asfíxiadas é uma das respostas da planta para tolerar o excesso hídrico, juntamente com a capacidade da planta entrar em estado quase de dormência e a capacidade de fechamento de estômatos e curvatura das folhas.

Como consequência do excesso hídrico, em diferentes culturas agrícolas de terras altas, as biomassas da parte aérea e raiz são reduzidas e a relação parte aérea/raiz afetada, a área foliar das plantas é reduzida e, conseqüentemente, os componentes da produtividade de grãos são prejudicados (SCHÖFFEL et al., 2001; BANGE; MILROY; THONGBAI, 2004).

O trabalho científico de Orchard e Jessop (1984) evidencia o efeito negativo do excesso hídrico sobre a cultura do girassol. Diminuição da expansão foliar e do crescimento, senescência de folhas, mudanças na duração e taxa de enchimento de grãos, redução na fotossíntese, na biomassa das raízes e na produtividade, são algumas das respostas do girassol ao excesso hídrico (GRASSINI et al., 2007).

Porém, a distribuição radicular no solo como resposta do girassol ao excesso hídrico não tem sido estudado. Além disso, necessita-se de mais informações do crescimento da

cultura sob condição de excesso hídrico a campo para inclusão das variáveis nos modelos matemáticos de crescimento da cultura.

#### 2.4 SINALIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ESTRESSE E MECANISMOS DE TOLERÂNCIA DAS PLANTAS

Uma série de pesquisas tem comprovado que existem vários mecanismos de respostas das plantas aos fenômenos abióticos e bióticos. Entretanto, a complexidade das inter-relações entre os diferentes mecanismos tem sido um desafio dos pesquisadores para entender com precisão os processos de resposta fisiológica das plantas que ocorrem concomitantemente (FAROOQ et al., 2009).

A maioria das respostas das plantas é controlada pelos hormônios vegetais. Determinados hormônios são responsáveis por estimular o crescimento e o desenvolvimento vegetal, enquanto outros são responsáveis pela estagnação do crescimento, equilíbrio entre parte aérea/raiz, estimulação do crescimento de raízes, maturação e até senescência de folhas e de raízes (WILSON, 1988). Os hormônios vegetais mais conhecidos e estudados são o Ácido Abscísico (ABA), as Giberelinas, as Citocininas, as Auxinas e o Etileno. Porém, existem outros hormônios vegetais recentemente descobertos como Jasmonato, Brassinosteróides, Estrigolactonas e o Ácido Salicílico. A formação desses hormônios é dada pela sequência de DNA que é intrínseca da espécie e da própria cultivar. A sequência genômica define o grau de tolerância e de adaptabilidade da espécie ou da cultivar à condição adversa de disponibilidade hídrica imposta pelo ambiente (CHAVES; MAROCO; PEREIRA, 2003).

O fechamento estomático ocorre como uma defesa da planta na tentativa de controlar e dosar a perda de água evitando a desidratação completa e a morte. A maioria dos pesquisadores até os anos 1980 acreditavam que a sinalização hidráulica era o mecanismo para o fechamento estomático (STRECK, 2004). Essa teoria foi refutada por haver redução do potencial hídrico das folhas antes mesmo das raízes (KRAMER, 1988).

A sinalização química passou a ser estudada e descobriu-se um maior acúmulo de ácido abscísico (ABA) no xilema, sendo transportado para as folhas de plantas estressadas (DAVIES; ZHANG, 1991). Atualmente a maioria dos fisiologistas defende que o ABA é o mensageiro primário da sinalização química para as folhas numa rota de transdução de sinal (TURNER; WRIGHT; SIDDIQUE, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2012). O ABA é sintetizado nos plastídeos das células e translocado pelo xilema e pelo floema.

Os pesquisadores acreditam que o ABA seja sintetizado principalmente nas células radiculares e translocado para a parte aérea (FAROOQ et al., 2009). Entretanto, qualquer tecido vegetal pode sintetizar o ABA, principalmente quando há redução do potencial hídrico celular (ZHANG; TARDIEU, 1996; CUTLER; KROCHKO, 1999). O que se tem comprovado é que a concentração de ABA no xilema aumenta sob déficit hídrico, sendo levado até as folhas (WILKINSON; DAVIES, 2002).

Nas células-guarda dos estômatos existe uma proteína receptora do ABA, que ao recebê-lo muda de configuração ativando a abertura dos canais de  $\text{Ca}^{2+}$ , que é o mensageiro secundário no citoplasma (TAIZ; ZEIGER, 2012). Esse aumento da concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  no citoplasma faz com que a célula perca solutos e turgor celular, fechando o estômato. Entretanto, em dias de alta demanda hídrica o fechamento estomático pode ocorrer pelo incremento de pH da seiva no xilema e não apenas pelo ABA, que levaria mais tempo para ser translocado (WILKINSON; DAVIES, 2002).

Em plantas sob excesso hídrico os sintomas são semelhantes aos do déficit hídrico pelo fato de que na parte aérea ocorre o mesmo fenômeno, a deficiência hídrica. Essa deficiência hídrica não ocorre pela limitação de água no solo, mas sim pela baixa atividade radicular em decorrência da hipoxia das células radiculares causada pela exposição ao excesso hídrico (DREW, 1997). A redução da produção de ATP e a desnaturação de proteínas levam à drástica redução da atividade de raízes, que não absorvem e conduzem a água na quantidade demandada pela parte aérea (YORDANOVA; POPOVA, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2012). Nessa condição o fechamento estomático também ocorre em resposta à concentração de ABA nas folhas. Conforme Zhang e Davies (1987), em apenas 14 horas após o início do excesso hídrico a concentração de ABA aumenta significativamente nas raízes da ervilha (*Pisum sativum*), enquanto nas folhas leva 36 horas para aumentar a concentração. Essa pesquisa trás evidências de que a raiz emite o sinal para a parte aérea pela síntese de ABA.

As auxinas e as citocininas atuam de forma antagônica ao ABA (ACHARYA; ASSMANN, 2009). Ambas possuem relação com a abertura estomática. O incremento da concentração de citocinina no xilema leva a redução da sensibilidade dos estômatos ao ABA promovendo a abertura estomática (CHAVES; MAROCO; PEREIRA, 2003). Além disso, as citocininas atuam na divisão celular e expansão celular estimulando o desenvolvimento dos diferentes órgãos dos vegetais, com a nodulação, além de opor a senescência foliar e a invasão de patógenos (TO; KIEBER, 2008). As auxinas atuam promovendo a divisão celular, alongação celular, diferenciação dos tecidos vasculares, alongação de hastes e dominância apical (KEPINSKI, 2007). Ambos hormônios podem ser sintetizados em qualquer célula, mas

auxinas são sintetizadas em maior concentração nos meristemas apicais da parte aérea enquanto as citocininas nos meristemas radiculares (ALONI et al., 2006).

As giberelinas são promotoras de crescimento sintetizadas nos meristemas, atuando na quebra de dormência, germinação de sementes e no desenvolvimento de folhas, flores e frutos (YAMAGUCHI, 2008). Em plantas sob deficiência hídrica a concentração de giberelinas diminui, reduzindo o desenvolvimento das plantas, mas não acredita-se que as giberelinas tenham relação com a abertura estomática (ACHARYA; ASSMANN, 2009).

A senescência foliar e radicular se dá pela presença do gás etileno, que também é considerado um hormônio vegetal. Atua na senescência dos órgãos vegetais, na queda de folhas, no amadurecimento de frutos, no desenvolvimento dos pelos radiculares e na formação de raízes adventícias. O etileno possui também uma função crucial na sinalização do estresse hídrico, mais significativo em plantas sob excesso hídrico do que déficit hídrico (ACHARYA; ASSMANN, 2009). Entretanto, para não haver uma excessiva produção de etileno e ocorrer uma rápida morte dos tecidos da planta, um aumento da concentração de ABA é necessário, sendo que os dois hormônios são antagônicos (SHARP; LENOBLE, 2002).

Os brassinosteróides são hormônios promotores de crescimento. Atuam na germinação, alongação de hastes, diferenciação vascular, crescimento do tubo polínico e no amadurecimento de frutos, além de regular o desenvolvimento e a função dos estômatos (ACHARYA; ASSMANN, 2009). Já os jasmonatos e o ácido salicílico estão ligados à defesa da planta contra estresses bióticos e abióticos (HUANG et al., 2008). Dessa forma, esses três hormônios vegetais atuam junto com o ABA na regulação do fechamento estomático, enquanto auxinas e citocininas são reguladores da abertura estomática (ACHARYA; ASSMANN, 2009).

Assim como os hormônios atuam na sinalização de um estresse abiótico, eles também atuam na adaptação das plantas a essa condição ambiental imposta, de forma a garantir a sobrevivência da espécie. Na condição de déficit hídrico, o aumento da concentração de ABA nas folhas reduz as perdas de água pelo fechamento dos estômatos. Dessa forma o ABA atua como inibidor do crescimento da parte aérea (SHARP; LENOBLE, 2002), enquanto auxinas e as citocininas atuam nas raízes como forma de promover o crescimento e aprofundamento radicular (ALONI et al., 2006). As citocininas sintetizadas no meristema apical radicular promovem a dominância apical e a diferenciação vascular. Uma alta concentração de citocininas na coifa da raiz principal inibe o crescimento de raízes secundárias promovendo o crescimento da raiz principal, enquanto as auxinas promovem o desenvolvimento de raízes secundárias (ALONI et al., 2006).

Tanto as citocininas quanto as auxinas são extremamente importantes para a adaptação das plantas à condição de déficit hídrico. As citocininas por promover o aprofundamento radicular para alcançar camadas de solo com maior umidade e as auxinas pelo desenvolvimento das raízes secundárias e pelos radiculares importantes na absorção de nutrientes (ALONI et al., 2006). Xiong et al. (2006) relatam que o próprio ABA pode inibir o crescimento de raízes secundárias para promover o aprofundamento radicular sob déficit hídrico. O gás etileno é outro hormônio que auxilia as plantas pela adaptação com formação de raízes secundárias e adventícias. Isso faz com que o etileno seja mais importante na condição de excesso hídrico, pois além de acelerar a senescência das raízes asfixiadas pela falta de O<sub>2</sub>, promove a formação de raízes secundárias e adventícias próximas à superfície do solo (JACKSON, 1985; ACHARYA; ASSMANN, 2009).

Alguns mecanismos de tolerância das plantas a estresses hídricos são: a capacidade de entrar em estado de quase dormência com inibição do crescimento da parte aérea; a maior formação de raízes (adventícias e secundárias no caso de excesso, aprofundamento radicular no caso de déficit); e a capacidade de regenerar novas raízes, além do fechamento de estômatos e a mudança da curvatura das folhas (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). A interação entre os diferentes hormônios e o equilíbrio entre eles definem o potencial de cada espécie e, dentro da espécie, de cada cultivar de adaptar-se a essa condição hídrica do solo.

## 2.5 MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE PLANTAS

Modelos matemáticos têm sido desenvolvidos e utilizados fortemente nos últimos anos, com a finalidade de simular e descrever a produtividade, o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Os primeiros modelos eram bastante simplificados. Eles surgiram nos anos 1960, tendo como principal objetivo simular a produtividade de culturas agrícolas. Aos poucos foram se introduzindo novas variáveis aos modelos, possibilitado pelo advento tecnológico dos computadores, podendo-se desenvolver complexos modelos de simulação de culturas agrícolas, tornando-os mais abrangentes e confiáveis. Alguns dos modelos matemáticos atuais operam a intervalos diários, incluindo os setores: desenvolvimento fenológico, crescimento em biomassa seca, fotossíntese e eficiência do uso da radiação, e nutrição mineral (MCMASTER et al., 2011).

Existem modelos simplificados e modelos mais complexos. Os modelos matemáticos simplificados são utilizados para simular o desenvolvimento de uma cultura, tendo como base a soma de unidades de calor necessárias para a cultura atingir determinado estágio fenológico

ou completar o ciclo (STRECK et al., 2003; STRECK; BOSCO; LAGO, 2008). Esses modelos utilizam basicamente a temperatura do ar e o fotoperíodo (em culturas responsivas ao comprimento do dia), taxa de emissão de folhas e o número de unidades de calor.

Para modelos de crescimento em biomassa e produtividade são necessários uma série de parâmetros. Connor e Fereres (1999) dividem em três setores as variáveis pertencentes a um modelo complexo. O primeiro é referente ao desenvolvimento fenológico da cultura, que engloba a soma térmica, o número de folhas e os parâmetros relacionados ao dossel. O segundo refere-se a umidade do solo, levando em conta a quantidade de água no solo, a profundidade de raízes, a evapotranspiração do cultivo, a absorção de água, a suscetibilidade da planta ao déficit hídrico, a densidade de comprimento de raiz, atividade radicular, abertura estomática e taxa fotossintética. O terceiro setor relacionado é o da produção de biomassa seca, que contempla a fotossíntese, a eficiência do uso da radiação, o índice de área foliar, a massa foliar específica e a partição de massa seca.

Atualmente os esforços de pesquisadores estão em melhorar os modelos de simulações de culturas pela incorporação de respostas ao estresse hídrico, além de interpretar e compreender o tempo térmico (MCMASTER; WILHELM, 2003). Também tem sido pesquisada a partição de fotoassimilados entre as partes da planta, o crescimento e distribuição de raízes (KAGE; KOCHLER; STÜTZEL, 2004). Esse conhecimento é importante pelo fato de que quando a planta sofre um estresse, tanto por déficit quanto por excesso hídrico, ocorrem respostas fisiológicas e morfológicas, na tentativa de contornar a situação de estresse. Assim, a partir da variável de partição de matéria seca, se pode ter uma melhor estimativa para condição de estresse.

Em função da grande mão de obra que se necessita, poucos trabalhos têm sido realizados com raízes, sendo de grande importância esse estudo, principalmente em condição de estresse. Na cultura do girassol, apesar de haver alguns modelos matemáticos de desenvolvimento da cultura (CHAPMAN; HAMMER; MEINKE, 1993), eles não contemplam a presença de estresse por déficit e excesso hídrico nem abordam sobre o aprofundamento de raízes. Além disso, para a utilização de modelos já estabelecidos, é necessário o teste e possível adaptação dos mesmos, para as condições locais.

## 2.6 HIPÓTESES

A ocorrência de estresse por déficit e por excesso hídrico causa redução da produtividade do girassol, alteração no perfil de ácidos graxos, além de alteração no crescimento e distribuição de raízes no solo.

O tipo de solo e a época de semeadura têm influencia nas respostas de crescimento das raízes e da parte aérea do girassol sob diferentes condições hídricas do solo.

A inclusão do efeito do estresse hídrico (excesso e déficit) na modelagem do aprofundamento radicular e do crescimento do girassol em matéria seca amplia a utilização de modelos para ambientes com condições hídricas adversas.





### **3. ARTIGO I – Produtividade e qualidade do óleo de girassol sob três regimes hídricos em Argissolo e Latossolo**

**RESUMO:** A ocorrência de eventos extremos de disponibilidade hídrica no solo é um dos principais fatores que limitam a produtividade das culturas agrícolas. Esse trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do déficit e do excesso hídrico sobre a produtividade, teor de óleo e perfil de ácidos graxos do girassol cultivado na Safra e na Safrinha em um Argissolo e um Latossolo no Rio Grande do Sul. O experimento foi conduzido em Santa Maria/RS (Argissolo) e Panambi/RS (Latosso) com três condições hídricas (déficit hídrico, excesso hídrico e controle) no delineamento de blocos ao acaso. As semeaduras do híbrido Helio 250 foram realizadas no início de setembro (Safra) e início de janeiro (Safrinha) em ambos os solos. Realizou-se o balanço hídrico sequencial diário para determinar a condição hídrica do solo ao longo do ciclo. A produtividade, os componentes da produtividade, o teor de óleo, o rendimento de óleo e o perfil de ácidos graxos foram as variáveis analisadas. A produtividade e os componentes da produtividade foram afetados pela condição hídrica, pela época de semeadura e pela classe de solo. Os piores resultados foram encontrados para o déficit hídrico seguido pelo excesso hídrico. O fator “solo” não teve efeito significativo sobre o teor e o rendimento de óleo e pouco alterou a qualidade do óleo. O déficit hídrico foi mais prejudicial à produtividade e à qualidade do óleo do que o excesso hídrico, aos níveis em que foram aplicados. O déficit hídrico foi responsável pelo aumento do ácido graxo Oleico e redução do Linoleico.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Helianthus annuus* L.. Estresse hídrico. Ácidos graxos.

#### **Yield and oil quality of sunflower under three water regimes in a Ultisol and a Oxisol**

**ABSTRACT:** The occurrence of extreme soil water availability events is a major factor limiting the yield of agricultural crops. This study aimed to evaluate the effect of water deficit and water surplus on yield, oil content and fatty acid profile of sunflower grown in early and late sowing dates in a Ultisol and a Oxisol in Rio Grande do Sul. The experiment was carried out in Santa Maria/RS (Ultisol) and Panambi/RS (Oxisol), Brazil, with three water conditions (water deficit, water surplus and control) in a randomized block design. Sowing of hybrid Helio 250 was carried out in early September (early sowing date) and early January (late sowing date) in both soils. The daily sequential water balance was made to determine the

water condition on soil along the cycle. Yield, yield components, oil content, oil yield and fatty acid profile were the variables analyzed. The yield and yield components were affected by water condition, by sowing dates and soil class. The worst results were found for the water deficit followed by water surplus. The factor "soil" had no significant effect on the oil content, oil yield or oil quality. The water deficit was more harmful to yield and oil quality than water surplus, in levels that were applied. The water deficit was responsible for increased Oleic fatty acid and reduction of Linoleic.

**KEY WORDS:** *Helianthus annuus* L.. Water stress. Fatty acids.

## INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma oleaginosa mundialmente cultivada e reconhecida por sua qualidade nutricional. Seu óleo é rico em ácidos graxos de cadeia longa insaturada (CONNOR; SADRAS, 1992). Em 2013, a produção mundial de girassol foi de 44,7 milhões de toneladas, sendo os maiores produtores mundiais a Ucrânia, a Rússia, a Argentina, a China e a União Europeia (FAOSTAT, 2015). A produção brasileira de girassol na safra 2014/15 foi de 150,5 mil toneladas (CONAB, 2015). A maior parte da safra é destinada à produção de óleo de cozinha, mas também é utilizada na alimentação animal e na produção de biodiesel (ANTOLIN et al., 2002; SPINELLI; JEZ; BASOSI, 2012).

A produtividade do girassol está altamente relacionada à condição hídrica do solo. A ocorrência de déficit ou excesso hídrico, em intensidades variadas, depende do regime de chuvas do local e das condições meteorológicas intrínsecas da época de semeadura (UNGARO et al., 2009; HELDWEIN et al., 2014). A ocorrência desses eventos extremos de disponibilidade hídrica, além de reduzirem a produtividade da cultura, podem afetar o teor de óleo e o perfil de ácidos graxos do óleo (FLAGELLA et al., 2002; SESEN et al., 2011; YASUMOTO et al., 2011).

O déficit hídrico ocorre quando não há a necessária reposição da água no solo, por chuva ou irrigação, da quantidade evapotranspirada. O armazenamento de água no solo diminui e a matriz do solo passa a reter mais fortemente a água, reduzindo a água disponível às plantas (GARDNER, 1960; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Os primeiros sintomas de déficit hídrico na planta de girassol são o murchamento foliar, a redução significativa da condutância estomática e da transpiração (GHOLINEZHAD; SAJEDI, 2012).

Conseqüentemente ocorre a redução da taxa fotossintética, da expansão da área foliar, da taxa de enchimento de grãos e da produtividade (GÖKSOY et al., 2004; KARAM et al., 2007).

O excesso hídrico ocorre quando os macroporos do solo ficam preenchidos com água e a quantidade de O<sub>2</sub> no solo é insuficiente. Isso ocorre quando a chuva somada ao armazenamento de água no solo supera a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), principalmente quando alcança plena saturação do solo (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). A insuficiência de O<sub>2</sub> nas células radiculares leva à paralisação ou redução extrema da atividade metabólica radicular (ANDREEV; GENEROZOVA; VARTAPETIAN, 1991).

Os sintomas do excesso hídrico são parecidos com os do déficit hídrico. O fechamento estomático é induzido pelo acúmulo de ácido abscísico nas folhas (YORDANOVA; UZUNOVA; POPOVA, 2005). As folhas murçam, havendo o fechamento estomático e com o passar do tempo reduzem a concentração de clorofila e proteínas nas folhas levando a uma drástica redução da fotossíntese (ZAIDI; RAFIQUE; SINGH, 2003; YORDANOVA; POPOVA, 2007). Diminuição da expansão foliar e do crescimento, senescência de folhas, redução na fotossíntese, mudanças na duração e na taxa de enchimento de grãos, na biomassa das raízes e na produtividade, são algumas das respostas do girassol ao excesso hídrico (ORCHARD; JESSOP, 1984; GRASSINI et al., 2007).

O teor de óleo nos grãos é outra importante variável afetada pelo déficit e pelo excesso hídrico. Grassini et al. (2007) e Yasumoto et al. (2011) relatam que o aumento do excesso hídrico reduz a porcentagem de óleo nos grãos de girassol. Da mesma forma, Flagella et al. (2002), Sesen et al. (2011) e Jalilian et al. (2012) verificaram redução significativa da porcentagem de óleo em girassol conduzido sob déficit hídrico.

O estresse hídrico causa também a alteração no perfil de ácidos graxos do óleo do girassol. Os ácidos graxos Oleico e Linoleico são os principais ácidos graxos insaturados do girassol, enquanto os ácidos Palmítico e Esteárico são os seus principais ácidos graxos saturados. A soma desses quatro ácidos graxos principais no girassol perfaz mais de 97% do total do óleo (CONNOR; SADRAS, 1992; FLAGELLA et al., 2002). Os mais saudáveis e abundantes no girassol são os ácidos graxos insaturados, sendo que o Ácido Oleico tem um maior grau de estabilidade à oxidação do que outros ácidos graxos (FULLER; DIAMOND; APPLEWHITE, 1967), conferindo maior estabilidade para fritura. Por outro lado, para produção de margarina é desejável um óleo com maior concentração de ácido linoleico (CONNOR; SADRAS, 1992).

O déficit hídrico leva a um aumento na proporção oleico/linoleico (FLAGELLA et al., 2002; SESEN et al., 2011). Por outro lado, o excesso hídrico reduz a proporção oleico/linoleico (YASUMOTO et al., 2011; MULA AHMED et al., 2007). Entretanto, é a temperatura do ar que possui a maior influencia sobre o perfil de ácidos graxos do girassol (CONNOR; SADRAS, 1992). Temperatura do ar elevada durante a maturação elevam a quantidade de ácido oleico além de aumentar a quantidade de ácidos graxos saturados (UNGER, 1980; TRÉMOLIÈRES; DUBACQ; DRAPIER, 1982). Isso ocorre por causa da ativação da enzima Oleil-CoA dessaturase que leva à quebra de ligações duplas, produzindo mais ácidos graxos saturados, mais Ácido Oleico e menos Ácido Linoléico (CONNOR; SADRAS, 1992).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do déficit e do excesso hídrico sobre a produtividade de grãos, o teor de óleo e o perfil de ácidos graxos do girassol cultivado na Safra e na Safrinha em dois solos do Rio Grande do Sul (Argissolo e Latossolo).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nas cidades de Santa Maria e Panambi. Santa Maria está localizada na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul (RS) (latitude: 29° 43' 23''S, longitude: 53° 43' 15''W e altitude: 95 m) e Panambi no Planalto Médio do RS (latitude: 28° 16' 02''S, longitude: 53° 34' 43''W; e altitude: 419 m). Uma das principais diferenças entre os locais está nas características de cada solo. O solo da área experimental de Santa Maria é arenoso, com horizonte B textural, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico. O solo da área experimental de Panambi apresenta alto teor de argila e horizonte B latossólico, sendo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico (STRECK et al., 2008). O clima das duas regiões é classificado como tipo fundamental Subtropical úmido (Cfa), com predominância de períodos com excesso hídrico no inverno e início de primavera e períodos aperiódicos de déficit hídrico, principalmente de novembro a março (BURIOL et al., 1980; CARDOSO, 2005; HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

Após a saturação do solo, determinou-se a umidade de saturação e a curva de drenagem de cada solo pelo método descrito por Bernardo; Soares e Mantovani (2006) (APÊNDICE A). Foram coletadas amostras de solo a cada 5 cm de profundidade e a cada 12 horas, até completar 72 horas, determinando-se a umidade da capacidade de campo após estabilização da curva de drenagem. Para cada camada de solo determinou-se o limite inferior de água disponível às plantas (PMP = ponto de murcha permanente) no equipamento WP4

(Dewpoint Potential Meter – Decagon Devices) no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, considerando-se o limite inferior a umidade do solo na tensão de 1,5 MPa (APÊNDICE B).

O solo das áreas experimentais foi corrigido por calagem e adubação de NPK previamente à semeadura de aveia, cultura antecessora ao girassol. A semeadura do girassol, híbrido Helio 250, foi realizada em semeadura direta na época de Safra (início de setembro) e Safrinha (início de janeiro) em Santa Maria (06/09/2013, 06/01/2014 e 06/01/2015) e em Panambi (07/09/2013 e 07/01/2014). O espaçamento utilizado foi de 0,50 m entre linhas e 0,45 m entre plantas, obtido após o desbaste, resultando em uma população de 44.444 plantas ha<sup>-1</sup>. No momento da semeadura aplicou-se a adubação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (5-20-20) e 30 kg ha<sup>-1</sup> de Bórax, sendo a adubação de cobertura de 220 kg ha<sup>-1</sup> de ureia aplicada no estágio V10, observada a análise química do solo (ANEXOS B e C). Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme as indicações técnicas para a cultura do girassol (EMBRAPA, 2007).

O experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos ao acaso, com disposição em faixas e quatro repetições com parcelas de 22 m<sup>2</sup>. Foram considerados três fatores: três disponibilidades hídricas (controle, déficit e excesso hídrico), duas épocas de semeadura (Safra e Safrinha) e dois locais com diferentes solos (Argissolo e Latossolo); portanto, foi considerado um experimento trifatorial (3x2x2).

Os tratamentos de condição hídrica foram de: déficit hídrico, com irrigação abaixo da necessidade da cultura, mantendo-se o armazenamento (Armaz) entre 40 e 60% da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD); controle, com a melhor condição de disponibilidade hídrica às plantas, mantendo-se o Armaz entre 75 e 100% da CAD, evitando excessos e déficits hídricos; excesso hídrico, tratamento no qual se aplicou irrigação em excesso, visando alcançar completa saturação e mantendo o Armaz acima de 90% da CAD. Assim, as irrigações foram feitas até o ponto detectado como de saturação do solo, que foi até 167 mm no Argissolo e de 144 mm no Latossolo. Esses níveis de condição hídrica foram utilizados com base nos resultados obtidos para a cultura do milho (BERGONCI et al., 2001). A aplicação dos tratamentos iniciou no estágio V6 (SCHNEITER; MILLER, 1981), restringindo-se a entrada das chuvas nas parcelas do tratamento de “déficit hídrico” e irrigando em excesso nas parcelas do tratamento de “excesso hídrico”.

A condição hídrica do solo foi determinada pelo balanço hídrico sequencial (BHS) (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) em escala diária (PEREIRA, 2005) com a adaptação de Dourado Neto et al. (1999) para a CAD de cada solo (APÊNDICES F e G). Conforme Dourado Neto et al. (1999) a CAD varia ao longo do ciclo em função do crescimento

radicular da cultura. No início do ciclo, a cultura não apresenta raízes profundas e, portanto, utiliza apenas a água da camada superficial, considerando-se neste caso até 0,10 m de profundidade. Com o desenvolvimento da planta, o crescimento das raízes em profundidade permite a planta explorar a água em camadas mais profundas de solo. No caso do girassol, a profundidade efetiva determinada no momento da antese no Argissolo Vermelho Distrófico arênico por Maldaner (2012) foi de 0,60 m.

Assim, foi considerada uma CAD inicial ( $CAD_{in}$ ) para a profundidade de 0,10 m e uma CAD final ( $CAD_f$ ) para a profundidade de 0,60 m. A equação proposta por Dourado Neto et al. (1999) é descrita abaixo:

$$CAD_n = CAD_{in} + \left( \frac{CAD_f - CAD_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \cos \left[ \left( \pi^{\left( \frac{1}{F} \right)} \cdot \frac{ST_{(n)}}{ST} \right)^F \right] \right\} \quad (1)$$

em que:  $ST_{(n)}$  é o valor de soma térmica acumulada até o dia “n”, em  $^{\circ}C \text{ dia}^{-1}$ ;

$ST$  é o valor de soma térmica acumulada necessário para atingir a  $CAD_f$ , em  $^{\circ}C \text{ dia}^{-1}$ ;

$F$  é o coeficiente exponencial, que para o girassol é de 0,80 (MALDANER, 2012);

$CAD_{in}$  é a CAD inicial para a profundidade de 0,10 m, em mm;

$CAD_f$  é a CAD final para a profundidade de 0,60 m, em mm;

$CAD_n$  é a CAD do dia “n”, em mm.

A soma térmica foi realizada utilizando-se as três temperaturas cardinais, considerando a temperatura base para o girassol de  $4,2^{\circ}C$  (SENTELHAS et al., 1994), temperatura ótima de  $27^{\circ}C$  e temperatura base superior de  $34^{\circ}C$  (WARREN-WILSON, 1966 apud UNGARO et al., 2009). A soma térmica foi calculada pelo método descrito por Rosa et al. (2009):

$$STd = (T_{méd} - T_b).1 \text{ dia, quando } T_b < T_{méd} \leq T_{ot}; \quad (2)$$

$$STd = \{(T_{ot} - T_b).[(T_B - T_{méd})/(T_B - T_{ot})]\}.1 \text{ dia, quando } T_{ot} < T_{méd} \leq T_B; \quad (3)$$

se  $T_{méd} < T_b$ , então  $T_{méd} = T_b$ ;

se  $T_{méd} > T_B$ , então  $T_{méd} = T_B$

em que:  $STd$  = soma térmica diária;

$T_{méd}$  = temperatura do ar média diária;

$T_b$  = Temperatura base inferior;

TB = Temperatura base superior;

Tot = Temperatura ótima.

Houve outro ajuste para a utilização do BHS de Pereira (2005) na escala diária, pois este não considera o fato de que o aprofundamento da raiz a expõe ao contato com solo mais úmido, umidade que precisa ser contabilizada no modelo. Considerando-se que o solo abaixo da linha das raízes encontra-se em umidade de capacidade de campo, o Armazenamento (Armaz, em mm) passa a ter uma nova computação:

$$\text{Armaz} = (\text{CAD} * e^{(\text{Neg.Ac.n}/\text{CAD})}) + \{(\text{PROF}_n - \text{PROF}_{n-1}) * (\text{LS} - \text{LI}) * \text{DS}\} \quad (4)$$

em que: Neg.Ac.n é o negativo acumulado do balanço hídrico sequencial da cultura no dia “n”, calculado a partir da diferença entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração da cultura (ETc);

PROF<sub>n</sub> = profundidade do sistema radicular no dia “n” em mm;

PROF<sub>n-1</sub> = profundidade do sistema radicular no dia “n-1” em mm;

LS = é o limite superior (CC) de umidade gravimétrica do horizonte do solo em g g<sup>-1</sup>;

LI = é o limite inferior (PMP) de umidade gravimétrica do horizonte do solo em g g<sup>-1</sup>;

DS = densidade do solo em g cm<sup>-3</sup>.

A profundidade radicular foi calculada adaptando-se a equação de Dourado Neto et al (1999), utilizada para a CAD, à profundidade:

$$\text{PROF}_n = \text{PROF}_{in} + \left( \frac{\text{PROF}_f - \text{PROF}_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \text{COS} \left[ \left( \pi^{\left( \frac{1}{F} \right)} \cdot \frac{\text{ST}_{(n)}}{\text{ST}} \right)^F \right] \right\} \quad (5)$$

em que: PROF<sub>in</sub> = é a profundidade inicial considerada de 0,10 m;

PROF<sub>f</sub> = é a profundidade final efetiva para o girassol, considerada de 0,60 m, conforme verificado por Maldaner (2012) para Argissolo.

Os dados meteorológicos foram obtidos das estações meteorológicas automáticas do INMET, localizadas em Santa Maria e em Cruz Alta (representando a região de Panambi). Os dados de precipitação pluvial foram coletados nas áreas experimentais com o uso de

pluviômetros e corrigidos para “precipitação efetiva”, utilizando-se o valor da curva número (CN) de 62 e 82 para Argissolo e Latossolo, respectivamente, conforme Tucci (2004). Os critérios para a definição no CN foram a textura do solo e o seu uso com plantações de cereais cultivados em curvas de nível. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith com ajuste da razão de radiação em substituição da razão de insolação na equação de Brunt-Penman proposta por Righi et al. (2015). A ETc foi calculada conforme Allen et al. (1998):

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (6)$$

em que, ETo é a evapotranspiração de referência e o Kc é o coeficiente de cultura conforme Allen et al. (1998).

Para estimativa da ETo foi utilizado o método de Penman-Monteith, com equação proposta por Allen et al. (1998):

$$ETo = \frac{0,408S(Q^* - G) + \frac{y900u_2(es - e)}{T + 273}}{S + y(1 + 0,34u_2)} \quad (7)$$

em que: S = Tangente à curva de saturação do ar (kPa °C<sup>-1</sup>), Q\* = saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); G é o fluxo de calor no solo (5% do Q\*); y é constante psicrométrica (0,066 kPa °C<sup>-1</sup>); u<sub>2</sub> = velocidade média de vento (m s<sup>-1</sup>) 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 foi calculada pela equação:

$$s = \frac{25051,96 \cdot 10^{[7,5T/(237,5+T)]}}{(T + 237,5)^2} \quad (8)$$

A equação 9 expressa a pressão de saturação de vapor no ar:

$$es = 6,108 * 10^{[7,5T/(237,5+T)]} \quad (9)$$

A pressão parcial de vapor no ar é dada por:

$$e = \frac{es * UR}{100} \quad (10)$$



em que: UR = umidade relativa média diária;

$e$  = pressão parcial de vapor no ar (hPa);

$e_s$  = pressão de saturação de vapor no ar (hPa).

O saldo de radiação foi calculado pela equação abaixo representada:

$$Q^* = 0,77 * R_g - [0,95 * 4,90 * 10^{-9} * (T + 273)^4 * (0,56 - 0,0791 * (e^{0,5})) * (0,1 + 0,9 * R_g / K_o \downarrow)] \quad (11)$$

em que:  $R_g$  é a radiação solar global incidente ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ); 0,77 refere-se à fração do saldo de radiação solar no topo da cultura de referência, descontada a energia solar perdida por reflectância ( $r$  média = -0,23); 0,95 é a emissividade ( $\epsilon$ );  $4,9 * 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ );  $T$  é a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $e$  é a pressão parcial de vapor (hPa);  $K_o \downarrow$  é a radiação solar no topo da troposfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

O tratamento de déficit hídrico contou com uma estrutura de madeira similar a de uma estufa arco pampeano. Essa estrutura permitiu a colocação e retirada do filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD), imediatamente antes e após cada chuva, respectivamente, evitando que a umidade do solo se elevasse acima de 60% da CAD. Além disso, valas de 0,3 m de profundidade no entorno dessa área permitiram a melhor drenagem da área e reduziram a possibilidade de entrada de água por fluxo lateral. A irrigação foi feita por tubos gotejadores instalados na entrelinha de plantas. Para validação do balanço hídrico foram coletadas amostras de solo nos dois locais e nas três condições de disponibilidade hídrica, ao longo do ciclo da cultura do girassol, sendo a umidade determinada comparada com Armaz calculado pelo BHS (APÊNDICE H).

A produtividade, o teor de óleo, o rendimento de óleo, o número médio de grãos por capítulo, a massa de mil grãos, o diâmetro médio de capítulo e o perfil de ácidos graxos do óleo do girassol foram as variáveis analisadas após a maturação e colheita. Em razão de danos ocorridos nas plantas sob déficit hídrico próximo ao final do ciclo da Safrinha de 2014 em Santa Maria, para análise foram utilizados os dados da Safrinha de 2015. A extração de óleo para determinação do teor de óleo foi realizada pelo método Soxhlet com extração por 8 horas consecutivas utilizando-se como solvente o Éter de Petróleo, metodologia descrita pela AOCS (1989). Para a análise do perfil de ácidos graxos a extração do óleo foi feita pela metodologia de Hara e Radin (1978), um método a frio, para evitar qualquer alteração no perfil de ácidos

graxos pela temperatura elevada utilizada no método Soxhlet. A esterificação foi feita pela metodologia descrita por Christie (1982) e o perfil de ácidos graxos foi analisado por cromatografia gasosa. Os resultados foram analisados por análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tanto a produtividade quanto os componentes da produtividade apresentaram diferenças em relação à condição hídrica, à época de semeadura e ao solo (Tabelas 1 e 2). Entretanto, a produtividade não apresentou interação significativa entre os três fatores (APÊNDICE K), enquanto os demais componentes da produtividade apresentaram (APÊNDICES L, M, e N). A produtividade foi maior no tratamento controle (Tabela 1).

A produtividade chegou a  $5192,7 \text{ kg ha}^{-1}$  quando cultivada na Safra, um pouco superior da encontrada para o girassol sob condições ótimas de irrigação no Irã (GHOLINEZHAD; SAJEDI, 2012). Já o déficit hídrico reduziu fortemente a produtividade, que ocorreu em resposta à redução do número de grãos por capítulo e do peso dos grãos (KARAM et al., 2007).

Tabela 1 – Produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) no Argissolo de Santa Maria/RS e no Latossolo de Panambi/RS, conduzido sob condições de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídricos (Def.).

	**Época x Solo		**Época x Con. Híd.				**Solo x Con. Híd.		
	Argissolo	Latossolo		Safra	Safrinha		Argissolo	Latossolo	Média
Safra*	3905,1 a	3466,0 a	Cont.	5192,7 a	3722,1 a	Cont.	4352,3 a	4573,5 a	4462,9 a
Safrinha	2940,3 b	2781,0 b	Exc.	3892,5 b	2780,2 b	Exc.	3460,9 b	3211,8 b	3336,3 b
-	-	-	Déf.	1971,5 c	2068,8 c	Déf.	2455,0 c	1585,3 c	2020,2 c
Média	3422,7 A	3123,5 B	-	3685,6 A	2860,7 B	-	-	-	-
Média ( $\text{kg ha}^{-1}$ )					3273,1				
CV (%)					7,7				

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). \*\*Interação significativa entre os dois fatores. Tratamentos: Controle: controle (manutenção da umidade do solo entre 75 e 100% da CAD); Excesso: excesso hídrico (manutenção da umidade do solo entre 90% da CAD e o ponto de saturação determinado); Déficit: déficit hídrico (manutenção da umidade do solo entre 40 e 60% da CAD). Produtividade de grãos corrigida para 13% de umidade nos grãos.

O tratamento controle apresentou a maior massa de mil grãos, o maior número de grãos por capítulo e o maior diâmetro médio de capítulo ( $\emptyset$ ) (Tabela 2), resultando em maior produtividade (Tabela 1). O excesso e o déficit hídrico responderam com redução significativa da produtividade. Além disso, a semeadura da Safra resultou em maior produtividade do que na Safrinha, principalmente para os tratamentos controle e excesso hídrico. Esse resultado é observado também para a massa de mil grãos, número de grãos por capítulo e diâmetro médio de capítulo (Tabela 2).

Segundo Connor e Sadras (1992) a redução do número de grãos no capítulo em plantas sob déficit hídrico se dá pelo baixo potencial hídrico para o metabolismo do ovário, o qual acaba não se desenvolvendo ou formando elevada quantidade de grãos chochos. O excesso hídrico também causou a redução da produtividade, mas numa amplitude menor que o déficit hídrico.

Os dois solos também tiveram grande importância sobre a produtividade, principalmente no tratamento sob déficit hídrico, onde a diferença entre solos foi evidenciada (Tabela 1). Comparando a produtividade do tratamento controle com a do tratamento de déficit hídrico, no Latossolo a redução foi 65,3%, enquanto no Argissolo essa redução foi de 43,6%. Esse resultado tem relação com o crescimento de raízes e com o armazenamento de água no volume de solo explorado.

Tabela 2 – Massa de mil grãos (MMG), número de grãos por capítulo (Ngr./Cap) e diâmetro médio de capítulo ( $\emptyset$ ) do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) no Argissolo de Santa Maria/RS (Arg.) e no Latossolo de Panambi/RS (Lat.), conduzido sob condições de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídricos (Def.).

Cond. Hídrica	**MMG (g)			**Ngr./Cap			** $\emptyset$ (cm)		
	Arg.	Lat.	Média	Arg.	Lat.	Média	Arg.	Lat.	Média
Safra*									
Cont.	65,0 a	62,5 a		1805,1 a	1864,0 a		19,4 a	18,8 a	
Exc.	51,0 b	58,9 a	53,8 A	1791,5 a	1430,8 b	1444,7 A	17,5 b	16,5 b	17,1 A
Def.	43,6 c	41,7 b		1284,9 b	802,7 c		15,6 c	14,9 c	
Safrinha									
Cont.	50,9 a	60,8 a		1545,4 a	1467,6 a		17,7 a	17,3 a	
Exc.	42,9 b	51,4 b	48,9 B	1511,6 a	1172,0 b	1275,8 B	16,2 b	15,2 b	15,1 B
Def.	46,3 ab	41,3 c		729,8 b	918,0 c		12,7 c	11,9 c	
Média	49,9 B	52,8 A		1496,5 A	1224,1 B		16,5 A	15,7 B	
CV(%)	7,83			7,82			2,82		

\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). \*\*Interação significativa entre os três fatores. Tratamentos: Controle: controle (manutenção da umidade do solo entre 75 e 100% da CAD); Excesso: excesso hídrico (manutenção da umidade do solo entre 90% da CAD e o ponto de saturação do solo); Déficit: déficit hídrico (manutenção da umidade do solo entre 40 e 60% da CAD). Massa de mil grãos corrigida para 13% de umidade nos grãos.

Segundo Rosolem et al. (1999), o aprofundamento de raízes em solo de textura mais arenosa é maior do que em solo de textura mais argilosa, cuja textura supere 40% de argila, pois possui menor resistência à penetração das raízes. Além disso, solos argilosos retém fortemente a água sob disponibilidade restringida, pois apresentam elevado ponto de murcha permanente, fazendo com que a CAD de solos com alto teor de argila seja menor do que em alguns solos arenosos (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Por apresentar um menor armazenamento de água no Latossolo, o déficit hídrico se intensificou antes do que no Argissolo, resultando numa produtividade menor. No Argissolo, plantas sob déficit hídrico obtiveram uma produtividade 40 e 31% maior na Safra e Safrinha, respectivamente, em relação a plantas sob déficit hídrico no Latossolo.

Apesar de a produtividade ter sido reduzida significativamente pela deficiência hídrica, não se pode simplesmente considerar um resultado de todo negativo. O tratamento de déficit hídrico teve produtividades acima de 2.400 kg ha<sup>-1</sup> no Argissolo e acima de 1.500 kg

ha<sup>-1</sup> no Latossolo, mesmo sem nenhuma entrada de água de chuva por aproximadamente 40 dias consecutivos, sendo conduzido sob déficit hídrico até o final do ciclo. Apesar dessa condição de estresse, a produção média de girassol ainda ultrapassou a média nacional de 1.376 kg ha<sup>-1</sup> do ano agrícola de 2014/15 (CONAB, 2015) no Latossolo e foi 15% superior à média nacional e no Argissolo 78% superior. Por isso, pode-se considerar que o girassol, em relação a outros cultivos de verão, tem boa capacidade de produção de grãos mesmo sob deficiência hídrica, especialmente no Argissolo. Segundo Garofalo e Rinaldi (2015), o girassol tem a potencialidade de manter uma produção de grãos satisfatória mesmo com suprimento de água reduzido, o que é reforçado pelos valores Ky menores que 1,0 (SILVA et al., 2014).

A massa de mil grãos e o número de grãos por capítulo tiveram grande influência sobre a produtividade (Tabela 2). Percebeu-se um menor número de grãos por capítulo e uma menor massa de mil grãos quando o girassol foi submetido a déficit hídrico, embora também tenha havido redução sob excesso hídrico. Além disso, destaca-se que na Safrinha essas variáveis tiveram redução em relação à Safra, resultando em menor produtividade.

O girassol conduzido sob estresse hídrico, tanto por déficit quanto por excesso, tende a reduzir o número de grãos por capítulo bem como a massa de mil grãos. Como já foi discutido anteriormente, o número de flores da inflorescência pode ser reduzido quando a planta está sob condição de estresse. Além disso, após a antese o estresse hídrico reduz a taxa de enchimento de grãos, que explica a menor massa de mil grãos (CONNOR; SADRAS, 1992). Cantagallo; Medan e Hall (2004) afirmam que o sombreamento pode reduzir o número e o peso de grãos por capítulo. Isso explica o menor peso de grãos na Safrinha, pois o período de enchimento de grãos culmina com uma disponibilidade de radiação solar menor do que na Safra (APÊNDICE C).

O teor de óleo não apresentou interação tripla nem dupla, sendo significativo apenas para época de semeadura e condição hídrica (APÊNDICE O), enquanto o rendimento de óleo apresentou interação significativa entre dois fatores, condição hídrica e épocas de semeadura (APÊNDICE P). Os melhores resultados foram obtidos na Safra, com maiores valores médios de teor de óleo e rendimento de óleo (Tabela 3).

Tabela 3 – Teor de óleo (TEOR) e rendimento de óleo (RENDIMENTO) do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) em Argissolo de Santa Maria/RS e Latossolo de Panambi/RS, conduzido sob condições de controle, excesso e déficit hídricos.

Condição hídrica	TEOR (%)			Condição hídrica	RENDIMENTO (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Época				Safra	Safrinha	Média
Controle*	46,4 a	Safra	43,8 a	Controle	2294,3 a	1366,9 a	1830,6 a
Excesso	41,0 ab	Safrinha	38,4 b	Excesso	1510,3 b	912,4 b	1211,3 b
Déficit	35,9 b	-	-	Déficit	623,8 c	640,6 b	632,2 c
-	-	-	-	Média	1476,1 A	973,3 B	-
Média	41,09				1224,72		
CV (%)	15,67				18,30		

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Interação não significativa entre os três fatores. Fator “Solo” não significativo. Tratamentos: controle (manutenção da umidade do solo entre 75 e 100% da CAD); excesso hídrico (manutenção da umidade do solo entre 90% da CAD e o ponto de saturação determinado); déficit hídrico (manutenção da umidade do solo entre 40 e 60% da CAD).

A condição hídrica que resultou nos melhores resultados de teor de óleo e rendimento de óleo foi o tratamento controle. O teor de óleo do tratamento controle não diferiu do excesso hídrico, apesar de haver uma diferença de 5,4%. Já o déficit hídrico apresentou o menor teor de óleo, não diferindo também do excesso hídrico. A época de semeadura e a condição hídrica são fatores que influenciam significativamente no teor de óleo, em que ocorre sua redução em épocas mais tardias (UNGER, 1980), sob déficit hídrico (FLAGELLA et al., 2002) ou sob excesso hídrico (YASUMOTO et al., 2011).

Considerando-se o rendimento de óleo, a diferença foi acentuada entre o controle, o excesso e o déficit hídrico, ocorrendo neste último o menor valor (Tabela 3), principalmente na Safra. O rendimento de óleo é apenas uma relação entre a produtividade e o teor de óleo. Por isso, o menor rendimento de óleo ocorreu no tratamento déficit hídrico seguido do excesso hídrico. A Safra foi a época que apresentou o maior rendimento de óleo, não havendo diferença entre solos.

A análise do perfil de ácidos graxos do girassol (Tabelas 4 e 5) mostrou que os ácidos graxos presentes em maior quantidade foram o Linoleico, com 50,56% do óleo, seguido do Oleico, com 39,09% do óleo. Os ácidos graxos Palmítico, Esteárico e Behêmico participaram em média com 5,35; 3,85 e 0,73% do total do óleo, respectivamente, sendo a proporção dos demais ácidos graxos  $\leq 0,1\%$ . Estes ácidos graxos não apresentaram diferença para nenhum dos três fatores, a exceção do Ácido Palmitoleico que diferiu entre épocas de semeadura e

solos. Os ácidos graxos Caprótico, Caprílico, Cáprico, Mirístico, Pentadecílico, Palmitoleico e Elaídico, apresentaram os valores médios de 0,07; 0,08; 0,03; 0,09; 0,02; 0,10 e 0,03%, do total de óleo, respectivamente.

Tabela 4 – Perfil de ácidos graxos do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) em Argissolo de Santa Maria/RS (Arg.) e Latossolo de Panambi/RS (Lat.), conduzido sob condições de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídrico (Def.).

Ácidos graxos	Condição Hídrica*			Época		Solo		Média (%)	CV (%)
	Controle	Excesso	Déficit	Safra	Safrinha	ARG	LAT		
Cao 6:0	0,06 A	0,07 A	0,09 A	0,09 A	0,06 A	0,06 A	0,08 A	0,07	68,78
Cai 8:0	0,08 A	0,09 A	0,07 A	0,08 A	0,08 A	0,07 A	0,09 A	0,08	42,92
Cap 10:0	0,03 A	0,03 A	0,04 A	0,03 A	0,04 A	0,03 A	0,04 A	0,03	70,41
Mir 14:0	0,09 A	0,10 A	0,09 A	0,09 A	0,10 A	0,09 A	0,10 A	0,09	34,80
Pen 15:0	0,02 A	0,02 A	0,02 A	0,01 B	0,02 A	0,02 A	0,02 A	0,02	24,10
Pal 16:0	5,28 B	5,31 B	5,47 A	5,50 A	5,21 B	5,39 A	5,32 A	5,35	2,90
Ple 16:1n7	0,10 A	0,10 A	0,10 A	0,11 A	0,08 B	0,11 A	0,08 B	0,10	11,60
Est 18:0	3,59 C	3,77 B	4,17 A	3,60 B	4,08 A	3,57 B	4,12 A	3,85	4,18
Ela 18:1n9t	0,02 A	0,04 A	0,02 A	0,02 A	0,03 A	0,02 A	0,03 A	0,03	96,99
Ole 18:1Δ <sup>9</sup>	37,39 B	37,92 B	41,96 A	41,98 A	36,21 B	39,99 A	38,19 B	39,09	7,15
Lin 18:2	52,63 A	51,83 A	47,20 B	47,79 B	53,32 A	49,93 A	51,19 A	50,56	5,25
Beh 22:0	0,69 B	0,71 B	0,77 A	0,69 B	0,76 A	0,72 A	0,74 A	0,73	5,49

\* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Os ácidos graxos apresentados foram: Ácido Caprótico (Cao 6:0); Ácido Caprílico (Cai 8:0); Ácido Cáprico (Cap 10:0); Ácido Mirístico (Mir 14:0); Ácido Pentadecílico (Pen 15:0); Ácido Palmítico (Pal 16:0); Ácido Palmitoleico (Ple 16:1n7); Ácido Esteárico (Est 18:0); Ácido Elaídico (Ela 18:1n9t); Ácido Oleico (Ole 18:1Δ<sup>9</sup>); Ácido Linoleico (Lin 18:2) e Ácido Behêmico (Beh 22:0). Os tratamentos significam: controle (manutenção da umidade do solo entre 75 e 100% da CAD); excesso hídrico (manutenção da umidade do solo entre 90% da CAD e o ponto de saturação determinado); déficit hídrico (manutenção da umidade do solo entre 40 e 60% da CAD).

Os principais ácidos graxos apresentaram interação significativa entre os três fatores (APÊNDICES U e V). O déficit hídrico foi responsável pela redução do Ácido Linoleico e aumento dos Ácidos Oleico, Palmítico e Esteárico (Tabela 5). Portanto, o déficit hídrico além de aumentar proporção oleico/linoleico, aumentou a dessaturação de ácidos graxos e a formação de ácidos graxos saturados, Palmítico e Esteárico, indesejáveis em termos de qualidade nutricional (CONNOR; SADRAS, 1992). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Flagella et al. (2002) e Sesen et al. (2011).

Tabela 5 – Principais ácidos graxos do girassol semeado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) em Argissolo de Santa Maria/RS (Arg.) e Latossolo de Panambi/RS (Lat.), conduzido sob condições de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídrico (Def.).

Condição	**Ác. Palmítico		**Ác. Esteárico		**Ác. Oleico		**Ác. Linólico		
	Hídrica	Arg.	Lat.	Arg.	Lat.	Arg.	Lat.	Arg.	Lat.
Safra*									
Cont.	5,42 b	5,34 b	3,35 a	3,36 c	46,18 a	36,52 b	44,00 b	53,73 a	
Exc.	5,68 ab	5,04 c	3,29 a	3,77 b	43,51 a	42,34 a	46,39 b	47,75 b	
Def.	5,79 a	5,72 a	3,21 a	4,63 a	38,00 b	45,31 a	51,92 a	42,95 c	
Safrinha									
Cont.	5,27 a	5,09 b	3,59 a	4,08 b	32,73 b	34,16 a	57,22 a	55,57 a	
Exc.	5,23 ab	5,27 ab	3,55 b	4,47 a	31,81 b	34,03 a	58,33 a	54,87 a	
Def.	4,96 b	5,42 b	4,43 a	4,39 a	47,71 a	36,82 a	41,69 b	52,24 a	
Média(%)	5,4		3,84		39,1		50,56		
CV (%)	2,9		4,18		7,15		5,25		

\* Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). \*\*Interação significativa entre os três fatores. Os ácidos graxos apresentados foram: Ácido Palmítico (Pal 16:0); Ácido Esteárico (Est 18:0); Ácido Oleico (Ole 18:1 $\Delta^9$ ); Ácido Linoleico (Lin 18:2). Os tratamentos significam: controle (manutenção da umidade do solo entre 75 e 100% da CAD); excesso hídrico (manutenção da umidade do solo entre 90% da CAD e o ponto de saturação determinado); déficit hídrico (manutenção da umidade do solo entre 40 e 60% da CAD).

O excesso hídrico diferiu do tratamento controle apenas para o Ácido Esteárico também aumentando seu teor, o que permite inferir que seu aumento independe da natureza do estresse hídrico. Nessa condição hídrica não se obteve um resultado que evidenciasse o efeito significativo sobre a proporção entre os ácidos Oleico/Linoleico encontrado por Yasumoto et al. (2011) e Mula Ahmed et al. (2007). Essa diferença provavelmente se explica pelo nível de excesso hídrico, que no trabalho atual não foi de encharcamento contínuo.

A época de semeadura foi importante para a composição do óleo do girassol. A época da Safra apresentou maior proporção de ácidos graxos Oleico/Linoleico. Isso significa que a época da Safrinha produziu uma maior quantidade de Ácido Linoleico do que a época da Safra e uma menor quantidade de Ácido Oleico, o que pode estar relacionado à temperatura do ar durante a maturação dos grãos (APÊNDICES C, D e E).

O período final de enchimento de grãos e maturação da Safra ocorreu no final de dezembro, em que ocorrem altas temperaturas, enquanto que na Safrinha esse período ocorreu no início de abril, em que a temperatura do ar foi mais amena, seguindo a tendência das normais climatológicas (APÊNDICES C, D e E). Segundo Unger (1980) e Trémolières;



Dubacq e Drapier (1982), a ocorrência de temperatura do ar elevada durante a maturação, tal como ocorreu na Safra, condiciona a elevação da quantidade de Ácido Oleico no girassol, o que justifica os resultados encontrados. Além disso, a radiação solar também tem grande importância sobre a qualidade do óleo, sendo que a maior interceptação de radiação solar em várias culturas agrícolas aumenta a quantidade de Ácido Oleico, embora não significativo no girassol (IZQUIERDO et al., 2009).

## CONCLUSÕES

O déficit hídrico reduz a produtividade, os componentes da produtividade e o teor de óleo, além de aumentar a proporção entre os ácidos Oleico/Linoleico no perfil de ácidos graxos do óleo de girassol.

O excesso hídrico, aplicado na forma de encharcamento frequente intermitente, afeta significativamente a qualidade do óleo de girassol, mas reduz a produtividade, os componentes da produtividade e o teor de óleo.

Sob déficit hídrico o girassol apresenta melhores resultados para a produtividade e para os componentes da produtividade em Argissolo em relação ao Latossolo.

O girassol cultivado na época de Safra apresenta maior produtividade, componentes da produtividade e teor de óleo em relação à época de Safrinha, mas ocorre um aumento na proporção de ácidos Oleico/Linoleico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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).

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.

ANTOLIN, G. et al. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. **Bioresource technology**, v. 83, n. 2, p. 111-114, 2002.

AOCS (AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY). **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. Champaign, IL, USA, v. 1-2, 1989.

BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª. Edição, Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.

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**, v. 10, n. Supl., p. 1-141, 1980.

CANTAGALLO, J. E.; MEDAN, D.; HALL, A. J. Grain number in sunflower as affected by shading during floret growth, anthesis and grain setting. **Field Crops Research**, v. 85, n. 2, p. 191-202, 2004.

CARDOSO, C. D. V. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região central do estado do rio grande do sul**. 2005. 186f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

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

CHRISTIE, W. W. A simple procedure for rapid transmethylation of glicerolipids and cholesterol esters. **Journal of Lipid Research**, v.23, p.1072, 1982.

CONAB. **Série histórica de produção e área plantada: safras 1976/77 a 2015/2016**. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>> Acesso em: 05 nov. 2015.

CONNOR, D. J.; SADRAS, V. O. Physiology of yield expression in sunflower. **Field Crops Research**, v. 30, n. 3, p. 333-389, 1992.

DOURADO NETO, D. et al. Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de agua en el suelo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.3, p.537-546,1999.

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.

FAOSTAT. **Food and Agricultural Organization of the United Nations. Statistics Division. 2015**. Base de dados de 2012-2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>> Acesso em: 05 nov. 2015.

FLAGELLA, Z. et al. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. **European journal of agronomy**, v. 17, n. 3, p. 221-230, 2002.

FULLER, G.; DIAMOND, M. J.; APPLEWHITE, T. H. High-oleic safflower oil. Stability and chemical modification. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 44, n. 4, p. 264-266, 1967.

GAROFALO, P.; RINALDI, M. Leaf gas exchange and radiation use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to different deficit irrigation strategies: From solar radiation to plant growth analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 64, p. 88-97, 2015.

GARDNER, W. R. Dynamic aspects of water availability to plants. **Soil science**, v. 89, n. 2, p. 63-73, 1960.

GHOLINEZHAD, E.; SAJEDI, N. Evaluation of Water Deficit Stress Effects, Different Rates of Nitrogen and Plant Density on Remobilization, Current Photosynthesis and Grain Yield in Sunflower Var. Iroflor. **World Applied Sciences Journal**, v.19, n.5, p.650-658, 2012.

GÖKSOY, A. T. et al. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. **Field Crops Research**, v.87, n.2, p.167-178, 2004.

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

HARA, A.; RADIN, N. S. Lipid extraction of tissues of low toxicity solvent. **Analytical Biochemistry**, v.90, p. 420-426, 1978.

HELDWEIN, A. B. et al. Yield and growth characteristics of sunflower sown from August to February in Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 908-913, 2014.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência&Ambiente**, v. 38, p. 43-58, 2009.

IZQUIERDO, N. G. et al. Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. **Field Crops Research**, v.114, p.66-74, 2009.

JALILIAN, J. et al. Effects of the combination of beneficial microbes and nitrogen on sunflower seed yields and seed quality traits under different irrigation regimes. **Field Crops Research**, v. 127, p. 26-34, 2012.

KARAM, F. et al. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. **Agricultural water management**, v. 90, n. 3, p. 213-223, 2007.

MALDANER, I. C. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura do girassol na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2012. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

MULA AHMED, M. F. et al. Effects of irrigation water quantities and seasonal variation on oil content and fatty acid composition of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 10, p. 1806-1809, 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, 119-132, 1984.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

RIGHI, E. Z. et al. Balance of longwave radiation employing the rate of solar radiation for Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.1, p.29-37, 2015.

ROSA, H. T. et al. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1374-1382, 2009.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SCHNEITER, A. A.; MILLER, J. F. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, v.21, n.6, p.901-903, 1981.

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

SEZEN, S. M. et al. Effects of partial root zone drying and deficit irrigation on yield and oil quality of sunflower in a Mediterranean environment. **Irrigation and Drainage**, v. 60, n. 4, p. 499-508, 2011.

SILVA, A. R. A. et al. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura do girassol nas condições do semiárido cearense. **Revista Brasileira Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 1, p. 38-51, Jan - Fev, 2014.

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

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

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

TRÉMOLIÈRES, A.; DUBACQ, J. P.; DRAPIER, D. Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape: regulation by temperature and light intensity. **Phytochemistry**, 21, p.1-45, 1982.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: Tucci, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2004. p.391-441.

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.

UNGER, P. W. Planting date effects on growth, yield, and oil of irrigated sunflower. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 6, p. 914-916, 1980.

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.; 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.; 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.



#### **4. ARTIGO II – Crescimento e distribuição de raízes do girassol em dois solos com diferentes condições hídricas**

**RESUMO:** O girassol é afetado negativamente tanto pelo excesso quanto pelo déficit hídrico. Trabalhos que abordam o crescimento radicular da cultura sob condições de estresse hídrico são escassos, não esclarecendo a resposta da planta nas diferentes condições edafoclimáticas. O objetivo do trabalho foi determinar o crescimento, o aprofundamento e a distribuição radicular do girassol conduzido sem e com estresse por déficit e excesso hídrico em dois solos e duas épocas de semeadura. Os experimentos foram realizados nos períodos subsequentes a semeaduras de início de setembro (Safrinha) e de início de janeiro (Safrinha) em um Argissolo (Santa Maria/RS) e um Latossolo (Panambi/RS). A partir do estágio V6 foram aplicados os tratamentos de condição hídrica controle, déficit e excesso hídrico. Na Safrinha foram realizadas coletas de raízes com um trado no perfil do solo analisando a densidade do comprimento radicular e a variável radicular acumulada. Na Safrinha as raízes do girassol foram avaliadas visualmente no perfil do solo após abertura de trincheiras. Em ambas as épocas de semeadura foram avaliadas a profundidade do sistema radicular e a massa seca de raízes. Os resultados obtidos mostram que: o aprofundamento radicular do girassol é maior no Argissolo do que no Latossolo; o déficit hídrico estimula o aprofundamento radicular enquanto o excesso hídrico estimula o crescimento de raízes próximas a superfície; e, a semeadura na Safrinha possibilita um maior aprofundamento e maior produção de massa seca de raízes do que a semeadura da Safrinha.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Helianthus annuus* L.. Excesso hídrico. Déficit hídrico. Crescimento de raízes. Épocas de semeadura.

##### **Sunflower roots growth and distribution in two soils with different water conditions**

**ABSTRACT:** Sunflower is adversely affected by both water surplus and deficit. Studies addressing the root growth under water stress are scarce, not clarifying the plant response in different soil and climatic conditions. The aim of this study was to determine the growth, deepening and distribution of sunflower roots carried out with and without stress by water deficit and water surplus in two soils and two sowing dates. Experiments were carried out in periods subsequent sowing in beginning of September (Early sowing date) and January (Late sowing date) in a Ultisol (Santa Maria/RS) and a Oxisol (Panambi/RS). Deficit, surplus, and

control treatments of water condition were applied starting from the V6 stage. Samplings of roots with a trade were made in soil profile in Early sowing date, evaluating the root length density and the accumulated root variable. Sunflower roots of Late sowing date were evaluated visually in soil profile by opening trenches. In both sowing dates were evaluated the root depth and the root dry matter. Results obtained show that: the deepening of sunflower roots in Ultisol is greater than in Oxisol; water deficit stimulates root deepening, while water surplus stimulates the root growth next the soil surface; Early sowing date allows greater root growth and higher root dry mass than the Late sowing date.

**KEY WORDS:** *Helianthus annuus* L.. Water deficit. Water surplus. Root growth. Sowing dates.

## INTRODUÇÃO

O girassol é uma oleaginosa cultivada mundialmente, sendo utilizada na fabricação de óleo comestível e fármacos, na alimentação animal e na produção de biodiesel (ANTOLIN et al., 2002; SPINELLI; JEZ; BASOSI, 2012). As plantas apresentam sistema radicular agressivo, podendo alcançar camadas profundas do solo para exploração da água e nutrientes, desde que não haja impedimentos físicos ou químicos (EMBRAPA, 2007).

A cultura não está entre as mais cultivadas no Brasil, onde predominam os cultivos anuais de gramíneas e leguminosas, mas se apresenta como uma alternativa na rotação de culturas. A ocorrência de estresses hídricos e doenças são os principais fatores responsáveis pela redução da produtividade (LOOSE et al., 2012; HELDWEIN et al., 2014), cuja média brasileira gira em torno de 1.500 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). Os estresses promovem modificações morfofisiológicas nas plantas cultivadas, que buscam se adaptar à nova condição (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997; SANTOS; CARLESSO, 1998). Essa capacidade é denominada plasticidade fenotípica, que permite as plantas responderem às flutuações ambientais (SADRAS et al., 1989).

A água é essencial para os processos fisiológicos das plantas, tais como a fotossíntese, transporte de nutrientes e metabólitos, atenuação do aquecimento e manutenção da turgescência. Assim, o déficit hídrico é um dos principais limitantes da produção de biomassa vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2012). Uma resposta geral das plantas como tentativa de contornar o déficit hídrico é o aprofundamento radicular (SHARP et al., 2004; KAGE; KOCHLER;



STÜTZEL, 2004), que tem por objetivo alcançar camadas mais profundas do solo, com maior disponibilidade de água.

As raízes primárias de várias espécies de plantas apresentam a capacidade de se aprofundar no solo mesmo sob potenciais hídricos menores que -1,5 MPa, enquanto a parte aérea e as raízes secundárias tem seu crescimento suprimido muito antes (SHARP et al., 2004). Kage; Kochler e Stützel (2004) afirmam que é necessário um gasto extra de energia para aprofundar o sistema radicular em detrimento do crescimento da parte aérea. Quanto mais tardio for o início do déficit hídrico até a antese, menor é a capacidade das plantas em se adaptar morfológicamente a essa condição (ASSENG et al., 1998).

Por outro lado, quando ocorre excesso hídrico, o crescimento de raízes seminais pode ser paralisado em poucas horas após a ocorrência do encharcamento do solo, havendo até senescência de raízes de girassol (GRASSINI et al., 2007; LOOSE, 2013). As plantas passam a produzir raízes adventícias e secundárias próximas a superfície do solo. Essa capacidade de regenerar novas raízes para substituir aquelas asfixiadas é uma das respostas das plantas para tolerar o excesso hídrico (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997).

Essas respostas ocorrem como resultado da ação de hormônios vegetais. As citocininas tem a capacidade de promover o aprofundamento das raízes principais, enquanto as auxinas promovem o desenvolvimento de raízes secundárias (ALONI et al., 2006). O ABA pode inibir o crescimento de raízes secundárias (XIONG et al., 2006), já o gás etileno, além de atuar na senescência de raízes asfixiadas, auxilia as plantas na formação de raízes secundárias e adventícias (ACHARYA; ASSMANN, 2009).

Ambos os estresses em girassol causam a redução do acúmulo de biomassa, alteram a relação parte aérea/raiz, reduzem a área foliar das plantas e o crescimento da parte aérea, tanto no déficit hídrico (CONNOR; JONES, 1985; KAGE; KOCHLER; STÜTZEL, 2004) quanto no excesso hídrico (SCHÖFFEL et al., 2001; BANGE; MILROY; THONGBAI, 2004). Para mitigar as perdas por estresse é fundamental conhecer a resposta das plantas quando submetidas a essa condição.

. O primeiro órgão afetado pela condição hídrica extrema é a raiz. Alguns trabalhos relatam o crescimento de raízes de girassol em condições de campo. Connor e Sadras (1992), afirmam que as raízes do girassol tem capacidade de um maior aprofundamento do que outras culturas como milho, soja e sorgo, chegando a 2,0 m de profundidade em solo. Rauf e Sadaqat (2007) relataram um aprofundamento radicular acima de 1,0 m, chegando a 1,8 m de profundidade para uma cultivar de girassol. Entretanto, esses trabalhos foram realizados em solos com baixo teor de argila e região de clima mediterrâneo.

Na cultura do girassol se faz necessário um aprofundamento científico no estudo do crescimento, aprofundamento e distribuição de raízes em resposta ao estresse por déficit e excesso hídrico, especialmente quando cultivado em solos com maior teor de argila. O objetivo deste estudo foi determinar o crescimento, o aprofundamento e a distribuição radicular do girassol conduzido sem e com estresse por déficit e excesso hídrico do solo em um Argissolo e um Latossolo do Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em dois locais: Santa Maria, região da Depressão Central do RS, 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); e Panambi, região do Planalto Médio do RS (latitude: 28° 16' 02''S, longitude: 53° 34' 43''W, e altitude: 419 m). O clima das duas regiões pela classificação de Köppen é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões quentes. O solo da área experimental de Santa Maria é o Argissolo Vermelho Distrófico arênico pertencente à unidade de mapeamento São Pedro, enquanto o de Panambi é o Latossolo Vermelho Distroférico típico, pertencente à unidade de mapeamento Santo Ângelo (STRECK et al., 2008).

As áreas experimentais tiveram o solo corrigido no outono anterior por calagem e adubação de NPK incorporados aos primeiros 40 cm do perfil do solo por subsolagem e leve gradagem com simultânea semeadura de aveia branca. Após a dessecação da aveia, realizou-se a primeira semeadura do girassol na Safra, utilizando o híbrido Helio 250, de ciclo precoce indicado para todo território brasileiro. A adubação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (5-20-20) e 30 kg ha<sup>-1</sup> de Bórxax foi realizada na semeadura, e 220 kg ha<sup>-1</sup> de ureia aplicada em cobertura no estágio V10, observada a análise química do solo (ANEXOS B e C).

A semeadura foi realizada na forma direta em sulcos espaçados de 0,5 m. Após desbaste, a distância entre plantas nas linhas ficou em 0,45 m, resultando na população de 44.444 plantas ha<sup>-1</sup>. Esse espaçamento foi determinado em razão da melhor disposição das plantas na área, e assim, facilitar a coleta de raízes com o mínimo de dano às raízes das plantas vizinhas. As plantas foram amostradas nas respectivas unidades experimentais de 22 m<sup>2</sup>.

Foram determinadas a umidade de saturação e a curva de drenagem de cada solo determinando-se a capacidade de campo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006)

(APÊNDICE A), amostrando-se o solo a cada 5 cm até a profundidade de 60 cm a cada 12 horas. Para cada camada de solo determinou-se o limite inferior de água disponível às plantas (PMP = ponto de murcha permanente) no equipamento WP4 (Dewpoint Potential Meter – Decagon Devices) no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria, considerando-se o PMP do solo na tensão de 1,5 MPa (APÊNDICE B).

O controle de plantas daninhas foi realizado com aplicação do graminecida Fluazifop-P-butil, por arranquio manual e por capinas, sempre que necessário. O controle de insetos e doenças foi realizado, respectivamente, pelo uso de inseticida e fungicida recomendados, evitando a aplicação de produtos durante a antese, para não prejudicar os insetos polinizadores. Os tratos culturais foram realizados conforme as indicações técnicas para a cultura do girassol (EMBRAPA, 2007).

O experimento foi realizado em duas épocas de semeadura, dois locais e três tratamentos de condição hídrica do solo. As semeaduras foram realizadas no início do mês de setembro (Safrá) e no início do mês de janeiro (Safrinha), nos dois solos (Argissolo e Latossolo). Os tratamentos de condição hídrica foram de déficit hídrico, excesso hídrico (chuva mais irrigação acima da evapotranspiração máxima da cultura (ETc) para alcançar a saturação) e controle (com chuva mais irrigação igual a ETc). Utilizou-se o delineamento blocos ao acaso com quatro repetições, sendo um experimento trifatorial (3x2x2). O fator A foi referente à condição hídrica do solo, o fator C referente às épocas de semeadura e o fator D referente aos dois solos.

O fator A teve os seguintes tratamentos: controle, tratamento no qual se deram as melhores condições de disponibilidade hídrica do solo às plantas, evitando excessos e déficits hídricos, mantendo-se o armazenamento (Armaz) entre 75 e 100% da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD); déficit hídrico, tratamento no qual se aplicou irrigação abaixo da necessidade da cultura, mantendo-se o Armaz entre 40 e 60% da CAD; e excesso hídrico, tratamento no qual se aplicou irrigação em excesso, mantendo-se o Armaz acima de 90% da CAD, em que as irrigações foram feitas até o ponto detectado como de saturação do solo, que foi até 167 mm no Argissolo e de 144 mm no Latossolo. Dessa forma, cada vez que os tratamentos chegaram ao limite inferior de armazenagem (40%, 75% e 90%), foram irrigados até completarem o limite superior (60%, 100% e ponto de saturação). Esses níveis de condição hídrica foram utilizados com base nos resultados obtidos para a cultura do milho (BERGONCI et al., 2001). Ao longo do ciclo foram feitas coletas de solo para amostragem da umidade a fim de comparar com a umidade calculada (APÊNDICE H). Os

tratamentos foram aplicados a partir do estágio V6 da escala fenológica para o girassol (SCHNEITER; MILLER, 1981).

Determinou-se a soma térmica acumulada utilizando-se as três temperaturas cardinais, considerando a temperatura base para o girassol de 4,2 °C (SENTELHAS et al., 1994), temperatura ótima de 27 °C e temperatura base superior de 34 °C (WARREN-WILSON, 1966 apud UNGARO et al., 2009). A soma térmica foi calculada pelo método descrito por Rosa et al. (2009):

$$STd = (Tméd - Tb).1 \text{ dia, quando } Tb < Tméd \leq Tot; \quad (2)$$

$$STd = \{(Tot - Tb).[(TB - Tméd)/(TB - Tot)]\}.1 \text{ dia, quando } Tot < Tméd \leq TB; \quad (3)$$

se  $Tméd < Tb$ , então  $Tméd = Tb$ ;

se  $Tméd > TB$ , então  $Tméd = TB$

em que: STd = soma térmica diária;

Tméd = temperatura do ar média diária;

Tb = Temperatura base inferior;

TB = Temperatura base superior;

Tot = Temperatura ótima.

O balanço hídrico sequencial diário (PEREIRA, 2005) adaptado de Thornthwaite e Mather (1955), foi realizado para determinar a umidade do solo bem como determinar o momento e a quantidade de irrigação (APÊNDICES F e G). Foi determinada uma CAD inicial (CAD<sub>in</sub>) para a profundidade de 0,10 m e uma CAD final (CAD<sub>f</sub>) para a profundidade de 0,60 m, considerada a profundidade efetiva de raízes no Argissolo de Santa Maria (MALDANER, 2012). A CAD diária foi calculada a partir da soma térmica e da equação proposta por Dourado Neto et al. (1999), representada abaixo:

$$CAD_n = CAD_{in} + \left( \frac{CAD_f - CAD_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \cos \left[ \left( \pi \left( \frac{1}{F} \right) \cdot \frac{ST_{(n)}}{ST} \right)^F \right] \right\} \quad (1)$$

em que: ST<sub>(n)</sub> é o valor de soma térmica acumulada até o dia “n”, em °C dia<sup>-1</sup>;

ST é o valor de soma térmica acumulada necessário para atingir a CAD<sub>f</sub>, em °C dia<sup>-1</sup>;

F é o coeficiente exponencial, que para o girassol é de 0,80 (MALDANER, 2012);

CAD<sub>in</sub> é a CAD inicial para a profundidade de 0,10 m, em mm;

CAD<sub>f</sub> é a CAD final para a profundidade de 0,60 m, em mm;

CAD<sub>n</sub> é a CAD do dia “n”, em mm.

Para a utilização do BHS de Pereira (2005) na escala diária foi levado em consideração o fato de que quanto mais as raízes se aprofundam, elas entram em contato com uma fração de solo mais úmido, sendo necessário contabilizar essa quantidade adicional de água no modelo. Considerando-se que o solo abaixo da linha das raízes encontra-se em umidade de capacidade de campo, o Armazenamento (Armaz, em mm) passa a ter uma nova adaptação:

$$\text{Armaz} = (\text{CAD} * e^{(\text{Neg.Ac.}/\text{CAD})}) + \{(\text{PROF}_n - \text{PROF}_{n-1}) * (\text{LS} - \text{LI}) * \text{DS}\} \quad (2)$$

em que: Neg.Ac. é o negativo acumulado do balanço hídrico sequencial calculado a partir da diferença entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração máxima da cultura (ETc);

PROF<sub>n</sub> = profundidade do sistema radicular no dia “n” em mm;

PROF<sub>n-1</sub> = profundidade do sistema radicular no dia “n-1” em mm;

LS = é o limite superior (CC) de umidade gravimétrica do horizonte do solo em g g<sup>-1</sup>;

LI = é o limite inferior (PMP) de umidade gravimétrica do horizonte do solo em g g<sup>-1</sup>;

DS = densidade do solo em g cm<sup>-3</sup>.

O aprofundamento diário de raízes em resposta à soma térmica foi calculado adaptando-se a equação de Dourado Neto et al. (1999) à profundidade:

$$\text{PROF}_n = \text{PROF}_{in} + \left( \frac{\text{PROF}_f - \text{PROF}_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \text{COS} \left[ \left( \pi \left( \frac{1}{F} \right) \cdot \frac{\text{ST}_{(n)}}{\text{ST}} \right)^F \right] \right\} \quad (3)$$

em que: PROF<sub>n</sub> é a profundidade radicular do dia “n”;

PROF<sub>in</sub> = é a profundidade inicial considerada de 0,10 m;

PROF<sub>f</sub> = é a profundidade final efetiva do girassol considerada de 0,60 m (MALDANER, 2012).

A ETc foi calculada conforme Allen et al. (1998), a partir da estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (ETo) com ajuste da razão de radiação para cálculo do saldo de radiação de onda longa proposta por Righi et al. (2015). A ETc foi calculada conforme Allen et al. (1998):

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (4)$$

em que, ETo é a evapotranspiração de referência e o Kc é o coeficiente de cultura conforme Allen et al. (1998).

Para estimativa da ETo foi utilizado o método de Penman-Monteith, com equação proposta por Allen et al. (1998):

$$ETo = \frac{0,408S(Q^* - G) + \frac{y900u_2(es - e)}{T + 273}}{S + y(1 + 0,34u_2)} \quad (5)$$

em que: S = Tangente à curva de saturação do ar (kPa °C<sup>-1</sup>), Q\* = saldo de radiação (MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>); G é o fluxo de calor no solo (5% do Q\*); y é constante psicrométrica (0,066 kPa °C<sup>-1</sup>); u<sub>2</sub> = velocidade média de vento (m s<sup>-1</sup>) 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:

$$s = \frac{25051,96 \cdot 10^{[7,5T/(237,5+T)]}}{(T + 237,5)^2} \quad (6)$$

A equação 7 representa a pressão de saturação de vapor no ar:

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

A pressão parcial de vapor no ar é dada por:

$$e = \frac{es * UR}{100} \quad (8)$$

em que: UR = umidade relativa média diária;  
 $e$  = pressão parcial de vapor no ar (hPa);  
 $e_s$  = pressão de saturação de vapor no ar (hPa).

O saldo de radiação ( $Q^*$ ) é dado pela equação abaixo representada:

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

em que:  $R_g$  é a radiação solar global incidente ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );  
 0,77 refere-se à radiação solar no topo da cultura de referência menos a energia solar perdida por albedo médio (1-0,23);  
 0,95 = Emissividade ( $\epsilon$ );  
 $4,9 * 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \text{ K}^{-4}$  = Constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ );  
 $T$  = temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  
 $e$  = pressão parcial de vapor (hPa);  
 $K_o \downarrow$  = radiação solar no topo da troposfera.

Os dados meteorológicos foram obtidos das estações meteorológicas automáticas do INMET, localizadas em Santa Maria e em Cruz Alta (estação meteorológica mais próxima de Panambi). Os dados de chuva foram coletados nas áreas experimentais com pluviômetros, corrigindo-se para precipitação efetiva, que seria a chuva que infiltrou no solo, através da metodologia da curva número de Tucci (2004), utilizando-se o valor da curva número (CN) de 62 e 82 para Argissolo e Latossolo, respectivamente.

A área utilizada para o tratamento de déficit hídrico contou com uma estrutura de madeira similar a de uma estufa arco pampeano, que permitiu a colocação de filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD) sobre a área imediatamente antes de cada chuva, para evitar que a umidade do solo alcançasse valores acima de 60% da CAD. O filme de PEBD foi retirado ao final de cada chuva. Foram feitas valas de 0,3 m de profundidade no entorno da área permitindo a melhor drenagem da área e reduzindo a possibilidade de entrada de água por fluxo lateral via subsuperfície. A irrigação foi feita por tubos gotejadores instalados na entrelinha de plantas.

Nas duas épocas de semeadura e locais foram avaliadas a profundidade do sistema radicular e a massa seca de raízes no estádio R6 (APÊNDICE AA). Na Safra a distribuição

das raízes no perfil do solo foi avaliada pelo método do trado utilizado por Kage; Kochler e Stützel (2004) e Pivetta (2011). As raízes foram coletadas amostrando-se as camadas de solo com um trado de 80 mm de diâmetro em diferentes distâncias em relação à planta considerada “referência” (0,0; 0,12 e 0,24 m, em razão da distância entre linhas ser de 0,50 m) (APÊNDICE AB). As camadas do solo foram amostradas a cada 0,1 m de profundidade, até não se encontrar mais raízes. As raízes foram separadas do solo com o auxílio de peneiras, medindo-se o comprimento de cada raiz para determinar a densidade do comprimento de raízes (DCR). Determinou-se também a variável radicular acumulada em profundidade para se determinar a porcentagem de raízes nas diferentes camadas do solo.

Na Safrinha, avaliou-se o sistema radicular visualmente. A profundidade do sistema radicular foi observada por abertura de trincheiras e amostragem de quatro plantas por tratamento, pelo método da trincheira, conforme metodologia descrita por Böhm (1979). Esse procedimento foi realizado no estádio R6, momento em que as plantas haviam passado do estádio da antese. Os resultados foram analisados por análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa de matéria seca de raízes no estádio R6 não apresentou interação significativa (APÊNDICE Q) nem diferença significativa entre os dois solos, mas entre os tratamentos de condição hídrica e as duas épocas de semeadura (Tabela 1). As plantas que apresentaram a maior massa de matéria seca de raízes foram conduzidas sob condição hídrica de controle, diferindo das plantas sob condição de excesso hídrico e com menores valores de matéria seca de raízes para as plantas sob déficit hídrico.

Na Safra, a matéria seca de raízes das plantas foi maior que na Safrinha. Na média geral, a matéria seca de raízes foi 23% menor nas plantas cultivadas na Safrinha em relação à Safra. A maior parte dos resultados mostra que o déficit hídrico leva a uma redução significativa da biomassa de raízes em relação às plantas sob tratamento controle. Segundo Kuster et al. (2013), este resultado é plausível pelo fato de que o déficit hídrico induz ao aprofundamento das raízes principais e a formação de raízes secundárias é extremamente reduzida.



Tabela 1 – Matéria seca de raízes e profundidade de raízes avaliadas no estágio R6 do girassol cultivado na Safra (06 e 07/set.) e na Safrinha (06 e 07/jan.) no Argissolo de Santa Maria/RS e no Latossolo de Panambi/RS, conduzido sob condição hídrica de controle (Cont.), excesso (Exc.) e déficit hídricos (Def.).

Matéria seca raízes (g m <sup>-2</sup> )		**Profundidade de raízes (cm)			
Cond. Hídrica	Média	Cond. Hídrica	Safra		
			Arg.	Lat.	Média
*Cont.	112,07 a	Cont.	89,0 a	69,5 b	
Exc.	88,27 b	Exc.	70,5 b	41,0 c	76,1 a
Def.	61,08 c	Def.	98,2 a	88,4 a	
Época	Média	Cond. Hídrica	Safrinha		
			Arg.	Lat.	Média
Safra	100,1 a	Cont.	55,0 a	55,0 a	
Safrinha	76,6 b	Exc.	47,5 a	32,5 b	53,8 b
-	-	Def.	75,0 b	57,5 a	
Média	87,2	Média	72,5 A	57,3 B	
CV (%)	29,0	CV (%)	11,5		

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si na coluna (minúsculas) e na linha (maiúsculas) pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). \*\* Interação significativa entre os três fatores. Tratamentos: controle (manutenção da umidade do solo entre 75 e 100% da CAD); excesso hídrico (manutenção da umidade do solo entre 90% da CAD e o ponto de saturação determinado); déficit hídrico (manutenção da umidade do solo entre 40 e 60% da CAD).

A diferença de massa de matéria seca de raízes entre as épocas de semeadura pode estar relacionada ao menor crescimento total da planta na Safrinha. A demanda hídrica atmosférica alta no início do ciclo da Safrinha (APÊNDICES D e E) pode ter levado as plantas à condição de estresse mais cedo do que na Safra, reduzindo assim a assimilação de CO<sub>2</sub> (BERGAMASCHI et al., 2004; SANTOS; CARLESSO, 1998). Além disso, temperaturas mais altas no início da Safrinha podem ter levado a uma maior respiração celular e gasto de carboidratos no ciclo de Krebs, diminuindo a fotossíntese líquida e consequentemente reduzindo a biomassa radicular (TAIZ e ZEIGER, 2012), que pode ter influenciado inclusive o aprofundamento radicular.

A profundidade de raízes variou entre as duas épocas de semeadura, entre os dois solos e entre os tratamentos de disponibilidade hídrica (Tabela 1), apresentando interação significativa entre os três fatores (APÊNDICE R). Na Safra as plantas apresentaram aprofundamento radicular médio 30% maior do que na Safrinha. Em relação ao solo, a profundidade de raízes alcançou a média de 72,5 cm no Argissolo, diferindo da média do

Latossolo, em que foi de 57,3 cm. As plantas conduzidas sob condição de déficit hídrico tiveram um maior aprofundamento radicular, embora sem diferença significativa em relação ao tratamento controle em Argissolo na Safra e em Latossolo na Safrinha. Rauf e Sadaqat (2007) também encontraram um maior aprofundamento radicular de girassol conduzido sob déficit hídrico.

As plantas conduzidas sob condição de excesso hídrico apresentaram o menor aprofundamento radicular em ambas as épocas de semeadura e ambos os solos. Segundo Grassini et al. (2007) e Yasumoto et al. (2011) o aprofundamento da raiz do girassol sob condição de excesso hídrico é limitado e predomina crescimento horizontal próximo a superfície do solo. Na cultura da soja ocorrem resultados semelhantes (PIRES; SOPRANO; CASSOL, 2002; SCHÖFFEL et al., 2001).

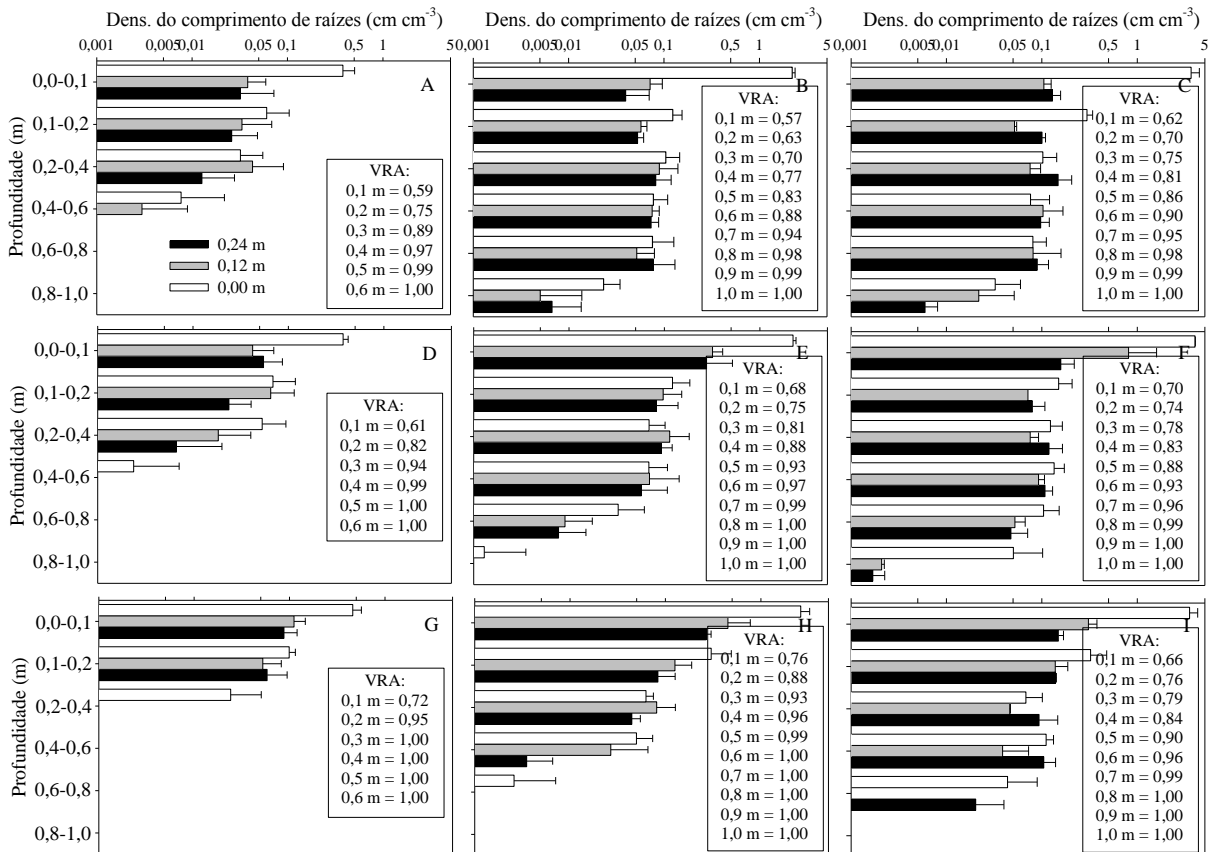
Destaca-se que no Argissolo ocorreu um maior aprofundamento radicular do que no Latossolo. Em solos mais arenosos, há menor resistência à penetração das raízes do que em solos argilosos, principalmente quando estes solos estão sob déficit hídrico (ROSOLEM et al., 1999). Esse fato está relacionado à composição granulométrica de partículas dos dois solos. No solo arenoso há um maior volume de macroporos do que em solo argiloso, sendo os macroporos o caminho natural do crescimento das raízes (TORRES; SARAIVA, 1999; CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Sob a condição de déficit hídrico a resistência à penetração das raízes aumenta. Por isso no Argissolo as plantas sob condição de déficit hídrico apresentaram um maior aprofundamento radicular do que no Latossolo. Esse resultado também foi encontrado para a cultura do milho, em que no solo argiloso a resistência à penetração das raízes é maior do que em solo mais arenoso (ROSOLEM et al., 1999), da mesma forma que em um mesmo solo sob diferentes de compactação (STONE; SILVEIRA, 1999; CARDOSO et al., 2006).

Esses resultados mostram que as raízes do girassol crescem de maneira distinta nos dois solos. Entretanto, os resultados de profundidade de raízes encontrados são bem inferiores aos encontrados em regiões com solos mais arenosos, em que as raízes do girassol ultrapassam 1,0 m de profundidade, chegando até a 2,0 m (CONNOR; SADRAS, 1992; RAUF; SADAQAT, 2007), comprovando que a raiz do girassol tem essa capacidade, sendo influenciada pelo tipo de solo. Esse resultado tem impacto direto quando se faz a estimativa da capacidade de armazenamento de água para as plantas, utilizada para calcular o balanço hídrico do solo. Portanto, para cada tipo de solo e condição hídrica é necessário determinar a profundidade que as raízes alcançam e a partir disso determinar os parâmetros do balanço hídrico.

A distribuição das raízes variou com a condição de disponibilidade hídrica do solo ao longo do desenvolvimento do girassol. Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas a densidade do comprimento de raízes (DCR) e a variável radicular acumulada (VRA) no Argissolo e no Latossolo, respectivamente. A maior parte das raízes concentrou-se em até 0,10 m de profundidade independente da condição hídrica, o que é natural, pois essa camada de solo apresenta maior fertilidade em relação às camadas mais profundas. Segundo Sadras et al. (1989), 90% das raízes do girassol se concentram em até 0,20 m. Resultado semelhante ocorre na soja, em que 85 a 90% do número e do peso total de raízes (TORRES; SARAIVA, 1999) ou do volume de raízes da planta (CARDOSO et al., 2006) se concentram na camada superficial do solo até 0,15 a 0,20 m.

Nos três estádios de desenvolvimento observados verifica-se um menor valor da variável radicular acumulada na camada até 0,10 m para a condição de déficit hídrico no Argissolo (Figuras 1A, 1B, 1C). Isso indica que sob déficit hídrico há uma maior distribuição das raízes em profundidade. Já na condição de excesso hídrico ocorreram os maiores valores de variável radicular acumulada nessa mesma camada inicial de solo, indicando menor distribuição em profundidade (Figuras 1G, 1H, 1I). Uma distribuição intermediária foi verificada no tratamento controle, em que houve um aprofundamento radicular razoável e ao mesmo tempo ainda ocorreu uma distribuição lateral apreciável (Figuras 1D, 1E, 1F).

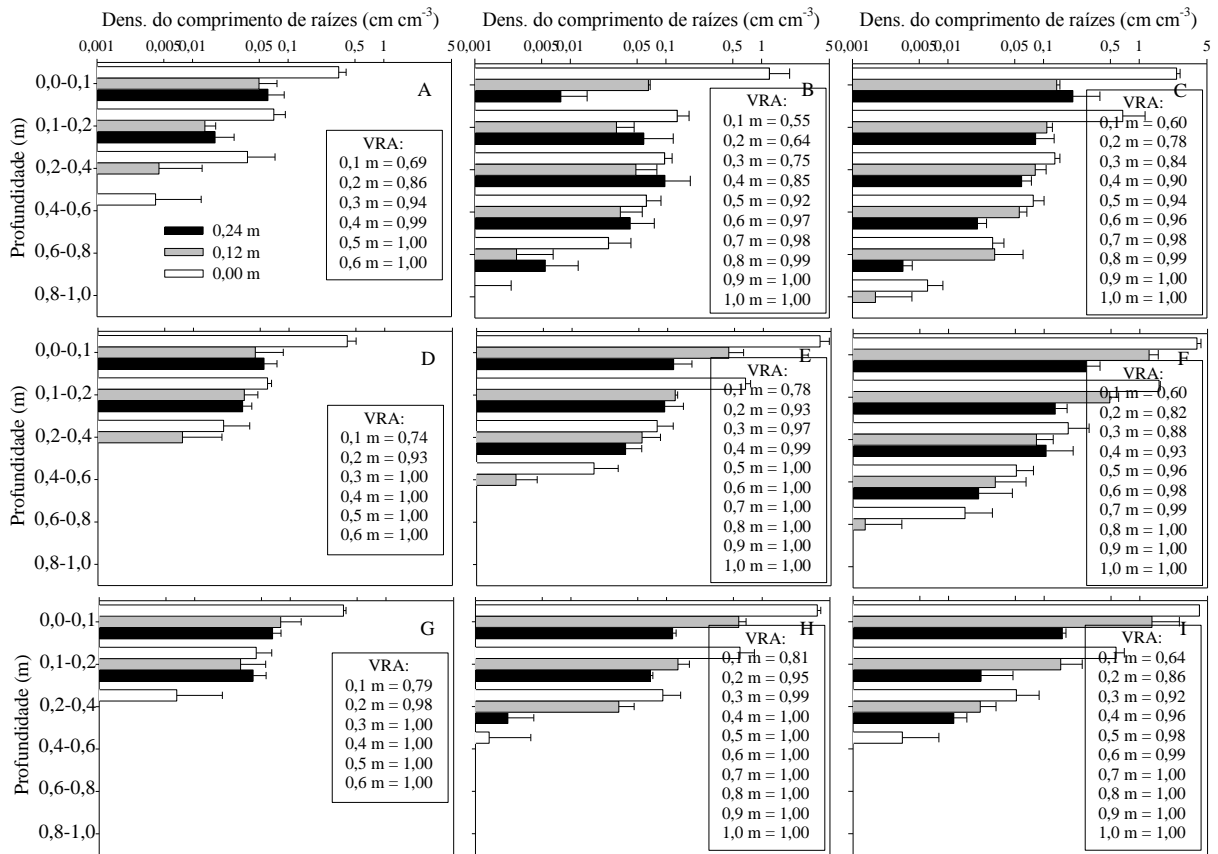
Figura 1 – Distribuição horizontal (0,00 m, 0,12 m, 0,24 são as distâncias horizontais da avaliação em relação a posição da planta) e vertical do sistema radicular do girassol conduzido sob déficit hídrico (A, B, C), controle (D, E, F) e excesso hídrico (G, H, I), avaliado nos estádios V10 (A, D, G), R2 (B, E, H) e R6 (C, F, I). Experimento semeado em 06/09/2013 no Argissolo de Santa Maria/RS.



Na camada até 0,10 m ocorreram valores de densidade do comprimento de raízes próximos a  $4,0 \text{ cm cm}^{-3}$ , enquanto na camada de 0,10 a 0,20 m estes foram próximos a  $0,5 \text{ cm cm}^{-3}$ . Segundo Connor e Sadras (1992), a densidade do comprimento de raízes do girassol reduz exponencialmente com a profundidade. Os valores de densidade do comprimento de raízes obtidos seguem a tendência dos encontrados para a cultura da soja (PIVETTA, 2011). Entretanto, Caires et al. (2001) encontraram valores menores para a cultura da soja, com média de  $1,7 \text{ cm cm}^{-3}$  na camada até 0,10 m. Na cevada também foram encontrados valores próximos aos do presente estudo, com densidade do comprimento de raízes média de  $2,7 \text{ cm cm}^{-3}$  nos primeiros 0,10 m,  $0,57 \text{ cm cm}^{-3}$  na camada de 0,10 a 0,20 m,  $0,35 \text{ cm cm}^{-3}$  na camada de 0,20 a 0,40 m e  $0,25 \text{ cm cm}^{-3}$  na camada de 0,40 a 0,60 m (CAIRES; FELDHAUS; BLUM, 2001). Um grande aumento na densidade do comprimento de raízes ocorreu do estágio V10 (Figuras 1A, 1D, 1G) para R2 (Figuras 1B, 1E, 1H) e para R6 (Figuras 1C, 1F,

II). Tanto o aprofundamento de raízes quanto a distribuição lateral continuou ocorrendo até o estágio R6, momento pós-antese e início de enchimento de grãos na cultura do girassol.

Figura 2 – Distribuição horizontal (0,00 m, 0,12 m, 0,24 são as distâncias horizontais da avaliação em relação a posição da planta) e vertical do sistema radicular do girassol conduzido sob déficit hídrico (A, B, C), controle (D, E, F) e excesso hídrico (G, H, I), avaliado nos estádios V10 (A, D, G), R2 (B, E, H) e R6 (C, F, I). Experimento semeado em 07/09/2013 no Latossolo de Panambi/RS.



No Latossolo o girassol apresentou menor aprofundamento radicular do que no Argissolo, principalmente no tratamento de excesso hídrico (Figuras 2G, 2H, 2I). Entretanto, verificou-se uma maior distribuição lateral nos primeiros 0,10 m no tratamento controle estágio R6 (Figura 2F). As plantas sob condição de déficit hídrico, apesar de apresentarem maior aprofundamento radicular (Figuras 2A, 2B, 2C) tiveram redução na densidade do comprimento de raízes nas camadas até 0,20 m em relação às plantas sob tratamento controle. Conforme já discutido, no solo com maior teor de argila a penetração das raízes é dificultada sob condição de déficit hídrico em relação ao solo com maior umidade (ROSOLEM et al.,

1999; KUSTER et al., 2013) e, portanto, no tratamento controle houve melhor crescimento e distribuição de raízes.

Comparando a variável radicular acumulada dos três tratamentos na profundidade de até 0,10 m, os maiores valores ocorreram sob excesso hídrico, seguido do controle. Isso significa que sob excesso hídrico uma maior porcentagem das raízes se concentra na camada superficial do solo, apresentando crescimento predominantemente horizontal (APÊNDICE AB). Essa resposta ocorre porque o excesso hídrico causa a redução da disponibilidade de O<sub>2</sub> no solo o que se acentua com a profundidade e, portanto, conforme sua intensidade e duração pode limitar o crescimento das raízes do girassol e até causar sua senescência (GRASSINI et al., 2007; YASUMOTO et al., 2011; LOOSE, 2013).

A análise estatística da densidade de comprimento radicular em diferentes profundidades e distâncias da planta é apresentada na Tabela 2. Verifica-se que no Argissolo, na profundidade de 0 a 0,10 m, o tratamento controle apresentou a maior densidade do comprimento de raízes, diferindo dos tratamentos com déficit e com excesso hídrico. No Latossolo, nessa mesma camada os tratamentos controle e excesso não apresentaram diferença entre si, enquanto a menor densidade do comprimento de raízes ocorreu nas parcelas com déficit hídrico. Em relação às diferentes profundidades, tanto no Argissolo quanto no Latossolo a densidade do comprimento de raízes foi maior na camada de 0 a 0,10 m, diferindo estatisticamente das demais camadas. Abaixo de 0,10 m, não houve diferença significativa da densidade do comprimento de raízes entre as camadas, com exceção do tratamento controle no Latossolo, onde a camada de 0,10 a 0,20 m teve uma maior densidade do comprimento de raízes do que nas camadas mais profundas.

Nos dois solos a maior densidade do comprimento de raízes ocorreu a 0,00 m da posição da planta, diferindo significativamente das demais distâncias. No Latossolo, as plantas sob tratamento de excesso hídrico, apresentaram a maior densidade do comprimento de raízes a 0,12 m, sendo superior ao dos 0,24 m. Considerando-se a distância da planta de 0,00 m, no Latossolo, obteve-se a menor densidade do comprimento de raízes no tratamento déficit hídrico comparado aos tratamentos com maior disponibilidade de água.

Tabela 2 – Densidade do comprimento radicular em profundidade e em distância da planta do girassol (0,00; 0,12 e 0,24) no estádio R6 em cultivo semeado na época de Safra no Argissolo de Santa Maria/RS e Latossolo de Panambi/RS.

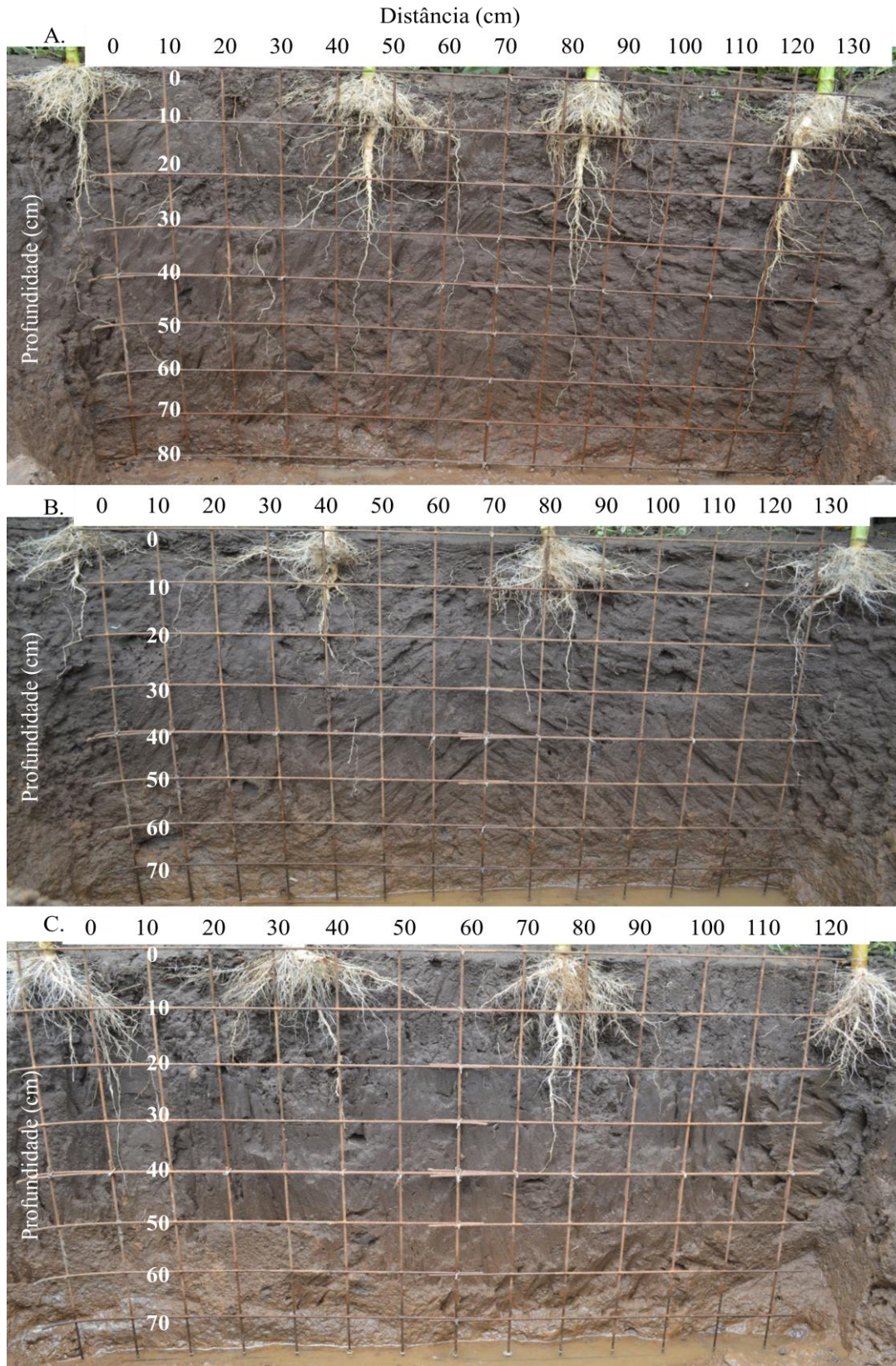
	Densidade do comprimento radicular (cm cm <sup>-3</sup> )								
	Profundidade (m)**						Distância (m)***		
	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8	0,8 - 1,0	0,00	0,12	0,24
ARGISSOLO*									
DEF	1,28 b A	0,10 a B	0,11 a B	0,09 a B	0,04 a B	0,02 a B	0,45 a A	0,07 a B	0,10 a B
CONT	1,65 a A	0,15 a B	0,11 a B	0,11 a B	0,07 a B	0,02 a B	0,52 a A	0,15 a B	0,09 a B
EXC	1,31 b A	0,20 a B	0,08 a B	0,12 a B	0,08 a B	0,00 a B	0,57 a A	0,13 a B	0,09 a B
LATOSSOLO									
DEF	0,93 b A	0,29 b B	0,09 a B	0,05 a B	0,02 a B	0,00 a B	0,38 b A	0,07 b B	0,06 a B
CONT	1,81 a A	0,73 a B	0,12 a C	0,03 a C	0,01 a C	0,00 a C	0,79 a A	0,29 ab B	0,12 a B
EXC	1,84 a A	0,24 b B	0,03 a B	0,00 a B	0,00 a B	0,00 a B	0,67 a A	0,38 a B	0,05 a C
CV(%)	36,15								

\* Médias seguidas pela mesma letra na linha (maiúsculas) e na coluna (minúsculas) não diferem entre si pelo teste Tukey (<0,05). Datas de semeadura: 06/09/2013 em Santa Maria, 07/09/2013 em Panambi. Tratamentos: controle (manutenção da umidade do solo entre 75 e 100% da CAD); excesso hídrico (manutenção da umidade do solo entre 90% da CAD e o ponto de saturação determinado); déficit hídrico (manutenção da umidade do solo entre 40 e 60% da CAD). \*\*Valores médios das distâncias. \*\*\*Valores médios das profundidades.

O crescimento e distribuição das raízes no perfil dos dois solos na época de Safrinha podem ser visualizados nas Figuras 3 e 4. No tratamento de déficit hídrico no Argissolo (Figura 3A) verifica-se um aprofundamento agressivo da raiz principal e maior distribuição radicular no perfil. Nos tratamentos controle e excesso hídrico também se verifica o aprofundamento do sistema radicular, porém com maior volume de raízes na camada inicial junto à superfície (Figura 3B e 3C), devendo ser considerado que os tratamentos foram aplicados somente a partir do estádio V6. Dessa forma pode-se inferir que os níveis de déficit hídrico e de excesso hídrico foram fortes o suficiente para alterar o equilíbrio entre os hormônios vegetais e promover o crescimento radicular diferenciado em cada condição ambiental. A maior concentração de citocininas e ABA nas raízes certamente deve ter ocorrido nas plantas sob déficit hídrico, atuando no aprofundamento radicular (ALONI et al., 2006; XIONG et al., 2006). Enquanto isso, nas raízes das plantas sob excesso hídrico uma provável maior concentração de gás etileno e de auxinas atuaram na senescência na produção de raízes secundárias próximas a superfície do solo (ACHARYA; ASSMANN, 2009).



Figura 3 – Distribuição radicular do girassol (estádio R6) semeado em 06/01/2014 e conduzido sob déficit hídrico (A), controle (B) e excesso hídrico (C) no Argissolo de Santa Maria/RS.



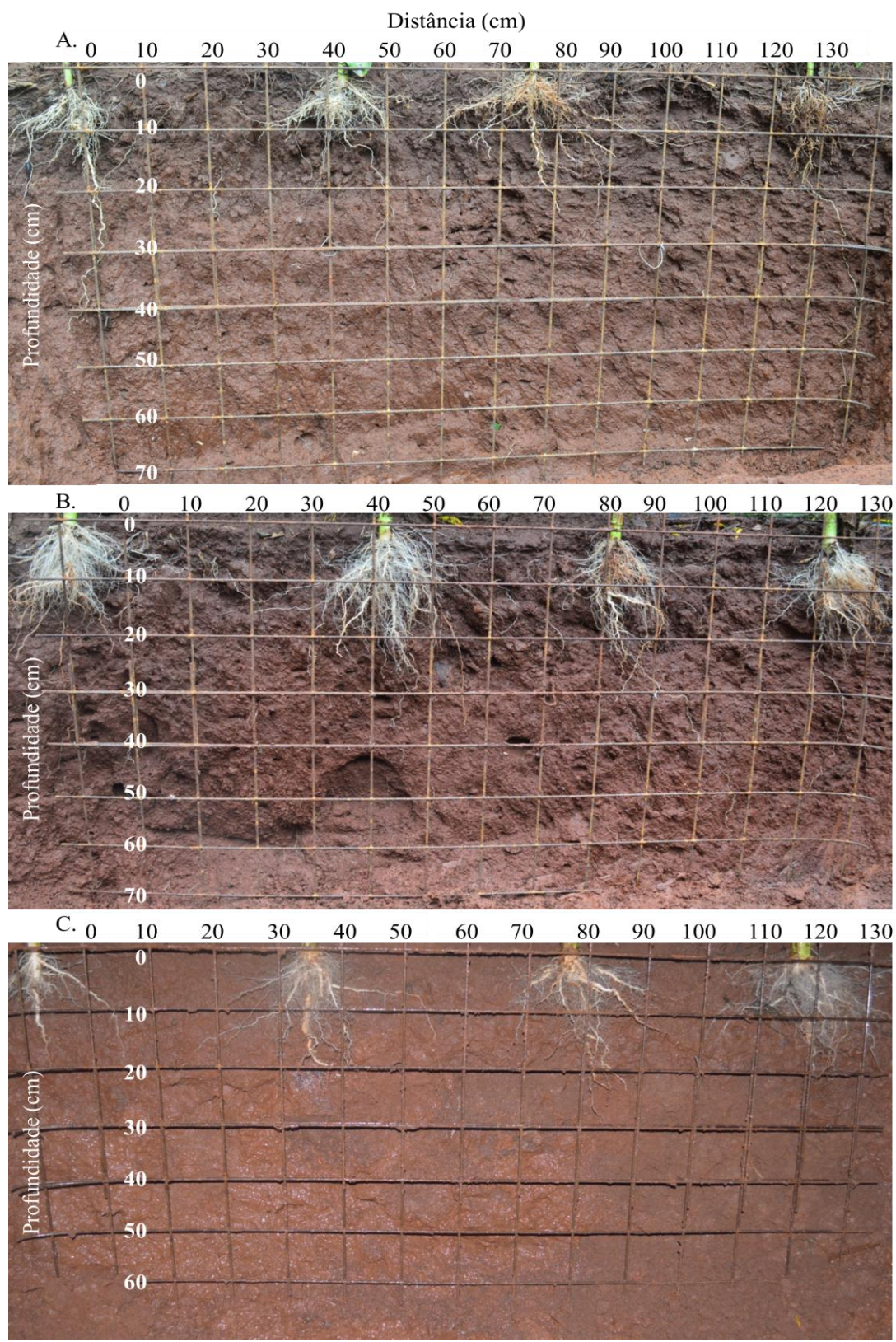


O padrão de crescimento das raízes foi alterado por causa da diferença de umidade do solo nos tratamentos de condição hídrica (Figura 3). Na condição hídrica de “controle” e de “excesso hídrico” a raiz principal não teve o mesmo aprofundamento que ocorreu com déficit hídrico. Além disso, não houve grande diferença entre os tratamentos controle e excesso hídrico. Uma das prováveis causas disso, é que o Argissolo, por apresentar grande porcentagem de areia nas camadas acima da camada B textural, permite a infiltração e drenagem da água mais rápida do que o solo com maior teor de argila nas camadas iniciais (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Portanto, a água em excesso é drenada mais rapidamente, causando menor efeito adverso por excesso hídrico, permitindo que mesmo as raízes submetidas a esse tratamento pudessem crescer até uma profundidade maior.

No Latossolo não houve um aprofundamento tão agressivo da raiz principal como no Argissolo no tratamento com déficit hídrico (Figura 4A). A diferença entre as figuras 3A e 4A deixa claro que a raiz no Latossolo sob déficit hídrico tem menor aprofundamento e menor crescimento em matéria seca se comparado ao Argissolo. O padrão de crescimento dessas raízes nos mostra a dificuldade de penetração da raiz principal no Latossolo, que tem relação com a maior resistência física. Segundo Rosolem et al. (1999), a resistência a penetração aumenta quanto mais seco o solo, principalmente em solos com teor de argila maior que 40%, que é o exemplo do Latossolo. Mesmo assim, algumas plantas amostradas tiveram um grande aprofundamento do sistema radicular na condição de déficit hídrico, alcançando 0,70 m de profundidade na Safrinha (Figura 4A).

O tratamento controle apresentou boa distribuição radicular, com formação de raízes tanto no sentido horizontal quanto vertical, explorando um maior volume de solo (Figura 4B). Na condição de excesso hídrico as raízes se concentraram nos primeiros 0,20 m, com formação de raízes mais superficiais (Figura 4C). Em relação ao Argissolo, o Latossolo possui uma drenagem menos eficiente, necessitando mais horas para voltar à capacidade de campo após sua saturação (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007). Esse é um fator importante a ser observado sobre o padrão de crescimento de raízes de girassol nessa condição, principalmente em anos de atuação do fenômeno El Niño, em que a precipitação é mais abundante nos dois locais onde foram obtidos os dados (GRIMM; BARROS; DOYLE, 2000).

Figura 4 – Distribuição radicular do girassol (estádio R6) semeado em 07/01/2014 e conduzido sob déficit hídrico (A), controle (B) e excesso hídrico (C) no Latossolo de Panambi/RS.



## CONCLUSÕES

O aprofundamento radicular do girassol é maior no Argissolo do que no Latossolo independente da condição hídrica do solo.

O déficit hídrico estimula o aprofundamento radicular do girassol enquanto o excesso hídrico estimula o crescimento radicular superficial.

O solo com disponibilidade hídrica entre 75 e 100% da CAD proporciona uma equilibrada distribuição do sistema radicular do girassol e maior crescimento radicular em termos de massa de matéria seca.

O girassol semeado no início de setembro (Safrá) apresenta um maior aprofundamento radicular e maior produção de massa de matéria seca de raízes do que o girassol semeado no início de janeiro (Safrinha).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARYA, B. R.; ASSMANN, S. M. Hormone interactions in stomatal function. **Plant molecular biology**, v. 69, n. 4, p. 451-462, 2009.
- 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).
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 617-625, 2007.
- ALONI, R. et al. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. **Annals of Botany**, v. 97, n. 5, p. 883-893, 2006.
- ANTOLIN, G. et al. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. **Bioresource technology**, v. 83, n. 2, p. 111-114, 2002.
- ASSENG, S. et al. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. **Plant and Soil**, v. 201, n. 2, p. 265-273, 1998.
- 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.
- BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª. Edição, Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.

- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin, Springer, 1979. 188p.
- CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 213-223, 2001.
- CAIRES, E. F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 1029-1040, 2001.
- CARDOSO, E.G. et al. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.3, p.493-501, 2006.
- CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F. L. **Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: UFSM/Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88p.
- CONAB. **Série histórica de produção e área plantada: safras 1976/77 a 2015/2016**. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>> Acesso em: 05 nov. 2015.
- CONNOR, D. J.; JONES, T. R. Response of sunflower to strategies of irrigation II. Morphological and physiological responses to water stress. **Field Crops Research**, v. 12, p. 91-103, 1985.
- CONNOR, D. J.; SADRAS, V. O. Physiology of yield expression in sunflower. **Field Crops Research**, v. 30, n. 3, p. 333-389, 1992.
- DOURADO NETO, D. et al. Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de agua en el suelo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.3, p.537-546,1999.
- 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.
- 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.
- HELDWEIN, A. B. et al. Yield and growth characteristics of sunflower sown from August to February in Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 908-913, 2014.
- KAGE, H.; KOCHLER, M.; STÜTZEL, H. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. **European Journal of Agronomy**, v.20, n.4, p.379-394, 2004.

KUSTER, T. M. et al. Root growth of different oak provenances in two soils under drought stress and air warming conditions. **Plant and soil**, v. 369, n. 1-2, p. 61-71, 2013.

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

LOOSE, L. H. **Emergência e crescimento inicial de plantas de girassol sob excesso hídrico**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

MALDANER, I. C. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura do girassol na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2012. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

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.

PIVETTA, L. A. **Avaliação do sistema radicular da soja sob sistemas de manejo do solo**. 2011. 42f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp, Botucatu, SP, 2011.

RAUF, S.; SADAQAT, H. A. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Plant Interactions**, v. 2, n. 1, p. 41-51, 2007.

RIGHI, E. Z. et al. Balance of longwave radiation employing the rate of solar radiation for Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v.46, n.1, p.29-37, 2015.

ROSA, H. T. et al. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1374-1382, 2009.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SADRAS, V. O. et al. Dynamics of rooting and root-length: leaf-area relationships as affected by plant population in sunflower crops. **Field Crops Research**, v. 22, n. 1, p. 45-57, 1989.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SCHNEITER, A. A.; MILLER, J. F. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, v.21, n.6, p.901-903, 1981.



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

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

SHARP, R. E. et al. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2343-2351, 2004.

SHIMONO, H. et al. Interactive effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and waterlogging on vegetative growth of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Plant Production Science**, v.15, n.3, p.238-245, 2012.

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

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.1, p.83-91, jan. 1999.

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

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5<sup>a</sup> ed. Artmed, Porto Alegre, 2012. 954p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina, EMBRAPA CNPSo, 1999. 58p.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: Tucci, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2004. p.391-441.

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.

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

XIONG, L. et al. Identification of drought tolerance determinants by genetic analysis of root response to drought stress and abscisic acid. **Plant physiology**, v. 142, n. 3, p. 1065-1074, 2006.

## **5 ARTIGO III – Análise de crescimento e modelagem do crescimento do girassol sob três regimes hídricos em dois solos**

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi gerar modelos e analisar o crescimento do girassol sob diferentes condições de disponibilidade hídrica em duas épocas de semeadura e dois solos. O experimento foi conduzido em dois locais, Santa Maria/RS (Argissolo) e Panambi/RS (Latossolo), sob três condições hídricas (déficit hídrico, excesso hídrico e controle) nas duas épocas de semeadura, início de setembro (Safrá) e início de janeiro (Safrinha). Para determinar a condição hídrica do solo ao longo do ciclo realizou-se o balanço hídrico sequencial diário. As plantas foram coletadas em quatro estádios de desenvolvimento fenológico (V10, R2, R6 e R8). A análise de crescimento do girassol foi realizada avaliando-se a taxa de crescimento da cultura, a taxa de crescimento relativo, a taxa de assimilação líquida, a taxa de crescimento foliar relativo, a duração da área foliar, a razão da área foliar e a área foliar específica. Foi elaborada a modelagem do crescimento em matéria seca de cada parte da planta e da profundidade do sistema radicular. A análise de crescimento revelou que das condições hídricas aplicadas a que mais afetou negativamente o crescimento do girassol foi o déficit hídrico, seguido pelo excesso hídrico. Os modelos de crescimento do girassol em matéria seca e em profundidade de raízes apresentaram bom ajuste aos dados medidos e podem ser utilizados para as condições locais com boa precisão.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Helianthus annuus* L.. Condição hídrica. Épocas de semeadura.

### **Growth analysis and growth modeling for sunflower under three water regimes in two soils**

**ABSTRACT:** This study aims generate models and analyzing sunflower growth under different water availability conditions in two sowing dates and two soils. The experiment was carried out at two sites, Santa Maria/RS (Ultisol) and Panambi/RS (Oxisol) with three water conditions (drought, water surplus and control) in two sowing dates, early September (Safrá) and early January (Safrinha). To determine soil water content along the cycle was carried out the daily sequential water balance. The plants were collected in four phenological development stages (V10, R2, R6 and R8). The sunflower growth analysis was performed by assessing the growth rate of the culture, the relative growth rate, the liquid uptake rate, the rate of relative leaf growth, the leaf area duration, leaf area ratio and specific leaf area.

Modeling of growth in dry matter of each part of the plant and the depth of the root system was developed. The growth analysis reveals that the applied water condition which most adversely affected sunflower growth was the drought, followed by water surplus. The sunflower growth models as dry matter and depth of root system showed good fit to data measured and can be used to local conditions with good accuracy.

**KEY WORDS:** *Helianthus annuus* L.. Water condition. Sowing dates.

## INTRODUÇÃO

O potencial produtivo de uma planta é reduzido com a intensidade da ocorrência de uma condição adversa causada por fator abiótico ou biótico. O fator abiótico que mais afeta o crescimento e a produtividade das plantas é a disponibilidade hídrica do solo (SANTOS; CARLESSO, 1998; TAIZ; ZEIGER, 2012). A análise de crescimento das plantas é fundamental para conhecer as respostas das plantas a essas diferentes condições (LUCCHESI, 1984). Da mesma forma, a modelagem é uma importante ferramenta para simular e determinar a produtividade, o crescimento e o desenvolvimento vegetal (CONNOR; FERERES, 1999).

A modelagem surgiu nos anos 1960 e evoluiu com o advento tecnológico dos computadores (MCMASTER et al., 2011). A gama de modelos matemáticos vai de simples a complexos. Dependendo da finalidade, tanto os modelos mais simples quanto os mais complexos podem ser utilizados sem prejuízo dos resultados. Porém, para modelar o crescimento em biomassa e produtividade são necessárias uma série de variáveis relacionadas às plantas, levando a uma complexidade maior nesses modelos (SINCLAIR; SELIGMAN, 1996).

A análise de crescimento entra na modelagem das culturas como gerador de variáveis que possam ser utilizadas nos modelos, como a taxa de crescimento da cultura e a taxa de assimilação líquida. Nos modelos complexos, as variáveis de análise de crescimento entram no terceiro setor, relacionado à produção de biomassa seca, que contempla a fotossíntese, a eficiência do uso da radiação solar, o índice de área foliar, a massa foliar específica e a partição de massa seca (CONNOR; FERERES, 1999), além da duração da área foliar ativa (URCHEI; RODRIGUES; STONE, 2000; BORRELL; HAMMER; HENZELL, 2000). O primeiro refere-se ao desenvolvimento fenológico da cultura (soma térmica, número de folhas



e dossel) e o segundo à umidade do solo (água no solo, profundidade de raízes, evapotranspiração, absorção de água, suscetibilidade ao estresse hídrico).

Atualmente os esforços de pesquisadores estão focados em melhorar os modelos de simulações de culturas pela incorporação de respostas ao estresse hídrico, interpretação do tempo térmico (MCMASTER; WILHELM, 2003; STRECK; BOSCO; LAGO, 2008) e a partição de fotoassimilados entre as partes da planta (KAGE; KOCHLER; STÜTZEL, 2004). Na cultura do girassol, apesar de haver alguns modelos matemáticos de desenvolvimento (CHAPMAN; HAMMER; MEINKE, 1993), faltam informações sobre o crescimento e partição de matéria seca que contemplam as condições de déficit e excesso hídrico.

O objetivo deste trabalho foi gerar modelos e informações para a modelagem a partir da análise de crescimento do girassol sob diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo em duas épocas de semeadura e dois solos do Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em dois locais. Em Santa Maria, Região da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul (RS) (latitude: 29° 43' 23''S, longitude: 53° 43' 15''W e altitude: 95 m), e Panambi, Região do Planalto Médio do RS (latitude: 28° 16' 02''S, longitude: 53° 34' 43''W; e altitude: 419 m). O clima das duas regiões é classificado como do tipo Cfa subtropical úmido sem estação seca definida. O solo da área experimental de Santa Maria é o Argissolo Vermelho Distrófico arênico e da área experimental de Panambi é o Latossolo Vermelho Distroférico típico (STRECK et al., 2008).

Em ambas as áreas experimentais o solo foi corrigido com calagem e adubação de NPK previamente à semeadura de aveia, cultura que antecedeu ao girassol. A semeadura do girassol foi realizada de forma direta na época de Safra e da Safrinha em Santa Maria (06/09/2013, 06/01/2014, 06/01/2015) e Panambi (07/09/2013, 07/01/2014). O híbrido de girassol Helio 250 foi semeado no espaçamento de 0,50 m entre linhas e 0,45 m entre plantas, com população de 44.444 plantas ha<sup>-1</sup> após o desbaste. A adubação constou de 300 kg ha<sup>-1</sup> de NPK (5-20-20) e 30 kg ha<sup>-1</sup> de Bórax realizada na semeadura e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia aplicada em cobertura no estádio V10. A calagem e a adubação foram realizadas com base na análise química do solo (ANEXOS B e C). Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme indicações técnicas (EMBRAPA, 2007).

A umidade de saturação e a curva de drenagem de cada solo foram determinadas conforme método descrito por Bernardo; Soares e Mantovani (2006) (APÊNDICE A). O solo

foi amostrado a cada 5 cm até a profundidade de 60 cm a cada 12 horas. Para cada camada de solo determinou-se o limite inferior de água disponível às plantas (PMP = ponto de murcha permanente) no equipamento WP4 considerando-se o PMP do solo na tensão de 1,5 MPa (APÊNDICE B).

O experimento foi um trifatorial (3x2x2): três disponibilidades hídricas (controle, déficit e excesso hídrico), duas épocas de semeadura (Safrinha e Safra) e dois locais com diferentes solos (Argissolo e Latossolo). O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com disposição em faixas. Os tratamentos de disponibilidade hídrica foram: déficit hídrico, com irrigação abaixo da necessidade da cultura, mantendo-se o armazenamento (Armaz) entre 40 e 60% da capacidade de armazenamento de água disponível (CAD); controle, com a melhor condição de disponibilidade hídrica às plantas, mantendo-se o Armaz entre 75 e 100% da CAD, evitando excessos e déficits hídricos; e excesso hídrico, mantendo-se o Armaz acima de 90% da CAD com irrigações feitas até o ponto detectado como de saturação do solo, que foi até 167 mm no Argissolo e de 144 mm no Latossolo. Esses níveis de condição hídrica foram utilizados com base nos resultados obtidos para a cultura do milho (BERGONCI et al., 2001).

A aplicação dos tratamentos iniciou no estágio V6 (SCHNEITER; MILLER, 1981), restringindo-se a entrada de chuvas no tratamento de déficit hídrico e aplicando irrigações excessivas na área sob tratamento de excesso hídrico. O tratamento de déficit hídrico contou com uma estrutura de madeira similar a de uma estufa arco pampeano, que permitiu a colocação e retirada completa do filme plástico de polietileno de baixa densidade (PEBD), imediatamente antes e após cada chuva, respectivamente, evitando que a umidade no solo se elevasse acima de 60% da CAD. No entorno da área foram feitas valas de 0,3 m de profundidade permitindo a melhor drenagem da área.

A irrigação foi feita por tubos gotejadores instalados na entrelinha de plantas. A umidade do solo foi determinada pelo balanço hídrico sequencial (BHS) (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) em escala diária (PEREIRA, 2005) (APÊNDICES F e G). O aprofundamento radicular ao longo do ciclo foi considerado para a determinação diária da CAD, sendo utilizada a equação 1 conforme Dourado Neto et al. (1999), considerando-se 0,10 m a profundidade inicial e de 0,60 m desde a antese até ao final do ciclo (MALDANER, 2012).

$$CAD_n = CAD_{in} + \left( \frac{CAD_f - CAD_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \cos \left[ \left( \pi^{\left( \frac{1}{F} \right)} \cdot \frac{ST_{(n)}}{ST} \right)^F \right] \right\} \quad (1)$$

em que:  $ST_{(n)}$  é o valor de soma térmica acumulada até o dia “n”, em °C dia<sup>-1</sup>;

$ST$  é o valor de soma térmica acumulada necessário para atingir a  $CAD_f$ , em °C dia<sup>-1</sup>;

$F$  é o coeficiente exponencial, que para o girassol é de 0,80 (MALDANER, 2012);

$CAD_{in}$  é a CAD inicial para a profundidade de 0,10 m, em mm;

$CAD_f$  é a CAD final para a profundidade de 0,60 m, em mm;

$CAD_n$  é a CAD do dia “n”, em mm.

O Armazenamento foi calculado pela equação 2 adaptada do BHS de Pereira (2005), considerando que na medida que as raízes se aprofundam, ocupam mais volume e podem entrar em contato com solo mais úmido, umidade que precisa ser contabilizada no modelo:

$$Armaz = (CAD * e^{(Neg.Ac./CAD)}) + \{(PROF_n - PROF_{n-1}) * (LS - LI) * DS\} \quad (2)$$

em que: Neg.Ac. é o negativo acumulado do balanço hídrico sequencial calculado a partir da diferença entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração da cultura (ETc);

$PROF_n$  = profundidade do sistema radicular no dia “n” em mm;

$PROF_{n-1}$  = profundidade do sistema radicular no dia “n-1” em mm;

$LS$  = é o limite superior (CC) de umidade gravimétrica do horizonte do solo em g g<sup>-1</sup>;

$LI$  = é o limite inferior (PMP) de umidade gravimétrica do horizonte do solo em g g<sup>-1</sup>;

$DS$  = densidade do solo em g cm<sup>-3</sup>.

O aprofundamento radicular diário foi calculado pela equação adaptada de Dourado Neto et al. (1999):

$$PROF_n = PROF_{in} + \left( \frac{PROF_f - PROF_{in}}{2} \right) \left\{ 1 - \cos \left[ \left( \pi^{\left( \frac{1}{F} \right)} \cdot \frac{ST_{(n)}}{ST} \right)^F \right] \right\} \quad (3)$$

em que:  $PROF_n$  é a profundidade radicular do dia “n”;

$PROF_{in}$  = é a profundidade inicial considerada de 0,10 m;

$PROF_f$  = é a profundidade final efetiva do girassol considerada de 0,60 m (MALDANER, 2012).

Foram obtidos os dados meteorológicos das estações meteorológicas automáticas do INMET, localizadas em Santa Maria e em Cruz Alta (mais próxima a Panambi) e os dados de precipitação pluvial foram medidos nas áreas experimentais, corrigidos a para chuva efetiva, conforme Tucci (2004), utilizando-se o valor da curva número (CN) de 62 e 82 para Argissolo e Latossolo, respectivamente. Para validação do balanço hídrico foram coletadas amostras de solo nos dois locais ao longo do ciclo da cultura do girassol e a umidade determinada comparada com o Armaz calculado por BHS (APÊNDICE H). A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) com ajuste da razão de radiação proposta por Righi et al. (2015) e a evapotranspiração máxima da cultura (ETc) foi calculada conforme Allen et al. (1998).

A ETc foi calculada conforme Allen et al. (1998):

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (4)$$

em que, ETo é a evapotranspiração de referência e o Kc é o coeficiente de cultura conforme Allen et al. (1998).

Para estimativa da ETo foi utilizado o método de Penman-Monteith, com equação proposta por Allen et al. (1998):

$$ETo = \frac{0,408S(Q^* - G) + \frac{y900u_2(es - e)}{T + 273}}{S + y(1 + 0,34u_2)} \quad (5)$$

em que: S = Tangente à curva de saturação do ar ( $kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$ ),  $Q^*$  = saldo de radiação ( $MJ \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ); G é o fluxo de calor no solo (5% do  $Q^*$ ); y é constante psicrométrica ( $0,066 \text{ kPa } ^\circ C^{-1}$ );  $u_2$  = velocidade média de vento ( $m \text{ s}^{-1}$ ) 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 ( $^\circ C$ ).

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

$$s = \frac{25051,96 \cdot 10^{[7,5T/(237,5+T)]}}{(T + 237,5)^2} \quad (6)$$

A equação 7 representa a pressão de saturação de vapor no ar:

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

A pressão parcial de vapor no ar é dada por:

$$e = \frac{e_s * UR}{100} \quad (8)$$

em que: UR = umidade relativa média diária;

e = pressão parcial de vapor no ar (hPa);

e<sub>s</sub> = pressão de saturação de vapor no ar (hPa).

O saldo de radiação é dado pela equação abaixo representada:

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

em que: R<sub>g</sub> é a radiação solar global incidente (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

0,77 refere-se à fração da radiação solar incidente no topo da cultura de referência absorvida pelo dossel de plantas e solo;

0,95 = Emissividade (ε);

4,9\*10<sup>-9</sup> MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> K<sup>-4</sup> = Constante de Stefan-Boltzmann (σ);

T = temperatura média diária do ar (°C);

e = pressão parcial de vapor (hPa);

K<sub>o</sub>↓ = radiação solar diária no topo da troposfera (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>).

As amostragens de plantas foram realizadas ao longo do ciclo, nos estádios de dez folhas expandidas (V10), alongamento do broto floral (R2), final da floração (R6) e final do enchimento de grãos (R8) (APÊNDICE AA). Em razão de danos ocorridos nas plantas sob déficit hídrico próximo ao final do ciclo da Safrinha de 2014 em Santa Maria, para análise foram utilizados os dados da Safrinha de 2015. Foram determinadas as massas de matéria seca total (MST), matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de capítulo (MSCap), matéria seca de raízes (MSR) e área foliar (AF) determinada pelo método proposto por Maldaner et al. (2009).

A análise de crescimento foi realizada em função da soma térmica para o girassol. A soma térmica foi calculada pelo método descrito por Rosa et al. (2009):

$$STd = (Tméd - Tb).1 \text{ dia, quando } Tb < Tméd \leq Tot; \quad (10)$$

$$STd = \{(Tot - Tb).[(TB - Tméd)/(TB - Tot)]\}.1 \text{ dia, quando } Tot < Tméd \leq TB; \quad (11)$$

se  $Tméd < Tb$ , então  $Tméd = Tb$ ;

se  $Tméd > TB$ , então  $Tméd = TB$

em que: STd = soma térmica diária;

Tméd = temperatura do ar média diária;

Tb = Temperatura base inferior, 4,2 °C (SENTELHAS et al., 1994);

TB = Temperatura base superior 34 °C (WARREN-WILSON, 1966 apud UNGARO et al., 2009);

Tot = Temperatura ótima 27 °C (WARREN-WILSON, 1966 apud UNGARO et al., 2009).

Determinaram-se a taxa de crescimento da cultura (TCC), a taxa de crescimento relativo (TCR), a taxa de assimilação líquida (TAL), a taxa de crescimento foliar relativo (TCFR), a duração da área foliar (DAF), a razão da área foliar (RAF) e a área foliar específica (AFE). As equações para cálculo das variáveis de análise de crescimento encontram-se em Lucchesi (1984) no ANEXO A. Os resultados foram avaliados por análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

A modelagem do crescimento foi realizada para as variáveis MST, MSF, MSC, MSCap, MSR e para a profundidade do sistema radicular (PSR). A massa de matéria seca não apresentou diferença significativa entre os solos, apenas entre épocas de semeadura e condição hídrica, sendo utilizados valores médios dos dois solos para a modelagem. A PSR apresentou diferença inclusive para os solos e, portanto, foi desdobrada entre solos e épocas de semeadura. Os modelos foram gerados com a média de oito plantas por tratamento de condição hídrica em cada local e em cada época, e testados com a média de outras oito plantas. Foram testados modelos lineares, quadráticos, cúbicos, potenciais, sigmoidais e de pico gaussiano, sendo utilizados os modelos que mais se ajustaram aos pontos da curva em função da soma térmica. Para o teste dos modelos foram utilizadas as estatísticas do erro absoluto médio (EAM), da raiz do quadrado médio do erro (RQME) e do índice d de Willmott (WILLMOTT, 1981), cujas equações são as de número 6; 7 e 8, respectivamente:

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i|}{n} \quad (12)$$

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}} \quad (13)$$

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{Y}_i - \bar{Y}| + |Y_i - \bar{Y}|)^2} \right] \quad (14)$$

em que:  $\hat{Y}_i$  são os valores estimados,  $Y_i$  são os valores observados,  $\bar{Y}$  é a média dos valores observados e  $n$  é o número de observações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de crescimento do girassol mostraram não haver diferença entre os dois solos, mas entre épocas de semeadura e entre os tratamentos de disponibilidade hídrica (Tabela 1). Entre os estágios EM e V10 praticamente não houve diferença entre os tratamentos de disponibilidade hídrica, comprovando-se assim a homogeneidade até o início da aplicação dos tratamentos de disponibilidade hídrica, pois estes começaram a ser aplicados a partir do estágio fenológico V6.

A taxa de crescimento da cultura representa a quantidade de matéria seca total acumulada por área e por unidade de tempo (LUCCHESI, 1984), nesse caso por tempo térmico ( $^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ ). A taxa de crescimento da cultura durante a Safra foi maior no tratamento controle, diferindo do déficit e do excesso hídrico nos subperíodos V10 - R2 e R2 - R6. No subperíodo R6 - R8 houve redução na taxa de crescimento da cultura. Na Safrinha os resultados foram semelhantes, com a diferença de que no subperíodo R6 - R8 a taxa de crescimento da cultura foi negativa nos tratamentos controle e excesso hídrico. Resultado semelhante foi encontrado para a aveia preta (SCHUCH et al., 2000) e para a batateira (BARCELOS; GARCIA; MACIEL JUNIOR, 2007). No subperíodo de R6 - R8 a senescência foliar foi acentuada, sendo mais acelerada na Safrinha do que na Safra, levando a taxa de crescimento da cultura a ser negativa.

Tabela 1 – Análise de crescimento em função da soma térmica da cultura do girassol conduzido sob condições de déficit hídrico (Déf), controle (Cont) e excesso hídrico (Exc) na Safra e Safrinha do Rio Grande do Sul em diferentes subperíodos.

Estágios	Condição Hídrica	TCC	TCR	TAL	TCFR	DAF	RAF	AFE
SAFRA								
EM - V10	Déf	0.0486 b	-	-	-	3.9496 a	1.6904 a	2.5734 a
	Cont	0.0571 a	-	-	-	4.2537 a	1.5554 b	2.3981 ab
	Exc	0.0525 ab	-	-	-	4.0452 a	1.5955 ab	2.3726 b
V10 - R2	Déf	0.7875 c	0.0076 b	0.0085 b	0.0053 b	31.2864 c	0.7329 a	2.3490 a
	Cont	1.2343 a	0.0083 a	0.0095 a	0.0063 a	48.0214 a	0.7256 a	2.1799 b
	Exc	0.9787 b	0.0079 ab	0.0084 b	0.0061 a	41.9538 b	0.7945 a	2.3710 a
R2 - R6	Déf	0.8009 b	0.0017 a	0.0036 a	0.0001 a	47.8985 c	0.4725 ab	2.0776 b
	Cont	1.4592 a	0.0019 a	0.0042 a	0.0000 a	75.0229 a	0.4497 b	1.9994 b
	Exc	0.9938 b	0.0017 a	0.0034 a	-0.0002 a	62.6767 b	0.4995 a	2.2336 a
R6 - R8	Déf	0.4509 b	0.0006 a	0.0024 a	-0.0010 a	39.0546 c	0.2735 a	1.8205 ab
	Cont	0.6063 ab	0.0005 a	0.0021 a	-0.0010 a	59.7095 a	0.2511 a	1.8002 b
	Exc	0.9745 a	0.0009 a	0.0034 a	-0.0008 a	50.1076 b	0.2614 a	1.9122 a
SAFRINHA								
EM - V10	Déf	0.0404 a	-	-	-	1.5536 a	1.5225 a	2.7286 a
	Cont	0.0419 a	-	-	-	1.5992 a	1.5238 a	2.6793 a
	Exc	0.0429 a	-	-	-	1.6707 a	1.5459 a	2.7832 a
V10 - R2	Déf	0.5104 b	0.0066 b	0.0076 a	0.0048 b	22.2947 b	0.7168 b	2.1939 b
	Cont	0.8776 a	0.0077 a	0.0079 a	0.0063 a	42.5495 a	0.8223 a	2.2529 b
	Exc	0.8186 a	0.0075 a	0.0081 a	0.0060 a	39.6987 a	0.8186 a	2.4227 a
R2 - R6	Déf	0.7003 c	0.0021 a	0.0042 a	0.0004 a	30.2266 c	0.4982 a	2.1888 ab
	Cont	1.6278 a	0.0023 a	0.0048 a	0.0002 a	59.2789 a	0.5219 a	2.1162 b
	Exc	1.2719 b	0.0027 a	0.0043 a	-0.0002 a	51.9978 b	0.5206 a	2.2539 a
R6 - R8	Déf	0.2919 a	0.0005 a	0.0017 a	-0.0009 a	29.6433 c	0.3148 a	2.1560 a
	Cont	-0.1571 b	0.0002 b	-0.0006 b	-0.0022 b	48.8653 a	0.2994 a	1.9779 b
	Exc	-0.0106 ab	0.0000 b	0.0000 b	-0.0031 c	37.1567 b	0.2587 b	2.0007 b

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Taxa de crescimento da cultura (TCC) em  $\text{g m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ; taxa de crescimento relativo (TCR) em  $\text{g g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ; taxa de assimilação líquida (TAL) em  $\text{g dm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ; taxa de crescimento foliar relativo (TCFR) em  $\text{g g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ; duração da área foliar (DAF) em  $\text{dm}^2 \text{ dia}^{-1}$ ; razão da área foliar (RAF)  $\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$ ; área foliar específica (AFE) em  $\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$ .

A taxa de crescimento relativo representa o aumento na quantidade de matéria seca por unidade de peso inicial e um intervalo de tempo (REIS; MULLER, 1979). Nos resultados obtidos, a taxa de crescimento relativo apresentou diferença entre os tratamentos de



disponibilidade hídrica apenas no subperíodo V10 - R2, tanto na Safra quanto na Safrinha, com menor taxa de crescimento relativo no tratamento com déficit hídrico, invertendo-se para maior taxa de crescimento relativo somente no subperíodo R6 - R8 da Safrinha nesse tratamento. A taxa de crescimento relativo decresceu à medida que as plantas cresceram, sendo a tendência natural característica do crescimento das plantas (LUCCHESI, 1984).

A taxa de assimilação líquida não apresentou diferença entre os tratamentos na maioria dos subperíodos. Na Safra, apenas no subperíodo V10 - R2 houve diferença, com maior taxa de assimilação líquida para o tratamento controle. Na Safrinha a taxa de assimilação líquida foi negativa para o tratamento controle, nula sob excesso hídrico e pouco positiva sob déficit hídrico no subperíodo R6 - R8, tendência similar ao descrito por De Campos et al. (2011). Segundo esses autores, no final do ciclo ocorre uma drástica redução da taxa fotossintética, que está ligada diretamente a taxa de assimilação líquida, havendo gasto de energia das reservas da planta para translocar o máximo de fotoassimilados para a parte reprodutiva. O auto-sombreamento da planta também é um fator que reduz a taxa de assimilação líquida (LUCCHESI, 1984).

Tanto na Safra quanto na Safrinha a taxa de crescimento foliar relativo foi negativa no final do ciclo, o que é esperado devido a senescência de folhas nessa fase. Nas duas épocas de semeadura a taxa de crescimento foliar relativo foi um pouco menor no déficit hídrico no subperíodo V10 - R2, significando que nessa fase o crescimento foliar já estava sendo prejudicado por esse tratamento. Esse menor crescimento foliar está relacionado ao menor crescimento e expansão das folhas, consequência da perda de turgescência nas células das folhas quando da ocorrência de déficit hídrico. Quanto à duração da área foliar, a partir do subperíodo V10 - R2 foi sempre maior no tratamento controle, seguido do excesso hídrico, com os piores resultados para o déficit hídrico em ambas as épocas de semeadura. Também verificou-se duração da área foliar maior na Safra do que na Safrinha.

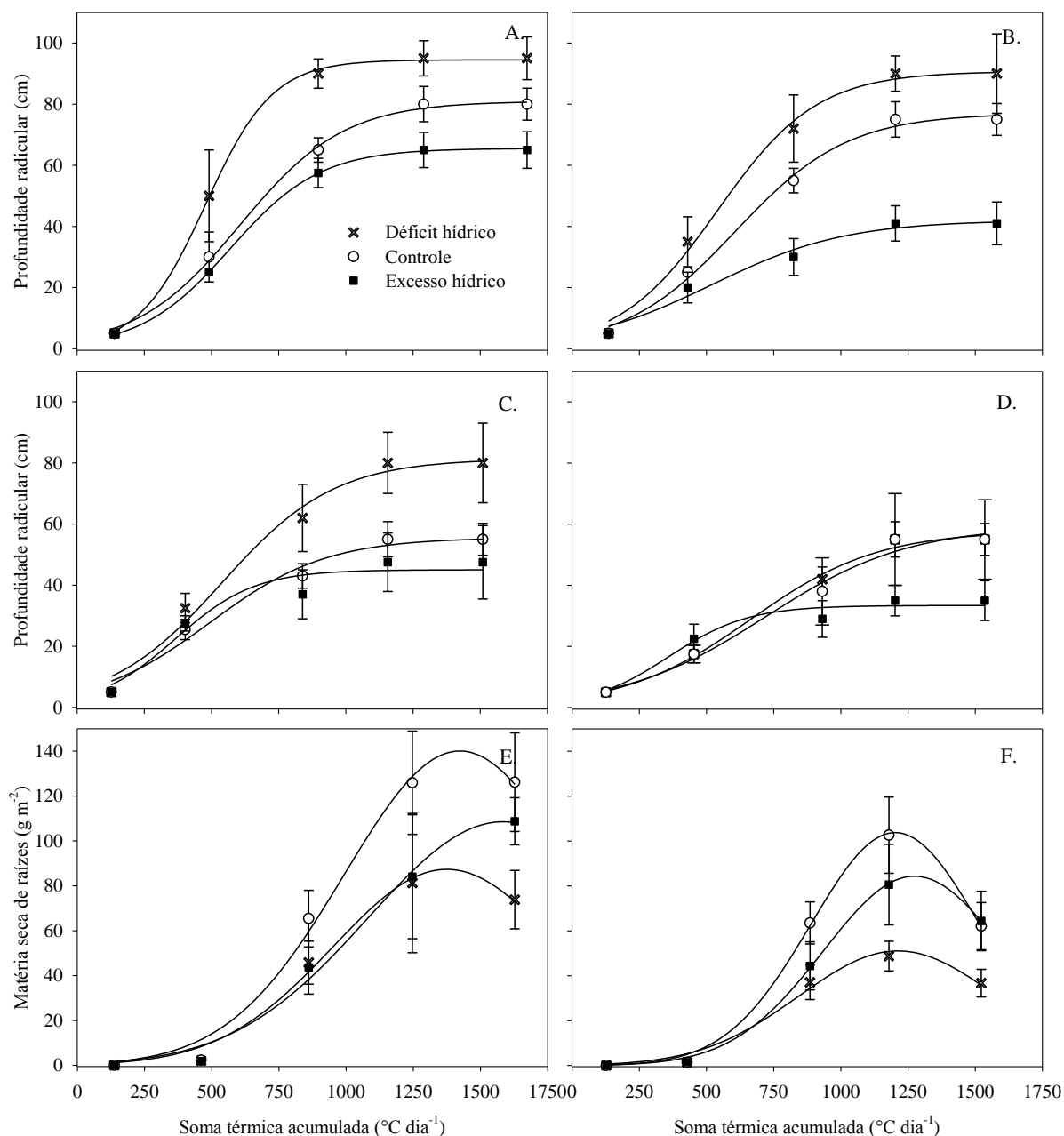
A razão de área foliar praticamente não apresentou diferença entre os tratamentos de disponibilidade hídrica. Ela apenas apresenta sua tendência natural, de ser maior no início do ciclo e reduzir gradativamente até o final do ciclo (URCHEI; RODRIGUES; STONE, 2000; GARCIA et al., 2008). Isso significa que a planta manteve equilíbrio da relação entre a massa seca foliar com a massa seca da planta inteira. Já a área foliar específica durante quase todo o ciclo foi maior no excesso hídrico, seguido do déficit hídrico, sendo que o controle apresentou os menores valores, tanto na Safra quanto na Safrinha. Esse resultado revela que tanto o excesso quanto o déficit hídrico levam a planta a formar folhas de maior espessura, com uma maior densidade foliar.

A modelagem da profundidade do sistema radicular (cm) e da matéria seca de raízes ( $\text{g m}^{-2}$ ) é apresentada na Figura 1. Verifica-se uma clara diferença visual no aprofundamento radicular entre os tratamentos de disponibilidade hídrica, entre as épocas de semeadura e entre os solos (Figuras 1A, 1B, 1C, 1D). A matéria seca diferiu entre solos e entre os tratamentos de disponibilidade hídrica, não diferindo entre solos (Figuras 1E, 1F).

O modelo sigmoidal foi o que melhor se ajustou aos dados de profundidade radicular em função da soma térmica (Tabela 2). Obteve-se um modelo para cada condição hídrica, para cada solo e para cada época de semeadura, tendo em vista que o aprofundamento radicular foi significativamente afetado pelos três fatores. As estatísticas do EAM, RQME e “d” obtidas revelam boa precisão dos modelos. O aprofundamento foi maior nos tratamentos de déficit hídrico, seguidos pelo controle e pelo excesso hídrico. Isso ocorre em resposta aos hormônios vegetais responsáveis pela adaptação da planta a condição imposta (CHAVES; MAROCO; PEREIRA, 2003). As auxinas e o etileno promovem o crescimento de raízes secundárias, enquanto as citocininas e o ABA promovem o aprofundamento radicular (ALONI et al., 2006; ACHARYA; ASSMANN, 2009).

Quando cultivado na Safra, o girassol teve um aprofundamento de raízes maior do que na Safrinha. Esse resultado pode estar relacionado à demanda hídrica atmosférica da Safrinha ter sido alta no início do ciclo, levando a uma rápida redução da umidade do solo e assim aumentando a resistência à penetração. Entre solos a diferença foi significativa com um aprofundamento radicular menor no Latossolo (Tabela 2). Conforme Rosolem et al. (1999), quando ocorre o déficit hídrico, a resistência a penetração das raízes aumenta em solos com teor de argila maior que 40%, de modo que o aprofundamento é dificultado em relação a solos com menores teores de argila na camada inicial, a exemplo do Argissolo.

Figura 1 – Aprofundamento radicular (A, B, C e D) e matéria seca de raízes (E e F) do girassol conduzido sob déficit hídrico, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha no Argissolo de Santa Maria/RS e no Latossolo de Panambi/RS, como função da soma térmica. Argissolo Safra (A); Latossolo Safra (B); Argissolo Safrinha (C); Latossolo Safrinha (D); Safra (E); Safrinha (F).



Os modelos para estimar a profundidade radicular em função da soma térmica podem ser utilizados para auxiliar na determinação da capacidade de armazenamento de água disponível às plantas computando sua variação ao longo do ciclo. Por exemplo, a camada de solo explorada pelo sistema radicular em um solo com excedente hídrico é menor do que em

um solo com déficit hídrico, pois a raiz tem um aprofundamento menor nos solos mantidos mais úmidos (KAGE; KOCHLER; STÜTZEL, 2004). É possível afirmar que o aprofundamento radicular varia com o tipo e a condição hídrica do solo e também com a época de semeadura da cultura. Portanto, foram elaborados os modelos para contemplarem essas diferentes situações (Tabela 2).

Tabela 2 – Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação ( $R^2$ ),  $x_0$  e P-valor dos modelos obtidos na modelagem da profundidade radicular (cm) (1 a 12) e da matéria seca de raízes ( $g\ m^{-2}$ ) (13 a 18) do girassol conduzido sob déficit, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha em Argissolo e Latossolo. Erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (1981).

Nº modelo	Utilização	Modelo	a	b	$x_0$	p-valor	$R^2$	EAM	RQME	d
1	Arg Safra Def	Sigm.	94.49*	124.49*	478.31*	0.00	0.99	7.55	9.38	0.98
2	Arg Safra Cont	Sigm.	80.96*	194.06*	606.08*	0.00	0.99	5.48	6.35	0.98
3	Arg Safra Exc	Sigm.	65.51*	167.46*	569.96*	0.00	0.99	3.94	5.54	0.98
4	Arg Safrin Def	Sigm.	81.36*	210.67 <sup>ns</sup>	537.77*	0.01	0.96	5.33	6.33	0.98
5	Arg Safrin Cont	Sigm.	55.56*	216.69 <sup>ns</sup>	494.14*	0.02	0.95	2.96	4.06	0.98
6	Arg Safrin Exc	Sigm.	45.02*	147.21 <sup>ns</sup>	366.44*	0.05	0.89	4.22	5.13	0.97
7	Lat Safra Def	Sigm.	90.69*	185.07*	541.87*	0.00	0.98	2.73	3.12	0.99
8	Lat Safra Cont	Sigm.	76.97*	209.01*	608.39*	0.00	0.99	6.00	6.94	0.98
9	Lat Safra Exc	Sigm.	41.98*	249.52 <sup>ns</sup>	520.93*	0.02	0.95	3.27	3.50	0.98
10	Lat Safrin Def	Sigm.	59.47*	267.22 <sup>ns</sup>	719.97*	0.01	0.97	3.71	4.68	0.98
11	Lat Safrin Cont	Sigm.	57.79*	237.09*	664.40*	0.00	0.98	1.14	1.40	0.99
12	Lat Safrin Exc	Sigm.	33.41*	147.65 <sup>ns</sup>	360.38*	0.03	0.93	4.37	5.07	0.94
13	Safra - Def	P. Gauss.	87.33*	422.42*	1374.67*	0.01	0.97	6.26	7.30	0.98
14	Safra - Cont	P. Gauss.	140.05*	430.95*	1423.62*	0.00	0.98	10.03	11.51	0.98
15	Safra - Exc	P. Gauss.	108.53*	501.11*	1583.83*	0.00	0.98	9.38	11.82	0.98
16	Safrinha - Def	P. Gauss.	51.04*	368.39*	1212.24*	0.01	0.97	4.77	6.09	0.97
17	Safrinha - Cont	P. Gauss.	103.77*	314.05*	1202.36*	0.00	0.99	7.66	11.44	0.97
18	Safrinha - Exc	P. Gauss.	84.32*	337.83*	1273.34*	0.00	0.99	5.11	6.91	0.98

Arg = Argissolo de Santa Maria; Lat = Latossolo de Panambi; Safra = época de semeadura preferencial; Safrin = Safrinha, época de semeadura tardia; Def = Déficit hídrico; Cont = Controle hídrico; Exc = Excesso hídrico. \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro no teste F. ns = não significativo. Sigm. = modelo sigmoidal,  $y = a/(1+\exp(-(x-x_0)/b))$ . P. Gauss. = modelo pico gaussiano,  $y = a*\exp(-0.5*((x-x_0)/b)^2)$ .

Os dados de massa de matéria seca de raízes foram melhor representados por modelos de pico gaussiano, com bom ajuste dos modelos (Figuras 1E, 1F). Todos os coeficientes da equação foram significativos e as estatísticas apresentaram ótimo resultado (Tabela 2). A matéria seca não apresentou diferença entre solos, podendo ser utilizado um único modelo

para ambos os solos (Argissolo e Latossolo). Entretanto, para profundidade de raízes ocorreu diferença entre solos. Portanto, mesmo que o aprofundamento ocorra de maneira distinta nos dois solos, essa característica não interfere significativamente no crescimento em matéria seca. A partir dos resultados de obtenção e das estatísticas de teste desses modelos, pode-se inferir que os modelos matemáticos podem ser usados para estimar o acúmulo de massa de matéria seca de raízes ao longo do ciclo utilizando-se apenas a soma térmica.

Os modelos que melhor se ajustaram a matéria seca total ( $\text{g m}^{-2}$ ), a matéria seca de folhas ( $\text{g m}^{-2}$ ) e a matéria seca de caule ( $\text{g m}^{-2}$ ) também foram os de pico gaussiano (Figura 2). Essas variáveis também não apresentaram diferença significativa entre os locais. Os coeficientes de todas as equações foram significativos (Tabela 3). As equações foram significativas apresentando p-valor abaixo de 0,05, exceto as equações 26 e 27. As estatísticas revelaram uma boa precisão dos modelos. Utilizando esses modelos pode-se, por exemplo, prever o acúmulo de matéria seca em cada parte da planta para cada condição hídrica e época de semeadura nesses solos estudados que abrangem grande área cultivada com plantas anuais no Rio Grande do Sul.

Figura 2 – Modelagem da matéria seca total (A e B), matéria seca de folhas (C e D), matéria seca de caule (E e F) e matéria seca do capítulo (G e H) do girassol conduzido sob déficit hídrico, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha, como função da soma térmica, conforme os modelos ajustados.

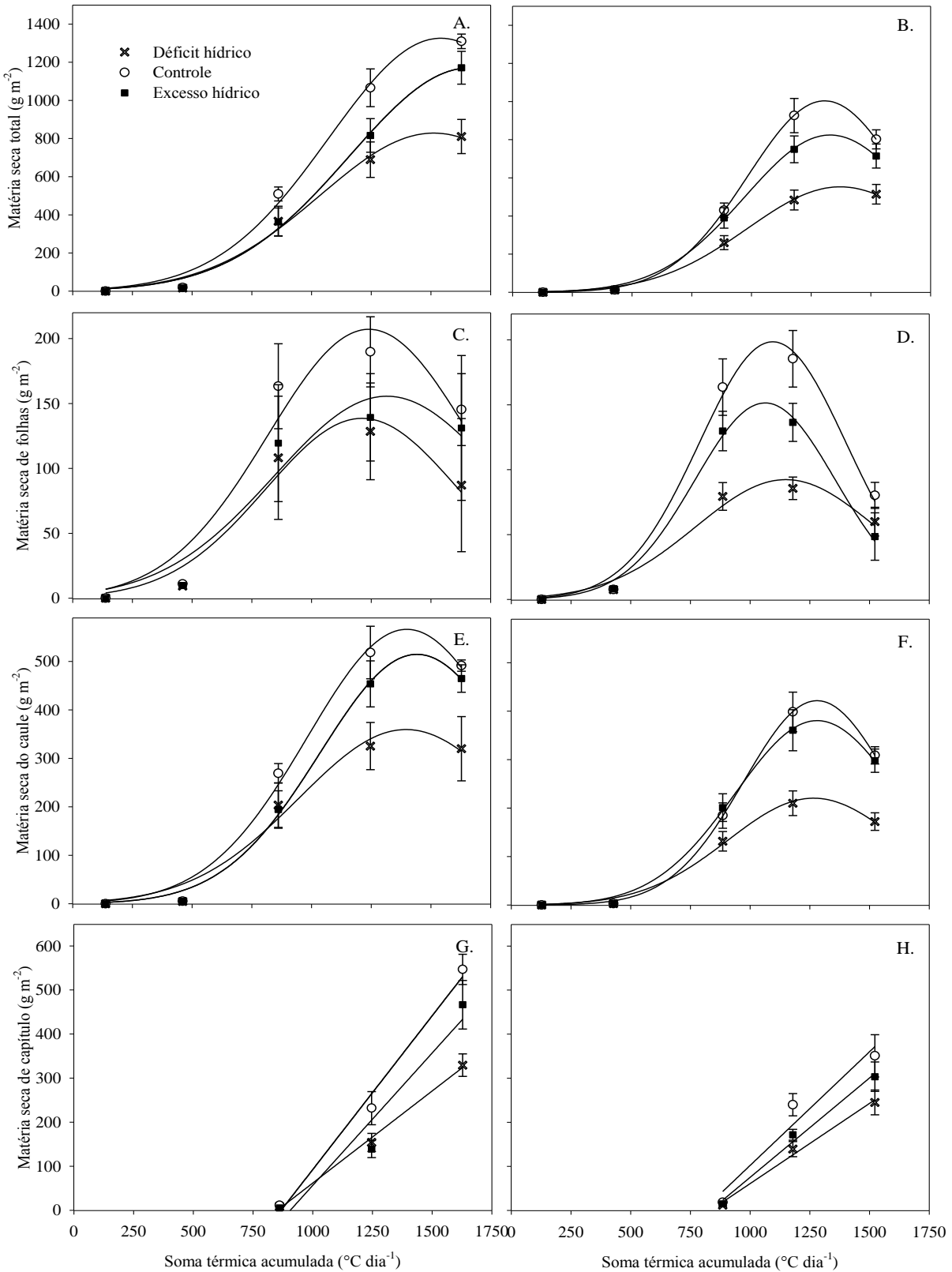


Tabela 3 – Coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação ( $R^2$ ),  $x_0$  e P-valor dos modelos obtidos na modelagem da matéria seca toral ( $\text{g m}^{-2}$ ) (19 a 24), da matéria seca de folhas ( $\text{g m}^{-2}$ ) (25 a 30) e da matéria seca de caule ( $\text{g m}^{-2}$ ) (31 a 36) do girassol conduzido sob déficit, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha em Argissolo e Latossolo. Erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (1981).

Nº modelo	Utilização	Equação	a	b	$x_0$	p-valor	$R^2$	EAM	RQME	d
19	Safra Def	P. Gauss.	828.50*	476.17*	1512.05*	0.00	0.98	46.00	60.93	0.99
20	Safra Cont	P. Gauss.	1325.97*	468.24*	1541.36*	0.00	0.98	28.83	41.34	0.99
21	Safra Exc	P. Gauss.	1170.81*	503.64*	1663.77*	0.00	0.99	63.37	73.29	0.99
22	Safrin Def	P. Gauss.	552.92*	387.81*	1371.77*	0.00	0.99	39.13	49.68	0.98
23	Safrin Cont	P. Gauss.	1003.63*	322.37*	1306.47*	0.00	0.99	38.06	48.80	0.99
24	Safrin Exc	P. Gauss.	824.39*	357.84*	1329.63*	0.00	0.99	18.12	26.87	0.99
25	Safra Def	P. Gauss.	138.57*	404.06*	1211.89*	0.03	0.92	13.22	14.78	0.97
26	Safra Cont	P. Gauss.	207.17*	423.17*	1240.42*	0.05	0.88	15.96	19.57	0.98
27	Safra Exc	P. Gauss.	155.63*	471.04*	1315.50*	0.06	0.87	19.61	25.90	0.95
28	Safrin Def	P. Gauss.	92.34*	377.44*	1149.63*	0.02	0.95	7.19	8.98	0.98
29	Safrin Cont	P. Gauss.	198.53*	308.03*	1094.67*	0.00	0.98	16.04	18.69	0.98
30	Safrinha Exc	P. Gauss.	151.42*	294.79*	1062.96*	0.00	0.98	4.87	7.78	0.99
31	Safra Def	P. Gauss.	359.56*	448.37*	1395.89*	0.02	0.95	30.28	38.09	0.98
32	Safra Cont	P. Gauss.	566.37*	417.05*	1399.20*	0.00	0.98	18.39	22.76	0.99
33	Safra Exc	P. Gauss.	514.77*	405.09*	1441.79*	0.00	0.99	30.43	35.82	0.99
34	Safrin Def	P. Gauss.	220.49*	359.29*	1265.78*	0.00	0.99	16.02	19.37	0.98
35	Safrin Cont	P. Gauss.	421.76*	306.45*	1280.50*	0.00	0.99	11.79	17.83	0.99
36	Safrin Exc	P. Gauss.	380.59*	342.75*	1280.76*	0.00	0.99	8.91	10.96	0.99

Safra = época de semeadura preferencial; Safrin = Safrinha, época de semeadura tardia; Def = Déficit hídrico; Cont = Controle hídrico; Exc = Excesso hídrico. \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro no teste F. P. Gauss. = modelo pico gaussiano,  $y = a \cdot \exp(-0.5 \cdot ((x-x_0)/b)^2)$ .

A matéria seca de capítulo ( $\text{g m}^{-2}$ ) foi melhor ajustada por modelos lineares (Figuras 2G, 2H). A maioria dos modelos não foi significativa a  $p < 0,05$ . No entanto, apenas os modelos 39 e 41 não foram significativas a  $p < 0,10$  (Tabela 4). Apesar disso, o desempenho dos modelos analisado pelas estatísticas foi satisfatório. Salienta-se que o capítulo do girassol começa a se destacar apenas após R1, que é o início da fase reprodutiva. Portanto, o modelo tem validade a partir de  $800 \text{ }^\circ\text{C dia}^{-1}$  do ciclo, momento que inicia o crescimento e o acúmulo de matéria seca significativa no capítulo do girassol que se estende até o final do ciclo.

Tabela 4 – Coeficientes linear (a) e de determinação ( $R^2$ ),  $y_0$  e p-valor dos modelos obtidos na modelagem da matéria seca do capítulo ( $g\ m^{-2}$ ) do girassol conduzido sob déficit, controle e excesso hídrico na Safra e Safrinha em Argissolo e Latossolo. Erro absoluto médio (EAM), raiz do quadrado médio do erro (RQME) e índice d de Willmott (1981).

Nº modelo	Utilização	Equação	a	$y_0$	p-valor	$R^2$	EAM	RQME	d
37	Safra Def	Linear	0.41*	- 356.09 <sup>ns</sup>	0.03	0.99	7.13	7.57	0.99
38	Safra Cont	Linear	0.69 <sup>ns</sup>	- 605.25 <sup>ns</sup>	0.06	0.98	21.66	22.98	0.99
39	Safra Exc	Linear	0.60 <sup>ns</sup>	- 544.16 <sup>ns</sup>	0.15	0.88	43.67	46.33	0.98
40	Safrinha Def	Linear	0.36 <sup>ns</sup>	- 303.18 <sup>ns</sup>	0.06	0.98	8.72	9.26	0.99
41	Safrinha Cont	Linear	0.52 <sup>ns</sup>	- 413.75 <sup>ns</sup>	0.14	0.89	30.22	32.10	0.98
42	Safrinha Exc	Linear	0.45 <sup>ns</sup>	- 375.93 <sup>s</sup>	0.06	0.98	10.52	11.16	0.99

Safra = época de semeadura preferencial; Safrinha = época de semeadura tardia; Def = Déficit hídrico; Cont = Controle hídrico; Exc = Excesso hídrico. \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro no teste F. ns = não significativo. Linear. = modelo da regressão linear,  $y = a*x + y_0$ .

## CONCLUSÕES

A condição hídrica que mais afeta negativamente o crescimento do girassol é o déficit hídrico, seguido pelo excesso hídrico.

A época de semeadura tem influência sobre o crescimento do girassol em matéria seca e profundidade do sistema radicular, enquanto o solo influencia apenas a profundidade do sistema radicular.

Os modelos de crescimento do girassol em matéria seca e em profundidade radicular apresentaram bom ajuste aos dados observados e desempenho, podendo ser utilizados para as condições locais com boa precisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, B. R.; ASSMANN, S. M. Hormone interactions in stomatal function. **Plant molecular biology**, v. 69, n. 4, p. 451-462, 2009.

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).

ALONI, R. et al. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. **Annals of Botany**, v. 97, n. 5, p. 883-893, 2006.



BARCELOS, D. M.; GARCIA, A.; MACIEL JUNIOR, V. A. Análise de crescimento da cultura da batata submetida ao parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura, em um latossolo vermelho-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 01, p. 21-27, 2007.

BERGONCI, J. I. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª. Edição, Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.

BORRELL, A. K.; L. HAMMER, G. L.; HENZELL, R. G. Does Maintaining Green Leaf Area in Sorghum Improve Yield under Drought? II. Dry Matter Production and Yield. **Crop Science**, v. 40, p.1037–1048, 2000.

CHAPMAN, S. C.; HAMMER, G. L.; MEINKE, H. A sunflower simulation model: I. Model development. **Agronomy Journal**, v.85, n.3, 725-735, 1993.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Functional plant biology**, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.

CONNOR, D. J.; FERERES, E. A dynamic model of crop growth and partitioning of biomass. **Field crops research**, v.63, n.2, p.139-157, 1999.

DE CAMPOS, M. F. et al. Análise de crescimento em plantas de soja tratadas com substâncias reguladoras. **Biotemas**, v. 21, n. 3, p. 53-63, 2011.

DOURADO NETO, D. et al. Balance hídrico cíclico y secuencial: estimación de almacenamiento de agua en el suelo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.3, p.537-546, 1999.

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.

GARCIA, A. et al. Análise de crescimento de uma cultura de milho submetida a diferentes regimes hídricos. **Nucleus**, v. 5, n. 1, 2008.

KAGE, H.; KOCHLER, M.; STÜTZEL, H. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. **European Journal of Agronomy**, v.20, n.4, p.379-394, 2004.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 41, n. 1, p. 181-201, 1984.

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

MALDANER, I. C. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na cultura do girassol na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2012. 141 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

MCMASTER, G. S. et al. PhenologyMMS: A program to simulate crop phenological responses to water stress. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.77, n.1, p.118-125, 2011.

MCMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. **The Journal of Agricultural Science**, v.141, n.2, p.129-147, 2003.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

REIS, G. G. dos; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas: mensuração do crescimento**. Belém: CPATU, 1979.

RIGHI, E. Z. et al. Balance of longwave radiation employing the rate of solar radiation for Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.1, p.29-37, 2015.

ROSA, H. T. et al. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1374-1382, 2009.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SCHNEITER, A. A.; MILLER, J. F. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, v.21, n.6, p.901-903, 1981.

SCHUCH, L. O. B. et al. Vigor de sementes e análise de crescimento de aveia preta. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 305-312, 2000.

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

SINCLAIR, T. R.; SELIGMAN, N. G. Crop modeling: from infancy to maturity. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 5, p. 698-704, 1996.

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

STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; LAGO, I. Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal**, v.100, p.490-501, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5<sup>a</sup> ed. Artmed, Porto Alegre, 2012. 954p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

TUCCI, C. E. M. Escoamento superficial. In: Tucci, C. E. M. (org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2004. p.391-441.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Los Angeles, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.



## 6. DISCUSSÃO

A presente Tese de Doutorado contempla os principais fatores abióticos que influenciam o crescimento e a produtividade do girassol: a condição hídrica, a época de semeadura e o solo. A condição hídrica abrange um tratamento com suprimento de água próximo da quantidade demandada, na melhor condição hídrica, e dois tratamentos com níveis de déficit e de excesso hídrico. A época de semeadura abrange as duas épocas mais utilizadas para semeadura do girassol no Rio Grande do Sul, a Safra e a Safrinha. O fator solo abrange duas importantes classes de solos cultivados com culturas anuais no Rio Grande do Sul, os Argissolos e os Latossolos.

As respostas morfofisiológicas das plantas anuais cultivadas ocorrem de forma complexa. Os estresses levam a ativação de mecanismos de defesa das plantas que são regulados por hormônios (ACHARYA; ASSMANN, 2009). Esses hormônios são produzidos a partir de uma transcrição e tradução da sequência genética intrínseca da espécie e da cultivar. Quando a planta entra na condição de estresse ocorre uma sinalização e ativação da síntese do hormônio específico, sendo que o equilíbrio entre os hormônios na planta determina a resposta (CHAVES; MAROCO; PEREIRA, 2003). Isso ocorre como resposta das plantas de contornar o estresse e garantir a sobrevivência da espécie. Os estresses podem ser de natureza biótica e abiótica. Quando os efeitos dos estresses bióticos são minimizados pelo controle fitossanitário e pelos tratos culturais, restam os estresses abióticos. Alguns dos principais fatores abióticos causadores de estresses são as características do solo, a condição hídrica do solo e a variabilidade dos elementos meteorológicos relacionados à época de semeadura.

A condição hídrica do solo é sem dúvida o mais importante fator quando se fala em redução da produtividade das culturas agrícolas (FAROOQ et al., 2009; TAIZ; ZEIGER, 2012) inclusive no girassol (AZEVEDO et al., 2016), uma cultura mais tolerante do que o milho e a soja. Porém a estrutura física do solo é extremamente importante no que se refere a crescimento de raízes (ROSOLEM et al., 1999) e armazenamento de água (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000; BERNARDO; SOARES; MONTOVANI, 2008). A variabilidade dos elementos meteorológicos, tais como temperatura do ar, temperatura do solo, radiação solar e vento entram como variáveis intrínsecas de cada época de semeadura, importantes para o crescimento de parte aérea e raiz, taxa de enchimento de grãos e qualidade de óleo (CONNOR; SADRAS, 1992; UNGARO et al., 2009).

Os resultados obtidos foram divididos em três capítulos na forma de artigos. Os efeitos sobre a produtividade, a produção de óleo e a qualidade do óleo foram abordados no Artigo I. O Artigo II traz uma abordagem sobre o crescimento e o aprofundamento radicular frente a três condições de disponibilidade hídrica em dois solos. O Artigo III aborda o crescimento da parte aérea e raiz do girassol e propõe a modelagem do crescimento para as três condições hídricas.

Os melhores resultados para crescimento de plantas, produtividade e qualidade de óleo foram encontrados quando as plantas tiveram um suprimento hídrico próximo ao ideal. Nessa condição as plantas encontraram o melhor ambiente, pois com a minimização do impacto de excesso e déficit hídrico, e um suprimento hídrico mantido próximo ao ideal para a cultura (AZEVEDO et al., 2016), aplicado na quantidade e no momento adequado manteve a produtividade alta, evitando a quebra de produtividade (ABELED0; SAVIN; SLAFER, 2008).

A umidade do solo próxima ao ideal para as plantas ao longo do ciclo possibilitou um bom crescimento de raízes, com equilíbrio entre aprofundamento e distribuição radicular. Isso permitiu uma otimização na exploração do solo pela planta com maior absorção e transporte de água e nutrientes até a parte aérea (ASSENG et al., 1998). A conversão fotossintética em matéria seca foi maior, pois infere-se que as plantas mantiveram os estômatos abertos por um maior tempo possível, pelo menos em relação aos demais tratamentos, facilitando as trocas gasosas pela abertura estomática. Esse resultado foi confirmado pela análise de crescimento apresentada no Artigo III. Dessa forma, além da produtividade ser maior, a matéria seca apresentou o maior aumento. A produtividade e os demais caracteres produtivos, bem como o teor e o rendimento de óleo do girassol, refletiram os melhores resultados pelo fato de que o crescimento das plantas foi superior aos tratamentos com estresse, com maior acúmulo de matéria seca inclusive no órgão reprodutivo.

Os tratamentos com estresses, sinalizaram modificações morfofisiológicas nas plantas. Isso ocorreu desde o crescimento e o aprofundamento de raízes, passando pelo crescimento da parte aérea, produtividade, produção de óleo e até a qualidade do óleo. As raízes tiveram um aprofundamento maior no tratamento com déficit hídrico, em detrimento do crescimento da parte aérea. A parte aérea estagnou o crescimento para haver maior aprofundamento radicular pela redução da disponibilidade hídrica no solo. A bibliografia disponível traz a explicação de que algumas das primeiras respostas ao déficit hídrico são a redução da taxa de crescimento em função da redução da divisão celular e da alongação dessas células pela falta de turgidez (TAIZ; ZEIGER, 2012; YORDONOVA; POPOVA, 2007). Havendo um déficit hídrico, as

citocininas promovem um aprofundamento da raiz principal enquanto o ABA atua no fechamento estomático (ACHARYA; ASSMANN, 2009). Entretanto, com os resultados obtidos pode-se inferir que essas respostas ocorreram de forma diferenciada entre os solos, principalmente sob déficit hídrico. Quando não houve restrição hídrica, o crescimento radicular foi semelhante nos dois solos.

Nas plantas sob excesso hídrico as raízes não tiveram um aprofundamento significativo e concentraram-se mais na camada superficial, enquanto a parte aérea apresentou redução de crescimento. Isso provavelmente ocorre como uma defesa da planta, em que os hormônios vegetais atuam de forma conjunta e em equilíbrio, para garantir que a planta responda da melhor maneira possível ao estresse aplicado (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). O ABA é o principal hormônio que regula as respostas na parte aérea, enquanto as auxinas promovem o surgimento de raízes secundárias e o etileno promove a senescência de raízes asfixiadas e o surgimento de raízes adventícias (ALONI et al., 2006; ACHARYA; ASSMANN, 2009).

A parte aérea apresentou crescimento reduzido quando sob estresses. A redução na produtividade foi apenas uma consequência. O déficit hídrico afetou negativamente o crescimento, a área foliar, a fotossíntese e o acúmulo de massa de matéria seca e a produtividade. Pela análise de crescimento pode ser verificado que no final do ciclo a senescência foliar foi bastante acelerada em plantas estressadas pelo excesso hídrico.

A condição hídrica também influenciou a qualidade do óleo. O tratamento controle foi o que apresentou maior porcentagem de Ácido Linoleico e menores porcentagens dos ácidos graxos Palmítico, Esteárico e Oleico. O déficit hídrico levou a um aumento na porcentagem de ácidos graxos saturados (Esteárico e Palmítico) e do Oleico, resposta semelhante, porém em menor intensidade que a encontrada nas plantas sob excesso hídrico.

A diferença entre os solos ocorreu principalmente em relação ao aprofundamento de raízes e produtividade nas plantas conduzidas sob déficit hídrico. O aprofundamento radicular do girassol foi maior no Argissolo em todos os tratamentos de condição hídrica, diferindo do Latossolo. Isso ocorreu pelo fato de haver maior resistência a penetração de raízes em solos mais argilosos, principalmente quando há restrição hídrica (ROSOLEM et al., 1999). Esse é um dos principais fatores de ter havido uma diferença significativa de produtividade entre os dois solos sob déficit hídrico. Raízes com maior restrição de aprofundamento devido a textura do solo apresentaram um menor volume de solo explorado. Consequentemente, o nível de estresse dessas plantas foi maior. Outro fator importante a ser considerado é de que o Argissolo teve uma maior capacidade de armazenamento de água disponível às plantas do que

o Latossolo, até os 0,60 m de profundidade efetiva, o que levou mais tempo para que a umidade até essa profundidade fosse evapotranspirada pelas plantas no Argissolo. Em média, o acúmulo de matéria seca total das plantas de girassol não diferiu entre solos.

Nos tratamentos de excesso hídrico e controle, o girassol apresentou valores de produtividade muito próximos em ambos os solos. Da mesma forma a porcentagem e o rendimento de óleo não diferiram entre os solos, apenas a qualidade do óleo. A porcentagem de Ácido Oleico foi maior no Argissolo, enquanto o Ácido Esteárico foi maior no Latossolo. Esse resultado pode ser explicado pelo déficit hídrico do Latossolo, em que o estresse levou à maior redução da produtividade e pode ter influenciado na formação e no equilíbrio entre ácidos graxos.

A diferença entre épocas de semeadura também é bastante clara. O crescimento de raízes e de parte aérea, o aprofundamento de raízes, a produtividade, a produção de óleo e a qualidade do óleo, foram afetados pela época de semeadura. Cada época de semeadura corresponde a condições ambientais distintas. Na Safra a temperatura do ar foi mais amena no início do ciclo com tendência de aumento gradativo até o final do ciclo, assim como a radiação solar (APENDICE C). O contrário ocorreu na Safrinha, em que as plantas foram expostas a maior radiação solar e temperatura do ar no início do ciclo, com tendência de redução gradativa até o final do ciclo (APENDICES D e E).

A Safra apresentou os melhores resultados para a maioria das variáveis, com exceção da qualidade do óleo, que foi melhor na Safrinha. O acúmulo de matéria seca da parte aérea e das raízes foi maior na Safra. Isso ocorreu pelo fato de a demanda hídrica atmosférica não ser tão alta no início do ciclo do girassol cultivado na Safra, o que retardou o estresse das plantas submetidas ao estresse hídrico por déficit. Na época de Safrinha a demanda hídrica atmosférica logo no início do ciclo foi alta, intensificando o estresse por déficit e por excesso hídrico no final do ciclo. A ocorrência do estresse pode causar uma redução do potencial de crescimento e do potencial produtivo (BERGAMASCHI et al., 2004; SANTOS; CARLESSO, 1998), sendo o estresse por déficit hídrico o mais importante (AZEVEDO et al., 2016), pois em geral a exposição da planta ocorre de maneira mais contínua do que no caso do excesso hídrico. Sob estresse a cultura reduz extremamente o acúmulo de fotoassimilados e não consegue mais chegar à taxa de crescimento anterior. Com o menor acúmulo de fotoassimilados, menor é a translocação destes para a parte reprodutiva, sendo ainda mais reduzida pelo fato da radiação solar ao final do ciclo da Safrinha ser menor em comparação à Safra, reduzindo a produtividade e a produção de óleo, uma vez que o enchimento de grãos



tem relação estreita com a radiação solar global (AGUIRREZÁBAL et al., 2003; BALALIC et al., 2012).

O crescimento de raízes foi afetado da mesma maneira do que a parte aérea, pois logo no início do ciclo a demanda hídrica atmosférica foi bastante acentuada na Safrinha (APÊNDICES D e E). A redução da umidade do solo se deu de uma maneira intensa e precoce no tratamento de déficit hídrico (APÊNDICES F e G). As plantas sob excesso hídrico também sofrem um estresse maior quando a temperatura do ar e a radiação solar foram maiores, pois potencializa os danos causados pelo estresse (AGUIRREZÁBAL et al., 2003; IZQUIERDO et al., 2009; SHIMONO et al., 2012). Dessa forma, por haver menor crescimento da parte aérea e menor fotossíntese, também houve menor translocação de fotoassimilados para as raízes, que se confirma observando a Tabela 1 do Artigo II. Além disso, no solo sob déficit hídrico ocorre um secamento precoce da camada inicial do solo, elevando a resistência à penetração, principalmente no Latossolo, o que justifica a diferença no aprofundamento radicular nas duas épocas.

A qualidade do óleo foi melhor na Safrinha, com maior acúmulo de Ácido Linoleico do que na Safra. A temperatura do ar maior no momento de enchimento de grãos na Safra levou à maior formação de Ácido Oleico, menos insaturado do que o Ácido Linoleico (APÊNDICES C, D e E). Isso ocorre pelo fato da temperatura do ar e a radiação solar serem os elementos que mais influenciam na qualidade do óleo e no perfil de ácidos graxos do girassol (UNGER, 1980; TRÉMOLIÈRES; DUBACQ; DRAPIER, 1982; IZQUIERDO et al., 2009).

A modelagem do aprofundamento de raízes foi realizada para cada condição hídrica, para cada época de semeadura e para cada solo. Já a modelagem do crescimento das plantas em matéria seca e do acúmulo de matéria seca nos diferentes órgãos da planta foi realizada para cada condição hídrica e cada época de semeadura, com utilização dos valores médios dos dois solos, pois a matéria seca não diferiu entre solos.

Este estudo traz uma contribuição significativa para uma melhor compreensão de como ocorrem as respostas das plantas de girassol em relação às condições de estresse hídrico, à época de semeadura e à duas classes de solo do Rio Grande do Sul, de forma conjugada. Os estudos sobre crescimento de raízes e sua diferença entre os solos são praticamente inexistentes. Portanto, as informações geradas podem ser utilizadas por outros pesquisadores para compreender o crescimento radicular e utilizar essa informação em diferentes modelos mecanísticos. As respostas de crescimento de parte aérea, produtividade,

produção de óleo e a qualidade do óleo, também podem servir como informação básica na modelagem de processos e matemático-fisiológicos para o girassol.

## 7 CONCLUSÕES

Os resultados de produtividade, produção de óleo, rendimento de óleo, qualidade do óleo e equilíbrio de crescimento de raízes e parte aérea do girassol são melhores quando as plantas são conduzidas com umidade do solo entre 75 e 100% da capacidade de armazenamento de água disponível.

O déficit hídrico aplicado mantendo-se o armazenamento de água no solo entre 40 e 60% da capacidade de armazenamento de água disponível, estimula o aprofundamento de raízes primárias, porém reduz a produtividade, os componentes da produtividade e o teor de óleo, além de aumentar a proporção de ácidos Oleico/Linoleico no perfil de ácidos graxos do óleo.

O excesso hídrico aplicado mantendo-se a umidade entre 90% da CAD e o ponto de saturação do solo reduz a produtividade, os componentes da produtividade e o teor de óleo e promove o crescimento de raízes secundárias próximas à superfície do solo.

O Argissolo apresenta melhores resultados para a produtividade e para os componentes da produtividade do que o Latossolo apenas em plantas sob déficit hídrico, pois o aprofundamento radicular do girassol é maior no Argissolo do que no Latossolo.

O girassol cultivado na Safra tem maior aprofundamento radicular e maior produção de massa seca radicular e apresenta os melhores resultados para produtividade, componentes da produtividade e teor de óleo, mas aumenta a proporção de ácidos graxos Oleico/Linoleico em relação à Safrinha.

A análise de crescimento revela que a condição hídrica aplicada que mais afetou negativamente o crescimento do girassol foi o déficit hídrico seguido pelo excesso hídrico.

Os modelos de crescimento do girassol em matéria seca e em profundidade radicular podem ser utilizados para as condições locais de Santa Maria-RS e Panambi-RS.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELED, L. G.; SAVIN, R.; SLAFER, G. A. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 541-550, 2008.
- ACHARYA, B. R.; ASSMANN, S. M. Hormone interactions in stomatal function. **Plant molecular biology**, v. 69, n. 4, p. 451-462, 2009.
- AGUIRREZÁBAL, L. A. et al. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. **Crop Science**, v.43, p.152- 161, 2003.
- ALONI, R. et al. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. **Annals of Botany**, v. 97, n. 5, p. 883-893, 2006.
- 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.
- ANTOLIN, G. et al. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. **Bioresource technology**, v. 83, n. 2, p. 111-114, 2002.
- ASSENG, S. et al. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. **Plant and Soil**, v. 201, n. 2, p. 265-273, 1998.
- AZEVEDO, B. M. et al. Production and yield response factor of sunflower under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.5, p.427-433, 2016.
- BALALIĆ, I. et al. Interpretation of hybrid× sowing date interaction for oil content and oil yield in sunflower. **Field Crops Research**, v. 137, p. 70-77, 2012.
- 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.
- BARNI, N. A. et al. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.1, n.2, p.201-216, 1995.
- BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 9, p. 831-839, 2004.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8ª. Edição, Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.

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**, v. 10, n. Supl., p. 1-141, 1980.

CARDOSO, C. D. V. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região central do estado do rio grande do sul**. 2005. 186f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

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

CARVALHO, M. A. **Girassol**. Brasília, DF, Junho de 2012. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_06\\_04\\_11\\_45\\_42\\_girassol.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_06_04_11_45_42_girassol.pdf)  
Acesso em: 13 jun. 2013.

CHAPMAN, S. C.; HAMMER, G. L.; MEINKE, H. A sunflower simulation model: I. Model development. **Agronomy Journal**, v.85, n.3, 725-735, 1993.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Functional plant biology**, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.

CONAB. **Série histórica de produção e área plantada: safras 1976/77 a 2015/2016**. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>> Acesso em: 05 nov. 2015.

CONNOR, D. J.; FERERES, E. A dynamic model of crop growth and partitioning of biomass. **Field crops research**, v.63, n.2, p.139-157, 1999.

CONNOR, D. J.; SADRAS, V. O. Physiology of yield expression in sunflower. **Field Crops Research**, v. 30, n. 3, p. 333-389, 1992.

CUTLER, A. J.; KROCHKO, J. E. Formation and breakdown of ABA. **Trends in plant science**, v. 4, n. 12, p. 472-478, 1999.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.42, n.1, p.55-76, 1991.

DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual review of plant biology**, v. 48, n. 1, p. 223-250, 1997.

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.

FAOSTAT. **Food and Agricultural Organization of the United Nations, Statistics Division**. 2015. Base de dados de 2012-2013. Disponível em:

<<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>> Acesso em: 05 nov. 2015.

FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: **Sustainable Agriculture**. Springer Netherlands, 2009. p. 153-188.

GHOLINEZHAD, E.; SAJEDI, N. Evaluation of Water Deficit Stress Effects, Different Rates of Nitrogen and Plant Density on Remobilization, Current Photosynthesis and Grain Yield in Sunflower Var. Iroflor. **World Applied Sciences Journal**, v.19, n.5, p.650-658, 2012.

GÖKSOY, A. T. et al. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. **Field Crops Research**, v.87, n.2, p.167-178, 2004.

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.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência&Ambiente**, v. 38, p. 43-58, 2009.

HUANG, D. et al. The relationship of drought-related gene expression in *Arabidopsis thaliana* to hormonal and environmental factors. **Journal of experimental Botany**, v. 59, n. 11, p. 2991-3007, 2008.

IZQUIERDO, N. G. et al. Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. **Field Crops Research**, v.114, p.66-74, 2009.

JACKSON, M. B. Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 36, n. 1, p. 145-174, 1985.

JANGPROMMA, N. et al. A proteomics analysis of drought stress-responsive proteins as biomarker for drought-tolerant sugarcane cultivars. **American Journal of Biochemistry and Biotechnology**, v.6, n.2, p.89-102, 2010.

KAGE, H.; KOCHLER, M.; STÜTZEL, H. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. **European Journal of Agronomy**, v.20, n.4, p.379-394, 2004.

KEPINSKI, S. The anatomy of auxin perception. **Bioessays**, v. 29, n. 10, p. 953-956, 2007.

KRAMER, P. J. Changing concepts regarding plant water relations. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.11, n.7, p.565-568, 1988.

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.

LICAUSI, F. Regulation of the molecular response to oxygen limitations in plants. **New Phytologist**, v. 190, n. 3, p. 550-555, 2011.

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. **Emergência e crescimento inicial de plantas de girassol sob excesso hídrico**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.

LUCAS, D. D. P. et al. Estimation of leaf area index in the sunflower as a function of thermal time. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 2, p. 404-411, abr-jun, 2015.

MCMASTER, G. S. et al. PhenologyMMS: A program to simulate crop phenological responses to water stress. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.77, n.1, p.118-125, 2011.

MCMASTER, G. S.; WILHELM, W. W. Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. **The Journal of Agricultural Science**, v.141, n.2, p.129-147, 2003.

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, 119-132, 1984.

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.

RAUF, S.; SADAQAT, H. A. Effects of varied water regimes on root length, dry matter partitioning and endogenous plant growth regulators in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Plant Interactions**, v. 2, n. 1, p. 41-51, 2007.

ROSOLEM, C. A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 5, p. 821-828, 1999.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

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

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

SHARP, R. E.; LENOBLE, M. E. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 366, p. 33-37, 2002.

SHIMONO, H. et al. Interactive Effects of Elevated Atmospheric CO<sub>2</sub> and Waterlogging on Vegetative Growth of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). **Plant Production Science**, v. 15, n. 3, p. 238-245, 2012.



SILVA, A. R. A. et al. Coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico para a cultura do girassol nas condições do semiárido cearense. **Revista Brasileira Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 1, p. 38-51, Jan - Fev, 2014.

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

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

STRECK, N. A. Do we know how plants sense a drying soil?. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 581-584, 2004.

STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; LAGO, I. Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal**, v.100, p.490-501, 2008.

STRECK, N. A. et al. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 115, n.3-4, p. 139-150, 2003.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5<sup>a</sup> ed. Artmed, Porto Alegre, 2012. 954p.

TO, J. P. C.; KIEBER, J. J. Cytokinin signaling: two-components and more. **Trends in plant science**, v. 13, n. 2, p. 85-92, 2008.

TOPAN, J. F. **Emulsões a base de óleo de girassol (*Helianthus annus L.*) com cristal líquido: avaliação das propriedades físico-químicas e atividade cosmética**. 2012, 94f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, USP. Ribeirão Preto, 2012.

TRÉMOLIÈRES, A.; DUBACQ, J. P.; DRAPIER, D. Unsaturated fatty acids in maturing seeds of sunflower and rape: regulation by temperature and light intensity. **Phytochemistry**, 21, p.1-45, 1982.

TURNER, N. C.; WRIGHT, G. C.; SIDDIQUE, K. H. M. Adaptation of grain legumes (pulses) to water-limited environments. **Advances in Agronomy**, v. 71, p. 194-233, 2001.

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.

UNGER, P. W. Planting date effects on growth, yield, and oil of irrigated sunflower. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 6, p. 914-916, 1980.

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

XIONG, L. et al. Identification of drought tolerance determinants by genetic analysis of root response to drought stress and abscisic acid. **Plant physiology**, v. 142, n. 3, p. 1065-1074, 2006.

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.

WILKINSON, S.; DAVIES, W. J. ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 195-210, 2002.

WILSON, J. B. A review of evidence on the control of shoot: root ratio, in relation to models. **Annals of Botany**, v. 61, n. 4, p. 433-449, 1988.

YAMAGUCHI, S. Gibberellin metabolism and its regulation. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 59, p. 225-251, 2008.

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.; 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.; 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.

ZIMMERMANN, P. et al. Genevestigator transcriptome meta-analysis and biomarker search using rice and barley gene expression databases. **Molecular plant**, v. 1, n. 5, p. 851-857, 2008.

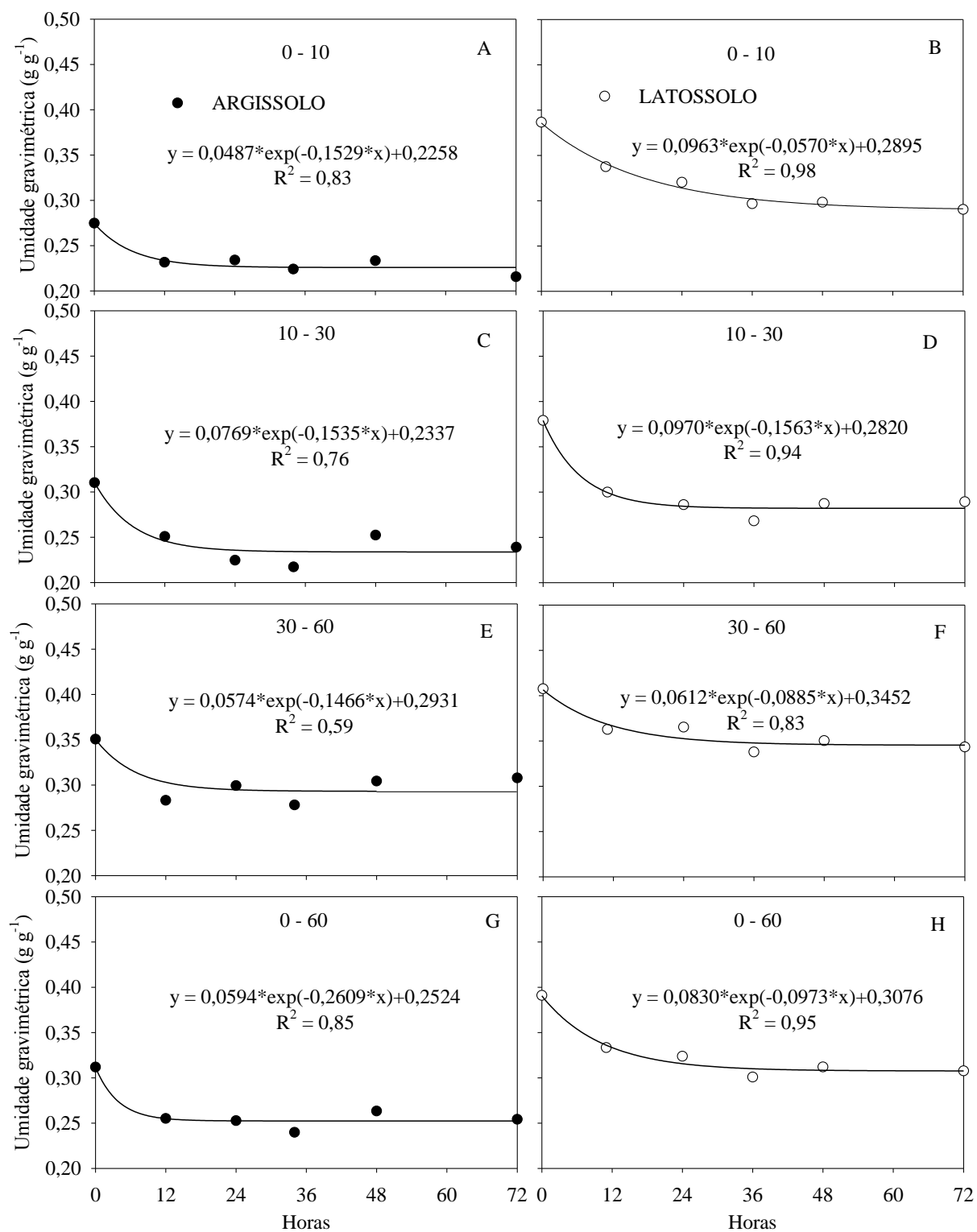
ZHANG, J.; DAVIES, W. J. ABA in roots and leaves of flooded pea plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 38, n. 4, p. 649-659, 1987.

ZHANG, J.; TARDIEU, F. Relative contribution of apices and mature tissues to ABA synthesis in droughted maize root systems. **Plant and cell physiology**, v. 37, n. 5, p. 598-605, 1996.

## APÊNDICES



**APÊNDICE A** - Curvas de drenagem de água após a saturação em Argissolo Vermelho Distrófico arênico de Santa Maria/RS (A, C, E, G) e Latossolo Vermelho Distroférico típico de Panambi/RS (B, D, F, H) nas camadas de 0 a 10 cm (A, B), de 10 a 30 cm (C, D), de 30 a 60 cm (E, F) e a média de 0 a 60 cm (G, H).

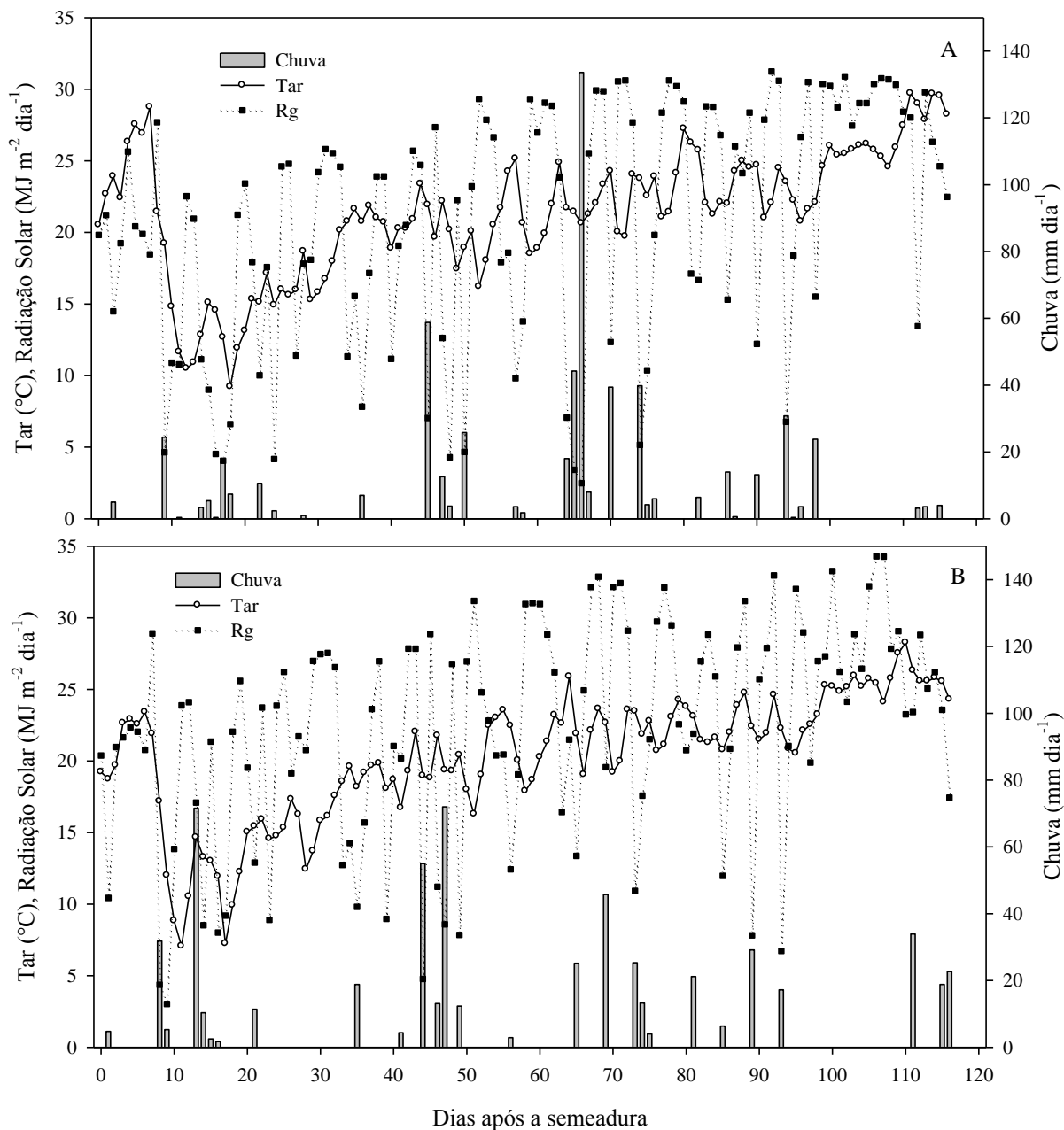


**APÊNDICE B** – Umidade gravimétrica do limite inferior (LI), limite superior (LS) e do ponto de saturação determinado (Sat), densidade média do solo (DS), capacidade de armazenamento de água disponível às plantas (CAD), ponto de saturação do solo determinado (SAT) e classe textural (CL. TEXT.) do Argissolo e do Latossolo nas diferentes camadas de solo em profundidade (PROF).

Prof (cm)	LI (g g <sup>-1</sup> )	LS (g g <sup>-1</sup> )	Sat (g g <sup>-1</sup> )	DS (g cm <sup>-3</sup> )	CAD(mm)	SAT (mm)	CL. TEXT.
<b>ARGISSOLO</b>							
0 – 10	0,0816	0,2270	0,2746	1,1773	17,12	22,72	Franco
10 – 30	0,0837	0,2356	0,3102	1,1695	35,53	52,96	Franco
30 – 60	0,1256	0,2948	0,3505	1,3654	69,31	92,12	F. argiloso
					121,96	167,80	
<b>LATOSSOLO</b>							
0 – 10	0,1907	0,3140	0,3865	1,1156	13,75	21,84	Argila
10 – 30	0,1914	0,2843	0,3789	1,3583	25,22	50,93	Argila
30 – 60	0,2375	0,3525	0,4074	1,4035	48,41	71,54	M. argiloso
					87,39	144,30	

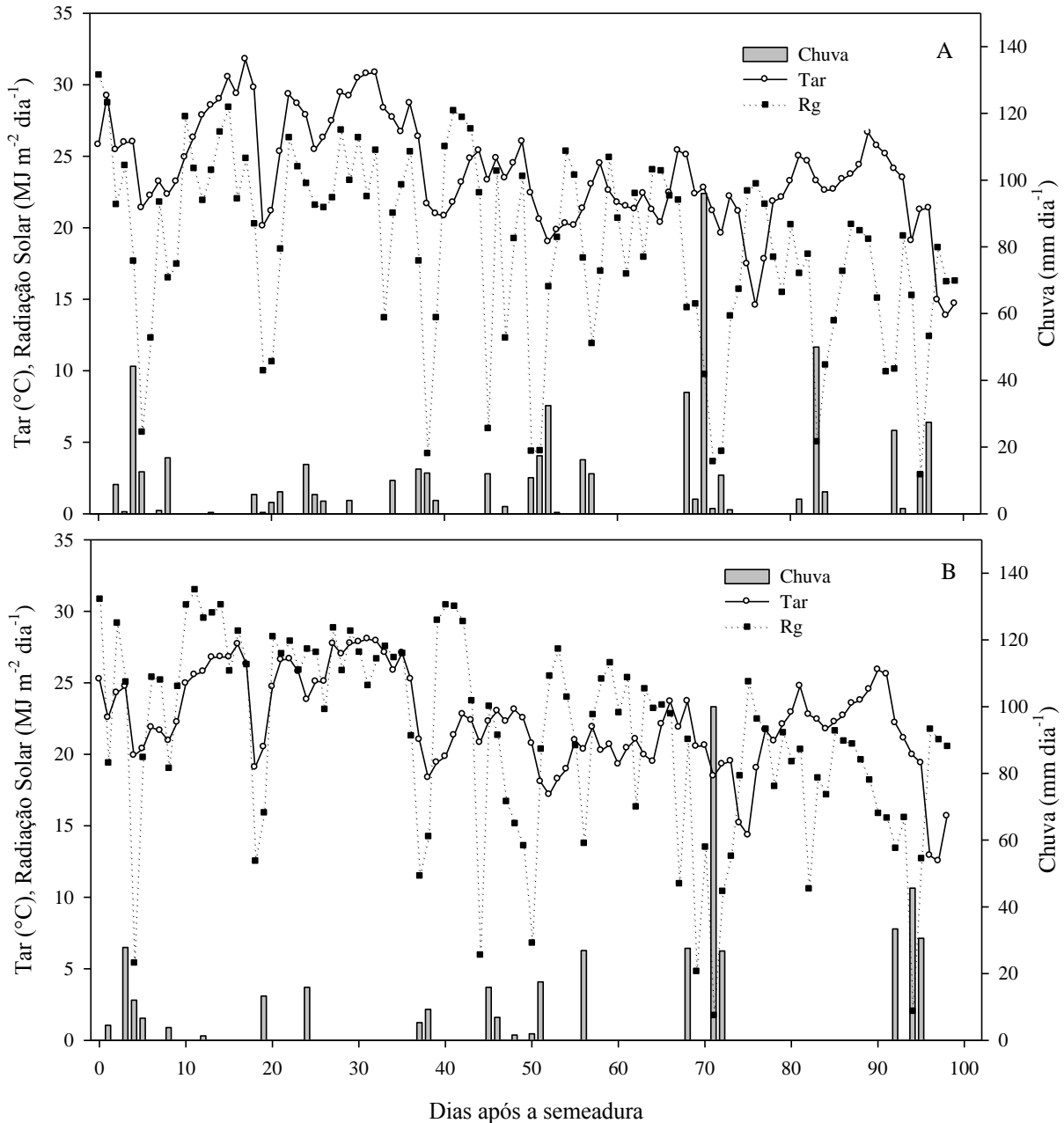
\* Ponto de Murcha Permanente (PMP) obtido no equipamento WP4 (Dewpoint Potential Meter – Decagon Devices), considerando-se o valor na tensão de 1,5 MPa.

**APÊNDICE C** – Variação dos elementos meteorológicos de chuva, temperatura do ar média diária (Tar) e radiação solar incidente (Rg) ao longo do ciclo do girassol semeado na Safra em Santa Maria/RS (A) e Panambi/RS (B).



\* Os dados meteorológicos de Tar e Radiação Solar referentes a Panambi foram obtidos da estação meteorológica automática mais próxima, localizada no município de Cruz Alta/RS. Semeadura em 06/09/2013 em Santa Maria/RS e em 07/09/2013 em Panambi/RS.

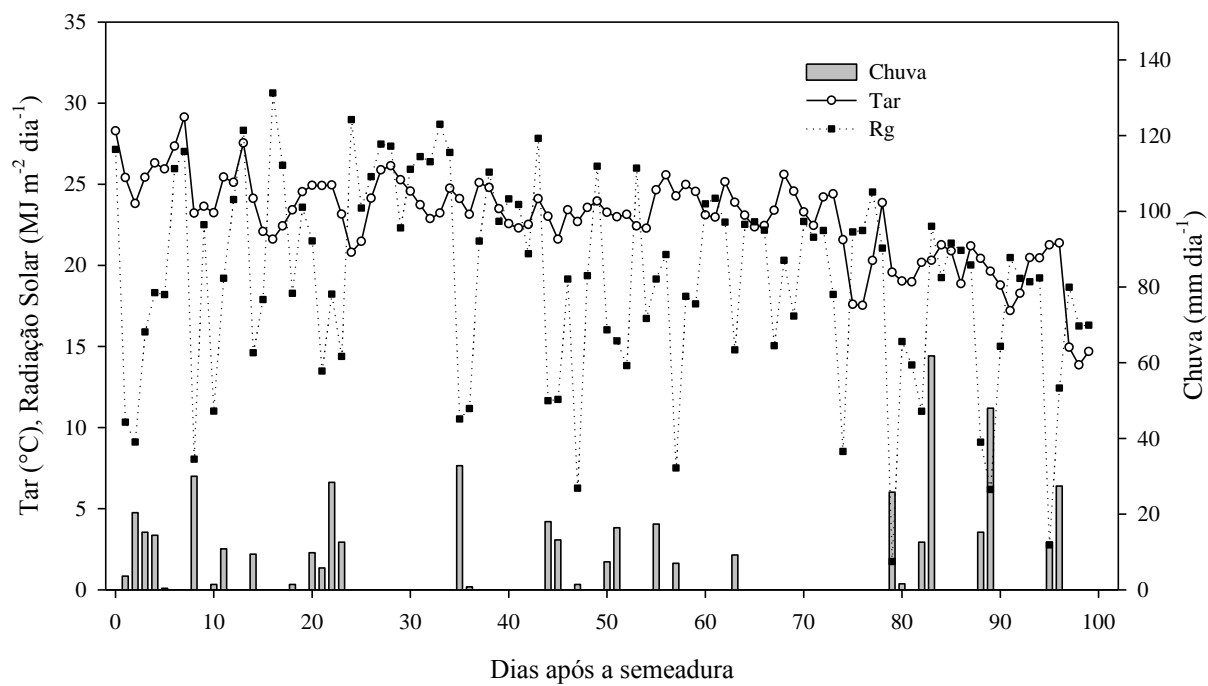
**APÊNDICE D** – Variação dos elementos meteorológicos de chuva, temperatura do ar média diária (Tar) e radiação solar incidente (Rg) ao longo do ciclo do girassol semeado na Safrinha em Santa Maria/RS (A) e Panambi/RS (B).



\* Os dados meteorológicos de Tar e Radiação Solar referentes a Panambi foram obtidos da estação meteorológica automática mais próxima, localizada no município de Cruz Alta/RS. Semeadura em 06/01/2014 em Santa Maria/RS e em 07/01/2014 em Panambi/RS.

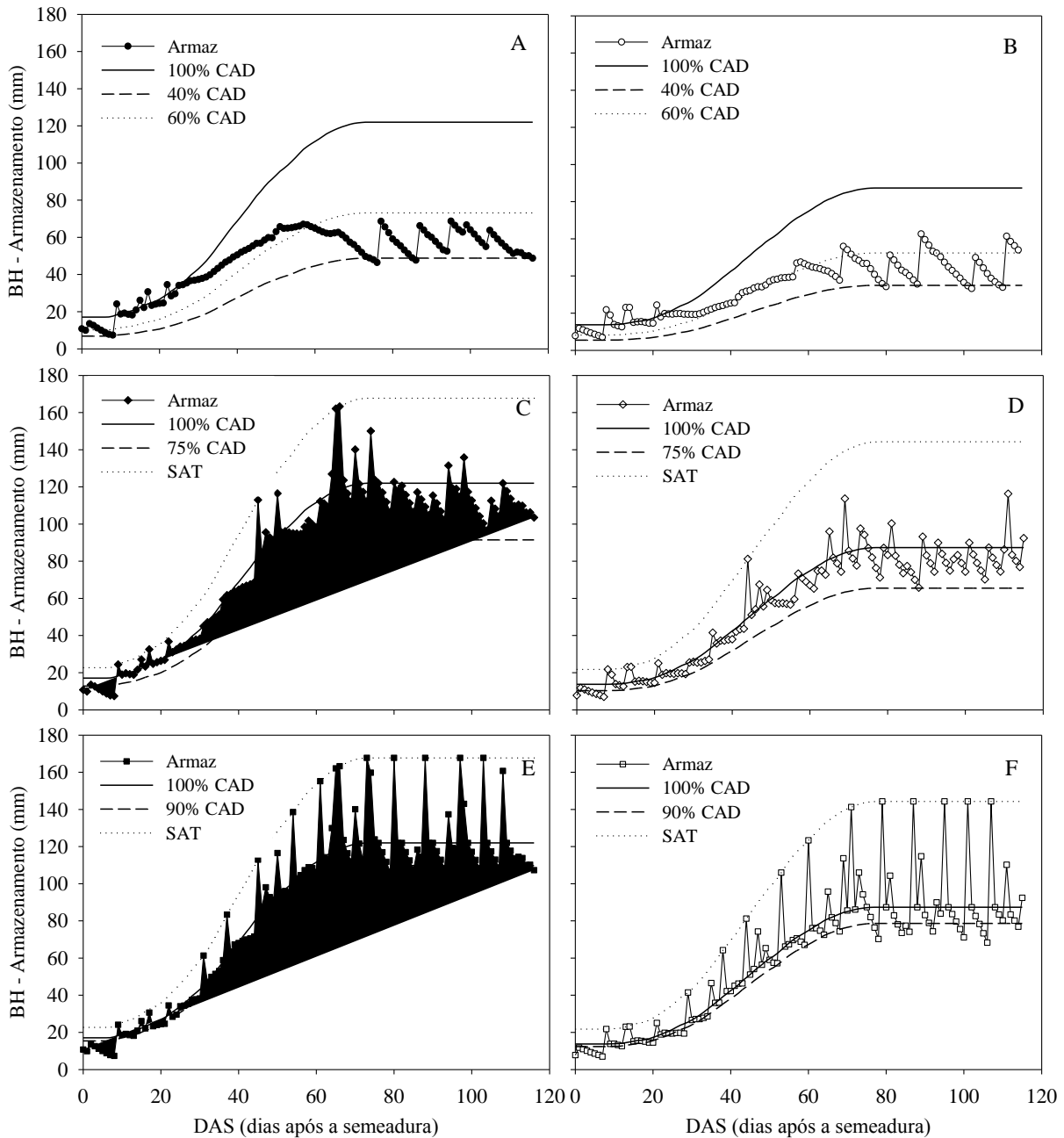


**APÊNDICE E** – Variação dos elementos meteorológicos de chuva, temperatura do ar média diária (Tar) e radiação solar incidente (Rg) ao longo do ciclo do girassol semeado na Safrinha de 2015 em Santa Maria/RS.

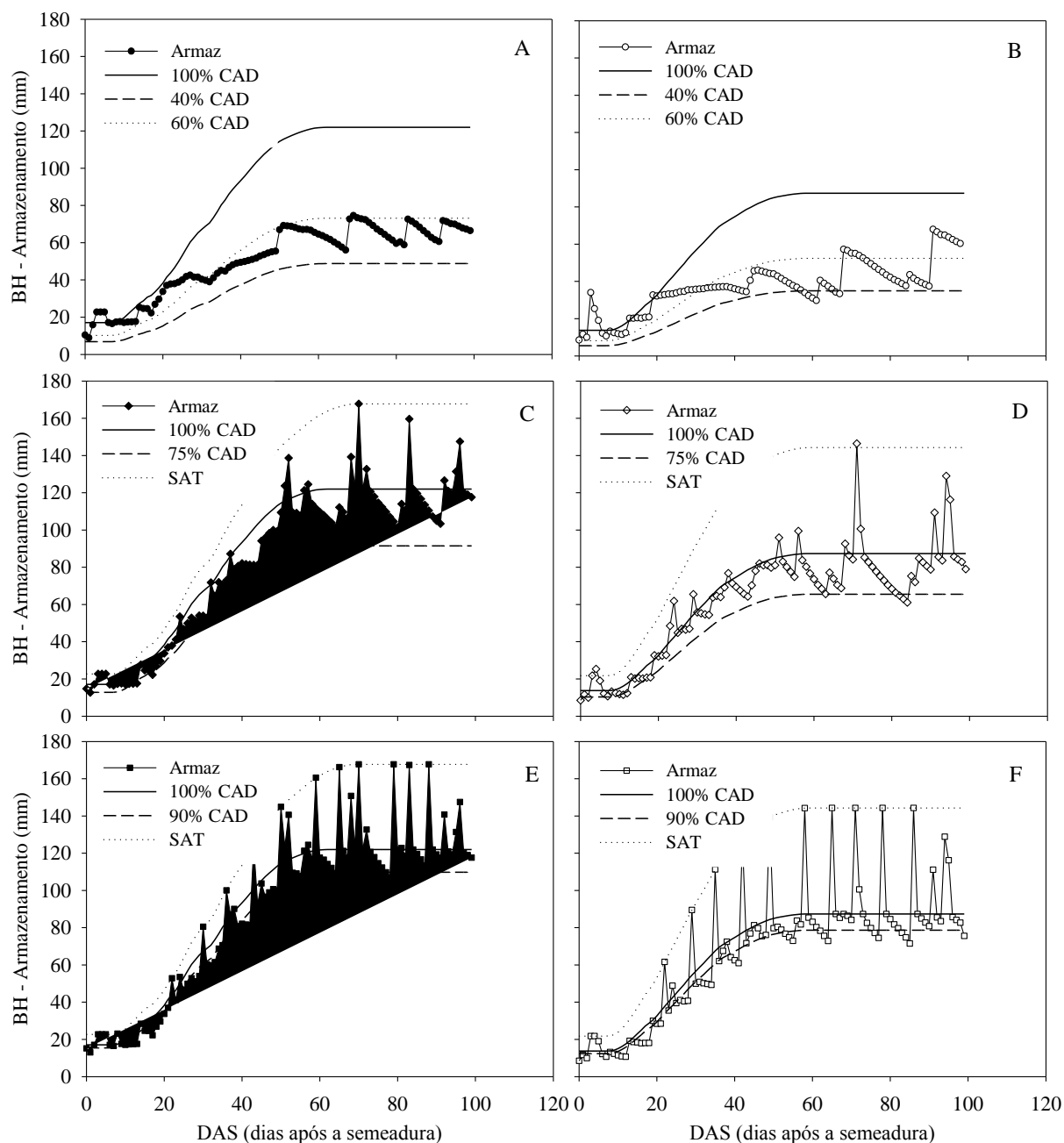


\* Semeadura em 06/01/2015 em Santa Maria/RS.

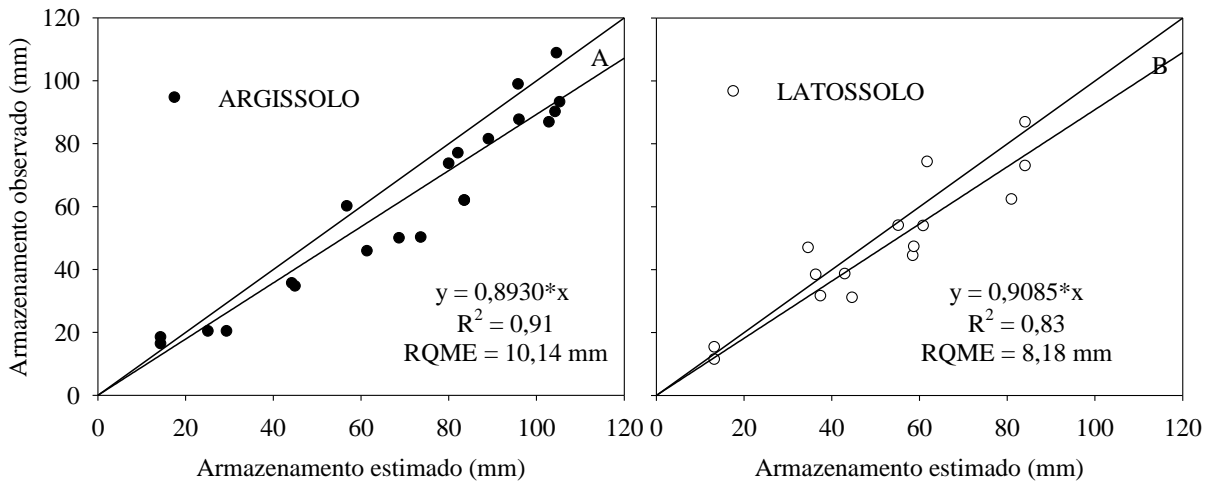
**APÊNDICE F** – Armazenamento de água no solo, calculado por balanço hídrico (BH) sequencial diário de Thornthwaite e Mather modificado, na cultura do girassol de Safra (semeada no início de Setembro) em Argissolo Vermelho Distrófico arênico de Santa Maria/RS (A, C, E) e Latossolo Vermelho Distroférico típico de Panambi/RS (B, D, F) conduzido sob três regimes hídricos: déficit hídrico (A, B), controle (C, D) e excesso hídrico (E, F).



**APÊNDICE G** – Armazenamento de água no solo, calculado por balanço hídrico (BH) sequencial diário de Thornthwaite e Mather modificado, na cultura do girassol de Safrinha (semeada no início de Janeiro) em Argissolo Vermelho Distrófico arênico de Santa Maria/RS (A, C, E) e Latossolo Vermelho Distroférico típico de Panambi/RS (B, D, F) conduzido sob três regimes hídricos: déficit hídrico (A, B), controle (C, D) e excesso hídrico (E, F).



**APÊNDICE H** – Comparação do armazenamento de água estimado pelo método do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather adaptado para a escala diária acrescentando-se a variação da CAD ao longo do ciclo com o armazenamento observado por coletas de solo ao longo do ciclo da cultura do girassol em Argissolo Vermelho Distrófico arênico de Santa Maria/RS (A) e Latossolo Vermelho Distroférrico típico de Panambi/RS (B).

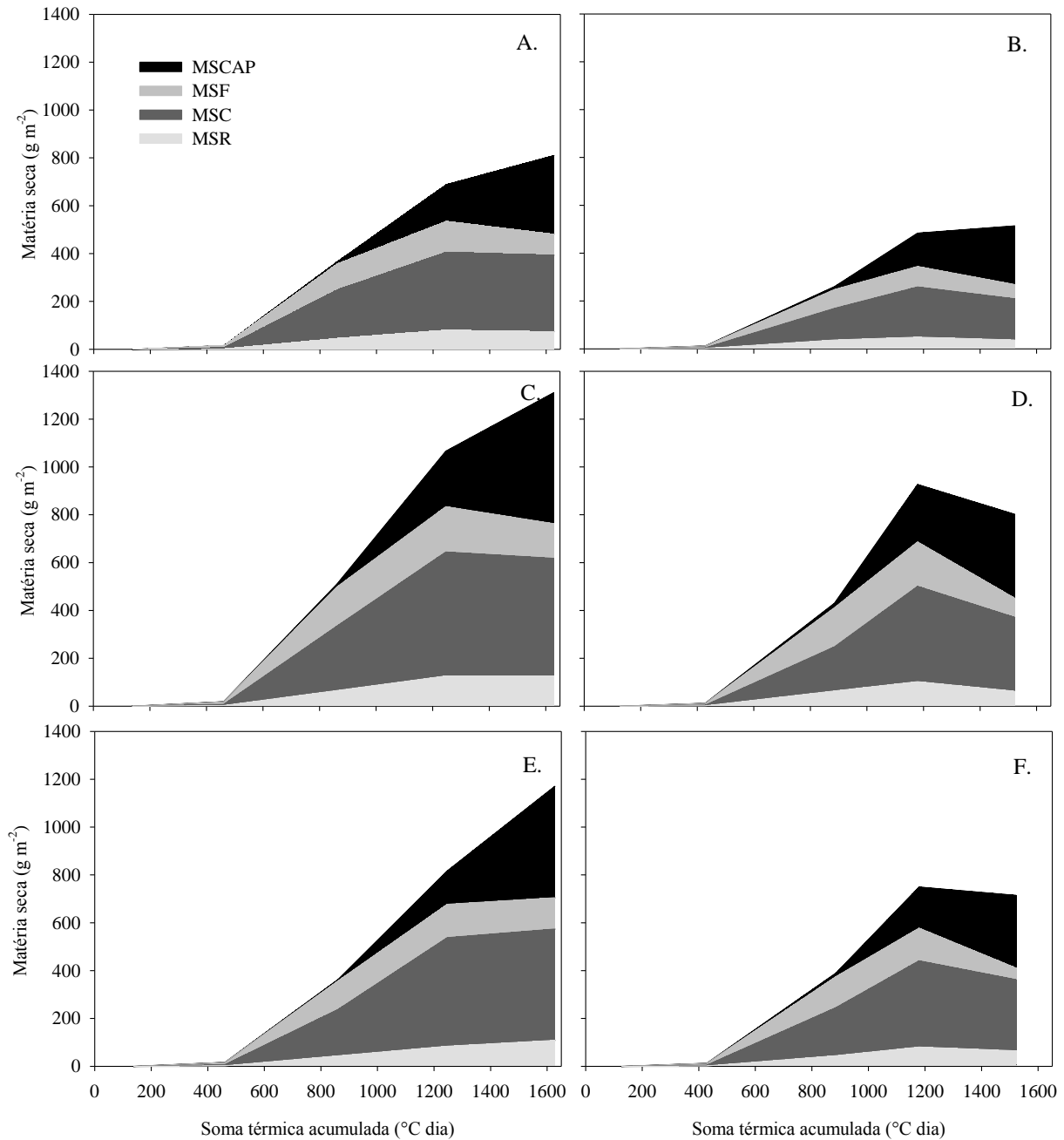


**APÊNDICE I** – Análise de crescimento do girassol, em função do número de dias, conduzido sob condições de déficit hídrico (Déf), controle (Cont) e excesso hídrico (Exc) na Safra e Safrinha do Rio Grande do Sul.

Estágios	Condição Hídrica	TCC	TCR	TAL	TCFR
SAFRA					
EM - V10	Déf	0.5187 a	-	-	-
	Cont	0.6087 a	-	-	-
	Exc	0.5635 a	-	-	-
V10 - R2	Déf	12.6062 c	0.1217 b	0.1366 a	0.0855 b
	Cont	19.7307 a	0.1331 a	0.1524 a	0.1009 a
	Exc	15.6761 b	0.1271 ab	0.1352 a	0.0974 a
R2 - R6	Déf	14.7215 b	0.0320 a	0.0654 a	0.0018 a
	Cont	26.8658 a	0.0355 a	0.0778 a	0.0002 a
	Exc	18.2677 b	0.3182 a	0.0627 a	-0.0032 a
R6 - R8	Déf	8.6538 b	0.0115 a	0.0462 a	-0.0189 a
	Cont	11.5457 ab	0.0099 a	0.0402 a	-0.0199 a
	Exc	16.6199 a	0.0176 a	0.0657 a	-0.0151 a
SAFRINHA					
EM - V10	Déf	0.7072 a	-	-	-
	Cont	0.7315 a	-	-	-
	Exc	0.7464 a	-	-	-
V10 - R2	Déf	9.4778 b	0.1225 b	0.1418 a	0.0893 b
	Cont	16.3141 a	0.1428 a	0.1512 a	0.1165 a
	Exc	15.2424 a	0.1395 a	0.1467 a	0.1124 a
R2 - R6	Déf	11.6726 c	0.0355 a	0.0693 a	0.0058 a
	Cont	27.1296 a	0.0442 a	0.0807 a	0.0038 a
	Exc	21.2494 b	0.0389 a	0.0718 a	-0.0030 a
R6 - R8	Déf	5.6707 a	0.0104 a	0.0324 a	-0.0165 a
	Cont	-2.9124 b	-0.0033 b	-0.0118 b	-0.0399 a
	Exc	-0.3211 ab	-0.0004 b	-0.0010 b	-0.0562 a

\* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Interação não significativa entre os três fatores, não havendo diferença significativa entre os solos Argissolo e Latossolo. Taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa de crescimento relativo (TCR) em  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ; taxa de assimilação líquida (TAL) em  $\text{g dm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ; taxa de crescimento foliar relativo (TCFR) em  $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ .

**APENDICE J** – Partição de matéria seca nos diferentes órgãos, raízes, folhas, caule e capítulo do girassol conduzido sob déficit hídrico (A, B), controle (C, D) e excesso hídrico (E, F) na Safra (A, C, E) e Safrinha (B, D, F) do Rio Grande do Sul, como função da soma térmica acumulada.



**APÊNDICE K** – Quadro da análise de variância da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Época	1	8165249,46	8165249,46	156,75	0,0000
Solo	1	1074354,03	1074354,03	20,62	0,0001
Con. Híd.	2	47831112,01	23915556,01	459,12	0,0000
Época x Solo	1	234911,69	234911,69	4,51	0,0413
Época x Con. Híd.	2	5342944,28	2671472,14	51,28	0,0000
Solo x Con. Híd.	2	2395113,47	1197556,73	22,99	0,0000
Época x Solo x Con. Híd.	2	89673,67	44836,84	0,86	0,4321
Bloco	3	82735,56	27578,52	0,53	0,6652
Erro	33	1718976,81	52090,21		
Total corrigido	47	66935070,98			
Coefficiente de variação (%)			6,97		
Média geral ( $\text{kg ha}^{-1}$ )			3273,14		
Número de observações			48		

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofico arênico e Latossolo Vermelho Distroférrico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.

**APÊNDICE L** – Quadro da análise de variância da massa de mil grãos (g) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Época	1	236,43	236,43	17,58	0,0002
Solo	1	69,83	69,83	5,19	0,0293
Con. Híd.	2	2045,51	1022,75	76,04	0,0000
Época x Solo	1	19,16	19,16	1,42	0,2412
Época x Con. Híd.	2	272,72,	136,36	10,14	0,0004
Solo x Con. Híd.	2	339,21	169,61	12,61	0,0001
Época x Solo x Con. Híd.	2	167,11	83,55	6,21	0,0051
Bloco	3	39,19	13,06	0,97	0,4179
Erro	33	443,88	13,45		
Total corrigido	47	3633,07			
Coefficiente de variação (%)			7,11		
Média geral (g)			51,58		
Número de observações			48		

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.



**APÊNDICE M** – Quadro da análise de variância do número de grãos por capítulo do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Época	1	509618,31	509618,31	46,97	0,0000
Solo	1	664093,60	664093,60	61,21	0,0000
Con. Híd.	2	3412929,64	1706464,82	157,29	0,0000
Época x Solo	1	8161,51	8161,51	0,75	0,3920
Época x Con. Híd.	2	212776,45	106388,22	9,81	0,0005
Solo x Con. Híd.	2	305883,51	152941,76	14,09	0,0000
Época x Solo x Con. Híd.	2	85061,56	42530,78	3,92	0,0297
Bloco	3	3296,74	1098,91	0,10	0,9589
Erro	33	358015,70	10848,96		
Total corrigido	47	5559837,04			
Coefficiente de variação (%)			7,47		
Média geral			1393,45		
Número de observações			48		

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofico arênico e Latossolo Vermelho Distroférrico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.

**APÊNDICE N** – Quadro da análise de variância do diâmetro médio de capítulo (cm) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Época	1	34,61	34,61	182,22	0,0000
Solo	1	12,14	12,14	63,92	0,0000
Con. Híd.	2	138,16	69,08	363,69	0,0000
Época x Solo	1	0,86	0,86	4,53	0,0408
Época x Con. Híd.	2	1,43	0,71	3,76	0,0339
Solo x Con. Híd.	2	1,97	0,98	5,18	0,0111
Época x Solo x Con. Híd.	2	1,80	0,89	4,73	0,0156
Bloco	3	0,16	0,05	0,28	0,8369
Erro	33	6,27	0,19		
Total corrigido	47	197,40			
Coefficiente de variação (%)			2,68		
Média geral (cm)			16,28		
Número de observações			48		

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.

**APÊNDICE O** – Quadro da análise de variância do teor de óleo (%) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Época	1	349,90	349,90	8,43	0,0065
Solo	1	20,61	20,61	0,49	0,4859
Con. Híd.	2	879,24	439,62	10,59	0,0003
Época x Solo	1	0,00	0,00	0,00	0,9941
Época x Con. Híd.	2	160,66	80,33	1,94	0,1603
Solo x Con. Híd.	2	12,23	6,11	0,15	0,8635
Época x Solo x Con. Híd.	2	23,96	11,98	0,29	0,7511
Bloco	3	130,95	43,65	1,05	0,3827
Erro	33	1369,35	41,49		
Total corrigido	47	2946,91			
Coefficiente de variação (%)			15,67		
Média geral (%)			41,09		
Número de observações			48		

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofico arênico e Latossolo Vermelho Distroférrico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.

**APÊNDICE P** – Quadro da análise de variância do rendimento de óleo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Época	1	3034045,79	3034045,79	60,40	0,0000
Solo	1	36162,62	36162,61	0,72	0,4023
Con. Híd.	2	11492594,17	5746297,08	114,39	0,0000
Época x Solo	1	37683,29	37683,29	0,75	0,3927
Época x Con. Híd.	2	1837162,09	918581,04	18,28	0,0000
Solo x Con. Híd.	2	306544,75	153272,28	3,05	0,0608
Época x Solo x Con. Híd.	2	50137,65	25068,82	0,49	0,6116
Bloco	3	152563,05	50854,35	1,01	0,3996
Erro	33	1657610,95	50230,63		
Total corrigido	47	18604504,36			
Coefficiente de variação (%)			18,30		
Média geral ( $\text{kg ha}^{-1}$ )			1224,72		
Número de observações			48		

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.

**APÊNDICE Q** – Quadro da análise de variância da matéria seca de raízes ( $\text{g m}^{-2}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Época	1	8001,13	8001,13	12,507	0,0012
Solo	1	186,08	186,08	0,291	0,5933
Con. Híd.	2	20733,98	10366,99	16,205	0,0000
Época x Solo	1	6,30	6,30	0,010	0,9215
Época x Con. Híd.	2	3666,83	1833,42	2,866	0,0712
Solo x Con. Híd.	2	2712,93	1356,47	2,120	0,1361
Época x Solo x Con. Híd.	2	757,68	378,84	0,592	0,5589
Bloco	3	1365,97	455,32	0,712	0,5520
Erro	33	21111,99	639,75		
Total corrigido	47	58542,92			
Coefficiente de variação (%)			29,01		
Média geral ( $\text{kg ha}^{-1}$ )			87,18		
Número de observações			48		

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofico arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.

**APÊNDICE R** – Quadro da análise de variância da profundidade efetiva de raízes (cm) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Época	1	6302,08	6302,08	112,289	0,0000
Solo	1	2852,08	2852,08	50,818	0,0000
Con. Híd.	2	8904,17	4452,08	79,326	0,0000
Época x Solo	1	252,08	252,08	4,492	0,0417
Época x Con. Híd.	2	404,17	202,08	3,601	0,0385
Solo x Con. Híd.	2	329,17	164,58	2,933	0,0673
Época x Solo x Con. Híd.	2	429,17	214,58	3,823	0,0321
Bloco	3	272,92	90,97	1,621	0,2033
Erro	33	1852,08	56,12		
Total corrigido	47	21597,92			
Coefficiente de variação (%)			11,49		
Média geral (kg ha <sup>-1</sup> )			65,21		
Número de observações			48		

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofico arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.

**APÊNDICE S** – Quadro da análise de variância da densidade do comprimento de raízes (cm cm<sup>-3</sup>) do girassol conduzido em dois solos, três distâncias da planta referência e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Solo	1	0,1163	0,1163	9,903	0,0056
Dist.	2	2,0286	1,0143	86,319	0,0000
Con. Híd.	2	0,2395	0,1197	10,192	0,0011
Solo x Dist.	2	0,0967	0,0483	4,116	0,0337
Solo x Con. Híd.	2	0,1142	0,0571	4,861	0,0205
Dist. x Con. Híd.	4	0,1664	0,0416	3,542	0,0267
Solo x Dist. x Con. Híd.	4	0,0773	0,0193	1,647	0,2061
Erro	18	0,2115	0,0117		
Total corrigido	35	21597,92			
Coeficiente de variação (%)			36,15		
Média geral (kg ha <sup>-1</sup> )			0,2998		
Número de observações			36		

\* Solo = Argissolo Vermelho Distrofico arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Dist. = distância da planta referência de 0,00; 0,12 e 0,24 cm; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.

**APÊNDICE T** – Quadro da análise de variância da densidade do comprimento de raízes (cm cm<sup>-3</sup>) do girassol conduzido em dois solos, seis camadas de solo em profundidade e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação*	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Solo	1	0,0235	0,0235	1,576	0,2175
Prof.	2	0,2233	0,1116	7,469	0,0019
Con. Híd.	2	19,4061	3,8812	259,616	0,0000
Solo x Prof.	2	0,0897	0,0448	3,000	0,0624
Solo x Con. Híd.	2	0,2634	0,0526	3,524	0,0107
Prof. x Con. Híd.	4	0,7320	0,0732	4,896	0,0002
Solo x Prof. x Con. Híd.	4	0,5055	0,0505	3,382	0,0034
Erro	36	0,5382	0,0149		
Total corrigido	71	21,7818			
Coefficiente de variação (%)			37,49		
Média geral (kg ha <sup>-1</sup> )			0,3261		
Número de observações			72		

\* Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Prof. = seis camadas de solo nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 60 cm, 60 a 80 cm e 80 a 100 cm; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; Fc = F calculado; Pr>Fc = Probabilidade de F tabelado ser maior que Fc.



**APÊNDICE U** – P-valor da análise de variância da porcentagem (%) dos ácidos graxos Capróico (Cao 6:0), Caprílico (Cai 8:0), Cáprico (Cap 10:0), Mirístico (Mir 14:0), Pentadecílico (Pen 15:0) e Palmítico (Pal 16:0) presentes no óleo do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação	Cao 6:0	Cai 8:0	Cap 10:0	Mir 14:0	Pen 15:0	Pal 16:0
Época	0,0506	0,5236	0,6089	0,2202	0,0020	0,0000
Solo	0,2469	0,0673	0,7446	0,1985	0,9517	0,1069
Con. Híd.	0,3946	0,6533	0,2687	0,4505	0,1708	0,0025
Época x Solo	0,1689	0,5508	0,2199	0,4980	0,9718	0,0002
Época x Con. Híd.	0,0079	0,9577	0,5503	0,6857	0,4634	0,0006
Solo x Con.Híd.	0,1212	0,5902	0,6199	0,2875	0,5820	0,0003
Época x Solo x Con. Híd.	0,8351	0,6247	0,0154	0,1561	0,0659	0,0026
Bloco	0,4983	0,8588	0,1176	0,6453	0,0363	0,6381
Erro						
Coefficiente de variação (%)	68,97	42,92	70,41	34,80	24,10	2,90
Média geral	0,07	0,08	0,03	0,09	0,02	5,35
Número de observações	48	48	48	48	48	48

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofico arênico e Latossolo Vermelho Distroférrico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle.

**APÊNDICE V** – P-valor da análise de variância da porcentagem (%) dos ácidos graxos Palmitoleico (Ple 16:1n7), Esteárico (Est 18:0), Elaídico (Ela 18:1n9t), Oleico (Ole 18:1 $\Delta^9$ ), Linoleico (Lin 18:2) e Behêmico (Beh 22:0) presentes no óleo do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação	Ple 16:1n7	Est 18:0	Ela 18:1n9t	Ole 18:1 $\Delta^9$	Lin 18:2	Beh 22:0
Época	0,0000	0,0000	0,2785	0,0000	0,0000	0,0000
Solo	0,0000	0,0000	0,2438	0,0332	0,1086	0,0873
Con. Híd.	0,5841	0,0000	0,3148	0,0001	0,0000	0,0000
Época x Solo	0,0106	0,0639	0,4846	0,4466	0,4770	0,0014
Época x Con. Híd.	0,0050	0,9980	0,1536	0,0000	0,0000	0,6073
Solo x Con.Híd.	0,0653	0,0003	0,2144	0,0783	0,0331	0,1749
Época x Solo x Con. Híd.	0,0146	0,0000	0,4247	0,0000	0,0000	0,0000
Bloco	0,0930	0,0892	0,1251	0,7877	0,7844	0,1970
Erro						
Coefficiente de variação (%)	11,60	4,18	96,99	7,15	5,25	5,49
Média geral	0,09	3,84	0,03	39,09	50,56	0,73
Número de observações	48	48	48	48	48	48

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle.

**APÊNDICE W** – P-valor da análise de variância da taxa de crescimento da cultura (TCC) ( $\text{g g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ) e da taxa de crescimento relativo (TCR) ( $\text{g m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação	TCC				TCR			
	EM-V10	V10-R2	R2-R6	R6-R8	EM-V10	V10-R2	R2-R6	R6-R8
Época	0,0000	0,0000	0,1185	0,0000	-	0,0000	0,0001	0,0000
Solo	0,1028	0,4059	0,5730	0,5954	-	0,4573	0,0555	0,2651
Con. Híd.	0,0523	0,0000	0,0000	0,1502	-	0,0000	0,0787	0,0175
Época x Solo	0,0000	0,0001	0,0028	0,6794	-	0,0000	0,0002	0,5927
Época x Con. Híd.	0,1894	0,0969	0,1023	0,0037	-	0,1641	0,5821	0,0073
Solo x Con.Híd.	0,1950	0,4021	0,9449	0,0005	-	0,3546	0,6551	0,0002
Épo. x Solo x Con.Híd.	0,7901	0,0412	0,1938	0,5477	-	0,4049	0,2163	0,9069
Bloco	0,1796	0,0345	0,0323	0,1244	-	0,0293	0,0290	0,0543
Coef. De variação (%)	11,87	14,39	21,82	87,80	-	5,48	21,09	94,96
Média geral	0,0472	0,8679	1,1423	0,3426	-	0,0075	0,0021	0,0004
Número de observações	48	48	48	48	-	48	48	48

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distrofíco típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle. EM-V10 = subperíodo da emergência a 10 folhas expandidas; V10-R2 = subperíodo de 10 folhas expandidas a formação do botão floral; R2-R6 = subperíodo da formação do botão floral ao início de enchimento de grãos; R6-R8 = subperíodo do início do enchimento de grãos ao final do enchimento de grãos.

**APÊNDICE X** – P-valor da análise de variância da taxa de assimilação líquida (TAL) ( $\text{g dm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ) e da taxa de crescimento foliar relativo (TCFR) ( $\text{g g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{Cdia}^{-1}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação	TAL				TCFR			
	EM-V10	V10-R2	R2-R6	R6-R8	EM-V10	V10-R2	R2-R6	R6-R8
Época	-	0,0004	0,0094	0,0000	-	0,1168	0,2822	0,0000
Solo	-	0,6820	0,3932	0,1822	-	0,3246	0,0210	0,0512
Con. Híd.	-	0,0333	0,0643	0,0283	-	0,0000	0,0811	0,0000
Época x Solo	-	0,0028	0,0000	0,8947	-	0,0001	0,3334	0,8624
Época x Con. Híd.	-	0,3861	0,8898	0,0216	-	0,2415	0,7350	0,0000
Solo x Con.Híd.	-	0,8885	0,2151	0,0003	-	0,2961	0,6030	0,1397
Épo. x Solo x Con.Híd.	-	0,1766	0,2115	0,8667	-	0,3480	0,3616	0,1391
Bloco	-	0,0361	0,0487	0,0366	-	0,2041	0,3123	0,0054
Coef. De variação (%)	-	10,08	22,00	90,91	-	7,98	82,61	-31,70
Média geral	-	0,0083	0,0041	0,0015	-	0,0058	0,0001	-0,0015
Número de observações	-	48	48	48	-	48	48	48

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle. EM-V10 = subperíodo da emergência a 10 folhas expandidas; V10-R2 = subperíodo de 10 folhas expandidas a formação do botão floral; R2-R6 = subperíodo da formação do botão floral ao início de enchimento de grãos; R6-R8 = subperíodo do início do enchimento de grãos ao final do enchimento de grãos.

**APÊNDICE Y** – P-valor da análise de variância da duração da área foliar (DAF) ( $\text{dm}^2 \text{ dia}^{-1}$ ) e da razão da área foliar (RAF) ( $\text{dm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação	DAF				RAF			
	EM-V10	V10-R2	R2-R6	R6-R8	EM-V10	V10-R2	R2-R6	R6-R8
Época	0,0000	0,9194	0,0000	0,0000	0,0037	0,0664	0,0002	0,0003
Solo	0,0182	0,7344	0,1154	0,4023	0,0912	0,7864	0,0093	0,0003
Con. Híd.	0,4729	0,0000	0,0000	0,0000	0,1359	0,0037	0,0617	0,0019
Época x Solo	0,0001	0,0355	0,0000	0,0009	0,0064	0,9471	0,0004	0,0067
Época x Con. Híd.	0,6447	0,0121	0,2346	0,3824	0,0901	0,0525	0,0606	0,0131
Solo x Con.Híd.	0,7585	0,1788	0,1411	0,0069	0,1944	0,3252	0,0371	0,1181
Épo. x Solo x Con.Híd.	0,9807	0,0471	0,0215	0,9435	0,4106	0,2358	0,3306	0,5583
Bloco	0,6214	0,0333	0,2348	0,9919	0,2757	0,1407	0,7937	0,1835
Coef. De variação (%)	13,10	10,97	9,53	9,85	5,85	8,28	6,55	8,96
Média geral	36,13	648,01	964,78	821,79	1,57	0,77	0,49	0,28
Número de observações	48	48	48	48	48	48	48	48

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distrofíco típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle. EM-V10 = subperíodo da emergência a 10 folhas expandidas; V10-R2 = subperíodo de 10 folhas expandidas a formação do botão floral; R2-R6 = subperíodo da formação do botão floral ao início de enchimento de grãos; R6-R8 = subperíodo do início do enchimento de grãos ao final do enchimento de grãos.

**APÊNDICE Z** – P-valor da análise de variância da área foliar específica (AFE) ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ) do girassol conduzido em duas épocas de semeadura, dois solos e sob três condições hídricas do solo no Rio Grande do Sul.

Fator de Variação	AFE			
	EM-V10	V10-R2	R2-R6	R6-R8
Época	0,0000	0,7571	0,0012	0,0000
Solo	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Con. Híd.	0,1330	0,0003	0,0000	0,0093
Época x Solo	0,0000	0,9567	0,0008	0,0787
Época x Con. Híd.	0,0658	0,0129	0,1845	0,0012
Solo x Con.Híd.	0,0824	0,0000	0,0000	0,0000
Épo. x Solo x Con.Híd.	0,5305	0,7616	0,2875	0,5858
Bloco	0,2332	0,2567	0,4187	0,1987
Coef. De variação (%)	6,01	4,92	3,78	4,48
Média geral	2,59	2,29	2,14	1,84
Número de observações	48	48	48	48

\* Época = Safra e Safrinha; Solo = Argissolo Vermelho Distrofíco arênico e Latossolo Vermelho Distroférico típico; Con. Híd. = condição de disponibilidade hídrica de Déficit hídrico, Excesso hídrico e Controle. EM-V10 = subperíodo da emergência a 10 folhas expandidas; V10-R2 = subperíodo de 10 folhas expandidas a formação do botão floral; R2-R6 = subperíodo da formação do botão floral ao início de enchimento de grãos; R6-R8 = subperíodo do início do enchimento de grãos ao final do enchimento de grãos.

**APÊNDICE AA** – Estádios fenológicos de 10 folhas expandidas (V10) (A), alongamento do botão floral (R2) (B), final da floração (R6) (C) e final do enchimento de grãos (R8) (D), seguindo a escala fenológica do girassol de Schneiter e Miller (1981), nos quais foram realizadas as coletas de dados e avaliações das plantas na Safra e na Safrinha em Santa Maria/RS e Panambi/RS.





**APÊNDICE AB** – Observação do crescimento de raízes superficiais de plantas de girassol em Santa Maria conduzidas sob déficit hídrico (A), controle (B) e excesso hídrico (C) no estágio de R3 e em plantas sob excesso hídrico em R6 (D). Detalhe das coletas realizadas com trado a 0,00; 0,12 e 0,24 m da planta referência um dia após a aplicação de excesso hídrico (E) e detalhe do trado utilizado para as avaliações (F).





**ANEXOS**



**ANEXO A** – Descrição das equações para cálculo das variáveis da análise de crescimento conforme: LUCCHESI (Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 41, n. 1, p. 181-201, 1984).

A taxa de crescimento da cultura (TCC) é dada pelo incremento de matéria seca (W), por unidade de área (S), em um determinado intervalo de tempo (T), o qual pode ser considerado o tempo em dias quanto em tempo térmico dado em graus dia,  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$  ou em  $g\ m^{-2}\ ^{\circ}C\ dia^{-1}$ :

$$TCC = (W2 - W1) / S / (T2 - T1)$$

A taxa de crescimento relativo (TCR) é dada pelo incremento de matéria seca (W), por unidade de peso inicial, em um determinado intervalo de tempo (T), em dias ou em tempo térmico, em  $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$  ou em  $g\ g^{-1}\ ^{\circ}C\ dia^{-1}$ :

$$TCR = (\ln W2 - \ln W1) / (T2 - T1)$$

A taxa de assimilação líquida (TAL) representa o incremento de matéria seca (W), por unidade de área foliar (L), em um determinado intervalo de tempo (T) em dias ou graus dia, com unidade de  $g\ dm^{-2}\ dia^{-1}$  ou em  $g\ dm^{-2}\ ^{\circ}C\ dia^{-1}$ :

$$TAL = (W2 - W1) * (\ln L2 - \ln L1) / (L2 - L1) (T2 - T1)$$

A taxa de crescimento foliar relativo (TCFR) representa o incremento de matéria seca (W), por unidade de área foliar (L), em um determinado intervalo de tempo (T) em dias ou graus dia. Sua unidade é dada em  $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$  ou em  $g\ g^{-1}\ ^{\circ}C\ dia^{-1}$ :

$$TCFR = (W2 - W1) * (\ln L2 - \ln L1) / (L2 - L1) (T2 - T1)$$

A duração da área foliar (DAF) representa o tempo de duração da área foliar (L) fotossinteticamente ativa. É dada pela integral do IAF contra o tempo (T). Sua unidade é dada em  $dm^2\ dia^{-1}$  ou  $dm^2\ ^{\circ}C\ dia^{-1}$ :

$$DAF = \frac{1}{2} (L1 + L2) (T2 - T1)$$

A razão da área foliar (RAF) representa a relação entre a área foliar (L) e o peso da matéria seca total da planta (W). Sua unidade é dada em  $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ :

$$RAF = (L1 + L2) / (W1 + W2)$$

A área foliar específica (AFE) representa a relação entre a área foliar (L) e o peso da matéria seca foliar da planta (WL). Sua unidade é dada em  $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ :

$$AFE = (L) / (WL)$$

## ANEXO B – Análise de solo n° 01 das áreas experimentais de Santa Maria e Panambi.

	<b>MEC - Universidade Federal de Santa Maria</b> <b>Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos</b>	
	Santa Maria/RS Cep: 97105-900 Fone/Fax: (55)3220-8153 http://www.ufsm.br/solos <b>Laudo de Análise de Solo</b>	

Nome: ARNO BERNARDO HELDWEIN  
 Município:  
 Localidade:

Solicitante: ARNO BERNARDO HELDWEIN  
 Endereço:  
 Entrada: 02/07/13 Emissão: 29/07/2013

Registro	Cx.	Col.	Identificação da amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Prof. (cm)	Georref.
19596	C341	45	0,1HA - 0-20CM- EXPERIMENTO PANAMBI				
19597	C341	46	0,1HA - 40-60CM- EXPERIMENTO PANAMBI				
19598	C341	47	0,12HA - 20-40CM- EXPERIMENTO SANTA MARIA				
19599	C341	48	0,12HA - 0-20CM- EXPERIMENTO SANTA MARIA				

## Diagnóstico para acidez do solo e carga

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol/dm <sup>3</sup>					Al	Bases	
19596	5,9	11,1	5,7	0,0	3,9	18,1	0,0	82,4	6,1
19597	5,6	8,3	4,0	0,0	3,5	12,5	0,0	78,4	6,2
19598	4,8	4,4	1,5	1,4	7,7	7,4	18,9	44,1	5,5
19599	4,8	6,6	1,7	0,3	6,9	9,1	3,3	55,9	5,8

## Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S

Registro	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total	K	CTC pH7	K
	m/v			mg/dm <sup>3</sup>			cmol/dm <sup>3</sup>		mg/dm <sup>3</sup>
19596	3,1	64,0	1,0	13,0	35,8	-X-	1,391	22,0	544,0
19597	1,4	88,0	1,0	16,0	3,7	-X-	0,205	16,0	80,0
19598	1,8	31,0	3,0	22,0	10,9	-X-	0,123	13,7	48,0
19599	2,2	25,0	3,0	17,0	67,1	-X-	0,44	15,7	172,0

## Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

Registro	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	mg/dm <sup>3</sup>						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) <sup>2/3</sup>
19596	12,1	15,7	0,4	-X-	-X-	-X-	2,0	12,00	0,34
19597	9,1	2,2	0,2	-X-	-X-	-X-	2,1	60,20	0,058
19598	1,2	1,5	0,1	-X-	-X-	-X-	3,0	48,20	0,051
19599	1,3	7,5	0,1	-X-	-X-	-X-	3,8	18,90	0,152

Vinculado à ROLAS-RS/SC 155 PESQUISA ESTE LAUDO NÃO VALE SEM FINANCIAMENTO BANCÁRIO *DETERMINADO EM ANALISADOR ELEMENTAR-COMBUSTÃO SECA	SELLO DE QUALIDADE <b>Análise Básica + Micronutrientes</b> 2013 ROLAS-RS-SC	 Responsável Técnico Eng. Agr. Leandro Souza da Silva CREA: 83495
---	--	--

## ANEXO C – Análise de solo n° 02 das áreas experimentais de Santa Maria e Panambi.

	<b>MEC - Universidade Federal de Santa Maria</b> <b>Centro de Ciências Rurais - Departamento de Solos</b>	
	Santa Maria/RS Cep: 97105-900 Fone/Fax: (55)3220-8153 http://www.ufsm.br/solos <b>Laudo de Análise de Solo</b>	

Nome: ARNO BERNARDO HELDWEIN  
 Município:  
 Localidade:

Solicitante: ARNO BERNARDO HELDWEIN  
 Endereço:  
 Entrada: 02/07/13 Emissão: 01/08/2013

Registro	Cx.	Col.	Identificação da amostra	Área (ha)	Sistema de cultivo	Prof. (cm)	Georraf.
19600	C350	1	EXP. PANANBI- 0,1HA 20-40				
19601	C350	2	EXP. SANTA MARIA-0,12HA 40-60				

## Diagnóstico para acidez do solo e calagem

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC afet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol/dm <sup>3</sup>					Al	Bases	
19600	5,4	8,5	4,3	0,1	3,5	13,3	0,8	79,2	6,2
19601	4,5	3,0	1,1	4,2	21,8	8,4	50,0	16,1	4,8

## Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S

Registro	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total	K	CTC pH7	K
	m/v			mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	g/kg	cmol/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	
19600	1,5	90,0	1,0	15,0	3,0	--X--	0,45	16,7	176,0
19601	1,3	44,0	2,0	18,0	1,5	--X--	0,092	26,0	36,0

## Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

Registro	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
	mg/dm <sup>3</sup>						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) <sup>1/2</sup>
19600	12,3	4,1	0,1	--X--	--X--	--X--	2,0	28,40	0,126
19601	1,0	0,3	0,2	--X--	--X--	--X--	2,8	44,60	0,045

Vinculado à ROLAS-RS/SC 	BELO DE QUALIDADE <b>Análise Básica + Micronutrientes</b> 2013	Responsável Técnico  Eng. Agr. Sandro José Giacomin CREA 100472
*DETERMINADO EM ANALISADOR ELEMENTAR-COMBUSTÃO SECA		