

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**Max Kleber Laurentino Dantas**

**DINÂMICA DA ÁGUA DO SOLO EM CULTIVOS AGRÍCOLAS SOB A  
INFLUÊNCIA DE RESÍDUOS CULTURAIS E OS IMPACTOS NA  
PRODUTIVIDADE DE PLANTAS**

**Santa Maria, RS**

**2020**

**Max Kleber Laurentino Dantas**

**DINÂMICA DA ÁGUA DO SOLO EM CULTIVOS AGRÍCOLAS SOB A INFLUÊNCIA  
DE RESÍDUOS CULTURAIS E OS IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE DE PLANTAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Reimar Carlesso

Santa Maria, RS  
2020

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

Dantas, Max Kleber Laurentino

Dinâmica da água do solo em cultivos agrícolas sob a influência de resíduos culturais e os impactos na produtividade de plantas / Max Kleber Laurentino Dantas.- 2020.

101 p.; 30 cm

Orientador: Reimar Carlesso

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2020

1. Água no solo 2. Resíduos culturais 3. Produtividade de plantas 4. Irrigação deficitária I. Carlesso, Reimar II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor (a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

---

© 2020

Todos os direitos autorais reservados a Max Kleber Laurentino Dantas. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: maxdantas22@gmail.com

---

Max Kleber Laurentino Dantas

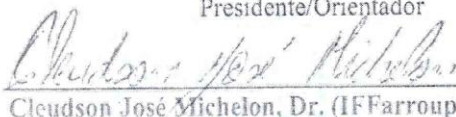
**DINÂMICA DA ÁGUA DO SOLO EM CULTIVOS AGRÍCOLAS SOB A  
INFLUÊNCIA DE RESÍDUOS CULTURAIS E OS IMPACTOS NA  
PRODUTIVIDADE DE PLANTAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo**.

Aprovado em 31 de março de 2020:



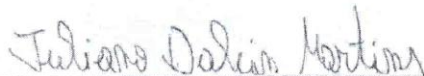
Reimar Carlesso, Dr. (UFSM)  
Presidente/Orientador



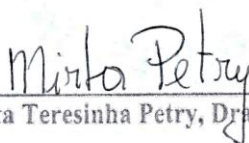
Cleudson José Michelin, Dr. (IFFarroupilha) - Parecer



Cleber Maus Alberto, Dr. (UNIPAMPA) - Parecer



Juliano Dalcin Martins, Dr. (UFSM) - Parecer



Mirta Teresinha Petry, Dra. (UFSM) - Parecer

## **AGRADECIMENTOS**

- Aos meus pais Antônio Laurentino Filho e Maria Zilda Dantas, pela ótima educação, carinho e força nos momentos que mais precisei. Vocês são minha inspiração e exemplo na vida.

- Aos meus irmãos Michael e Mayenne, pela amizade, companheirismo, apoio e excelente convivência. Adoro muito vocês.

- Aos meus sobrinhos Arthur e Jasmine, que recém chegaram a esse mundo e já me proporcionaram diversos momentos de alegrias.

- À minha namorada Suany por estar sempre ao meu lado, em todos os momentos, desde a graduação. Sem você ao meu lado seria muito difícil ter chegado até esse momento, sempre te amarei.

- Ao Governo Federal pelos investimentos e manutenção de uma educação superior em nível de Pós-Graduação gratuita, pública e de qualidade.

- À CAPES pela concessão da bolsa de estudos que foi imprescindível para a continuidade da minha formação acadêmica e da realização das pesquisas.

- Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e a todos os professores que fizeram parte da minha formação, por proporcionarem uma formação de excelência em nível de Pós-Graduação.

- Ao secretário do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo Heverton Heinz, sempre atendendo com presteza e dedicação.

- A todos os servidores dos Departamentos de Solos, Engenharia Rural, Fitotecnia e também do Colégio Politécnico da UFSM, que contribuíram em diversas atividades ao longo do Doutorado.

- Ao meu orientador, professor Reimar Carlesso, pelos ensinamentos durante o curso de doutorado, também por proporcionar as condições necessárias à realização deste estudo.

- Aos professores Juliano Dalcin e Mirta Petry, pelas contribuições ao trabalho.

- A todos os colegas do grupo de pesquisa em manejo da água em sistemas agrícolas (Sistema Irriga), tanto da Pós-Graduação quanto da graduação, sem exceções. Vocês foram essenciais para o sucesso em todas as atividades que realizei durante o meu Doutorado.

- A todos os estudantes que passaram pelo grupo de pesquisa antes de meu ingresso, pois estes deixaram importantes contribuições que permitiram a realização do meu trabalho de uma forma mais facilitada.

Uma história de sucesso e vitórias é impossível de ser construída sozinho!

**Muito obrigado a todos!**

*“Dificuldades preparam pessoas comuns para  
destinos extraordinários”.*

*(Clive Staples Lewis)*

## RESUMO

### DINÂMICA DA ÁGUA DO SOLO EM CULTIVOS AGRÍCOLAS SOB A INFLUÊNCIA DE RESÍDUOS CULTURAIS E OS IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE DE PLANTAS

AUTOR: Max Kleber L. Dantas  
ORIENTADOR: Reimar Carlesso

A presença de resíduos culturais na superfície do solo altera o balanço hídrico do solo, sobretudo a evaporação da água, pois influencia a ação de fatores meteorológicos que fazem parte da demanda atmosférica. Com o crescente aumento de áreas irrigadas e a iminente escassez de recursos hídricos, há a necessidade de usar técnicas que aumentem a eficiência do uso da água, associada a práticas conservacionistas do uso do solo. Assim, este trabalho teve como objetivos gerais analisar a dinâmica das perdas de água em solo com resíduos vegetais em comparação a um solo desnudo, assim como, analisar os efeitos da prática da irrigação deficitária associada a presença de restos culturais no cultivo de girassol, analisando seus efeitos no crescimento e desenvolvimento de plantas. O trabalho foi dividido em dois estudos, ambos realizados na área experimental do Sistema Irriga, departamento de Engenharia Rural-UFSM. O estudo I foi conduzido no ano agrícola 2017/18, no interior de uma cobertura móvel “Rainout Shelter”. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, bifatorial, com quatro repetições. O fator A foi constituído de dois níveis de resíduos e solo desnudo e o fator B, pela presença e ausência de plantas cultivadas, sendo implantada a cultura da soja. O conteúdo de água foi monitorado por sensores FDR e o balanço hídrico realizado a partir da variação no armazenamento de água no solo. A evaporação direta da água do solo também foi medida a partir de microlisímetros. Após cada evento de irrigação foi quantificado, de forma direta, a água retida nos resíduos culturais. Semanalmente foram feitas determinações para avaliar o crescimento e desenvolvimento das plantas, e ao final do ciclo foram determinados componentes de produtividade. O estudo II foi conduzido no ano agrícola 2018/19, no mesmo local da realização do estudo I, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, bifatorial, com três repetições, o fator A foi constituído por diferentes níveis de irrigação deficitária, com base 80 (T80), 70 (T70), 60 (T60) e 50% (T50) do total de água disponível no solo (TAW). As irrigações foram realizadas quando o conteúdo de água no solo atingia os percentuais pré-definidos para cada tratamento, enquanto o fator B foi constituído pela presença e ausência de resíduos culturais dispostos em superfície. Neste estudo foi implantada a cultura do girassol. Avaliou-se a dinâmica da água do solo, componentes do rendimento, teor e componentes do óleo vegetal e acúmulo de nutrientes na biomassa seca. Os resultados demonstraram que a fração de água retida nos resíduos culturais é dependente de sua quantidade e que, nas condições deste estudo, observou-se uma retenção máxima de aproximadamente 10% da água aplicada via irrigação por aspersão, quando mantidos 100% de resíduos em superfície. A prática da irrigação deficitária se mostrou uma alternativa eficiente para reduzir o consumo de água sem afetar o crescimento e desenvolvimento do girassol. A presença de resíduos foi um fator que contribuiu com a aplicação desta prática, uma vez que, manteve o conteúdo de água no solo com o aumento do nível de irrigação deficitária.

**Palavras chave:** Água no Solo. Manejo de Irrigação. Sistemas Conservacionistas.

## ABSTRACT

## **SOIL WATER DYNAMICS IN AGRICULTURAL CROPS INFLUENCED BY CROP RESIDUES ON SOIL SURFACE AND ITS IMPACTS ON PRODUCTIVITY**

AUTHOR: Max Kleber L. Dantas

ADVISOR: Reimar Carlesso

The presence of vegetable residues on the soil surface is one of the main components that influence the soil water balance, once it acts directly in the water evaporation process of the system. With the scarcity of water resources in recent years, there has been a significant increase in irrigated areas. This phenomenon resulted in the necessity to use techniques that increase the efficiency of water use, associated with conservationist practices of the soil. Thus, the objective of this study was to analyze the dynamics of water losses in soil with the presence of vegetable residues in comparison to a bare soil. Furthermore, it was intended to analyze the effects of the practice of deficient irrigation associated with the presence of vegetable residues in a soil cultivated with sunflower, analyzing its effects on plant growth and development. The work was divided into two studies, both performed in the experimental area of Sistema Irriga<sup>®</sup>, Rural Engineering Department, Federal University of Santa Maria (UFSM). Study I was conducted in the harvest 2017/18, in a mobile cover “Rainout Shelter” in soil cultivated with soybean. The experimental design used was completely randomized (DIC), bifactorial, with four replications. Factor A consisted of two levels of residues and bare soil and factor B, due to the presence and absence of cultivated plants. The soil water content was monitored by FDR sensors and the water balance was performed based on the variation in water storage in the soil. The direct soil water evaporation was measured using microlysimeters. After each irrigation event, the water retained in the plant residues was quantified by lysimetry. Weekly, determinations were made to evaluate the plants growth and development and, at the end of the cycle, the crop yield components were determined. Study II was conducted in the harvest 2018/19, in a completely randomized design (CRD), bifactorial, with three replications. Factor A was constituted by different levels of deficient irrigation, based on 80 (T80), 70 (T70), 60 (T60) and 50% (T50) of the soil total available water (TAW), in a soil cultivated with sunflower. Irrigations were performed when the soil water content reached the pre-defined percentages for each treatment. Factor B was constituted by the presence and absence of vegetable residues disposed on the soil surface. In this work, soil water dynamics, crop yield components, content and components of vegetable oil present in seeds and nutrient accumulation in dry plant biomass were evaluated. The results showed that the fraction of water retained in vegetable residues is directly dependent on its quantity. In addition, under the conditions of this study, there was a maximum retention of approximately 10% of the water applied via sprinkler irrigation, when 100% of residues were maintained on the surface. The practice of deficient irrigation proved to be an efficient alternative to reduce water consumption without affecting sunflower growth and development. The presence of residues was a factor that contributed to the application of this practice, since the soil water content was maintained even with the increase in the deficit irrigation level.

**Keywords:** Soil water. Irrigation management. Conservationist systems.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Função geral para o coeficiente de evaporação da água no solo ( $K_r$ ), para o modelo linear de dois estágios de evaporação.....	22
Figura 2 - Imagem aérea e croqui da área experimental do Sistema Irriga .....	29
Figura 3 - Detalhe da estrutura móvel tipo “Rainout Shelter” e das parcelas experimentais em seu interior.....	33
Figura 4 - Sequência de atividades realizadas antes da implantação do experimento .....	34
Figura 5 - Disposição, profundidade e angulação de instalação dos sensores de umidade do solo (FDR) em cada parcela experimental.....	36
Figura 6 - Microlisímetros construídos para determinação da evaporação da água do solo.....	38
Figura 7 - Recipientes construídos para avaliação da retenção de água nos resíduos culturais em nível de campo.....	39
Figura 8 - Radiação solar ( $R_s$ ), evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) e a relação $R_s/ETo$ durante o ciclo da cultura da soja (2017/18).....	47
Figura 9 - Precipitação (mm) e umidade relativa do ar (UR) durante o ciclo da cultura da soja (2017/18).....	48
Figura 10 - Temperatura máxima e mínima do ar ( $^{\circ}C$ ) durante o ciclo da cultura da soja (2017/18).....	49
Figura 11 - Retenção de água nos resíduos culturais nos tratamentos com e sem cultivo de plantas.....	50
Figura 12 - Variação do conteúdo de água disponível no solo (ASW) nos tratamentos com e sem a presença de plantas em todo o perfil do solo (0-85 cm).....	53
Figura 13 - Perdas de água na camada superficial do solo (0-10 cm) em quatro ciclos de secagem durante a condução do experimento, em parcelas sem o cultivo de plantas.....	55
Figura 14 - Índice de área foliar (IAF) de plantas de soja durante a condução do experimento....	59
Figura 15 - Altura de plantas de soja durante o ciclo de cultivo nos diferentes tratamentos. Escala fenológica da soja proposta por Fehr e Caviness (1977).....	60
Figura 16 - Radiação solar ( $R_s$ ), evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) e precipitação durante o ciclo da cultura do girassol (2018/19).....	64

Figura 17 - Variação do conteúdo de água disponível no solo (ASW) nos tratamentos com e sem a presença de palha, respectivamente (a) e (b), em todo o perfil do solo (0-85 cm).....	66
Figura 18 - Variação do conteúdo de água disponível no solo (ASW) nos diferentes tratamentos todo o perfil do solo (0-85 cm).....	68
Figura 19 - Variação do conteúdo de água disponível no solo (ASW) nos diferentes tratamentos na camada de 0-25 cm de solo.....	69
Figura 20 - Evolução do índice de área foliar (IAF) do girassol ao longo do ciclo de cultivo, nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80), com e sem a presença de resíduos culturais.....	70
Figura 21 - Análise de regressão para o índice de área foliar (IAF) nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) nos dias 19 e 26/11 de 2018 e 09/12/2018.....	71
Figura 22 - Evolução da altura de plantas do girassol ao longo do ciclo de cultivo, nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80), com e sem a presença de resíduos culturais.....	73
Figura 23 - Análise de regressão para os os diâmetros do colmo e do capítulo do girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80), com e sem a presença de resíduos culturais.....	76
Figura 24 - Análise de regressão para matéria seca total de plantas nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) com e sem a presença de resíduos culturais.....	77
Figura 25 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na massa seca de folhas de girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) com e sem a presença de resíduos culturais.....	80
Figura 26 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na massa seca de colmos de girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) com e sem a presença de resíduos culturais.....	81
Figura 27 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na massa seca dos capítulos de girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) com e sem a presença de resíduos culturais.....	82
Figura 28 - Produtividade de grãos e peso de 1000 grãos de girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80).....	84

Figura 29 - Produtividade e teor de óleo vegetal de girassol em função da aplicação de diferentes níveis de irrigação deficitária com e sem a presença de resíduos culturais.....	85
Figuras 30 e 31 - Composição em ácidos graxos de sementes de girassol (% em peso). * número de átomos de carbono: número de duplas ligações. Tratamentos (% do TAW).....	87

### **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Padrões climatológicos normais para o município de Santa Maria – RS no período consecutivo entre 1981 e 2010.....	30
Tabela 2 - Parâmetros físicos e hídricos do solo da área experimental do Sistema Irriga (Departamento de Engenharia Rural – UFSM).....	31
Tabela 3 - Datas das irrigações e lâminas brutas aplicadas (mm) após a implementação dos diferentes níveis de irrigação deficitária.....	43
Tabela 4 - Evaporação direta da água do solo (Es) medida a partir de microlisímetros, no primeiro dia de secagem após irrigações, durante o ciclo da cultura da soja.....	57
Tabela 5 - Componentes de produtividade da soja nos diferentes tratamentos de níveis de palha (vagens/planta, peso de 1000 grãos e produtividade de grãos).....	61
Tabela 6 - Efeito dos resíduos culturais no índice de área foliar (IAF) do girassol nos dias 12 e 19/11 de 2018 e 09/12/2018.....	73
Tabela 7 - Efeito dos resíduos culturais na altura de plantas do girassol nos dias 05, 12, 19 e 26/11 de 2018, 09 e 21/12/2018 e 04/01/2019.....	74
Tabela 8 - Efeito dos resíduos culturais no peso de 1000 grãos de girassol.....	83
Tabela 9 - Efeito dos resíduos culturais no teor de óleo vegetal de girassol.....	85

### **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A - Ilustração da área experimental do Sistema Irriga-UFSM, com detalhes da estrutura móvel tipo Rainolt Shelter e as parcelas experimentais em seu interior.....	98
ANEXO B - Análise de variância da evaporação de água do solo (Es), no primeiro dia de secagem, medida a partir de microlisímetros .....	99
ANEXO C - Análise de variância da relação Es/ET <sub>o</sub> , no primeiro dia de secagem .....	100
ANEXO D - Efeito do dossel de plantas na evaporação da água do solo (Es) .....	101

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	17
2.1	IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA PRODUÇÃO AGRÍCOLA	17
2.2	PROCESSOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO	18
2.3	EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO	19
2.3.1	Determinações da evaporação	20
2.3.2	Efeito do dossel na evaporação	23
2.3.3	Efeito dos resíduos na evaporação	24
2.3.4	Interceptação e retenção de água pelos resíduos culturais	25
2.4	MANEJO DA ÁGUA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS	26
2.4.1	Regimes de irrigação na produção agrícola	27
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	30
3.1	ESTUDO I	32
3.1.1	Caracterização do experimento	32
3.1.2	Implantação da cultura e manejo da irrigação	34
3.1.3	Obtenção dos dados meteorológicos	35
3.1.4	Determinação do conteúdo de água no solo	35
3.1.5	Determinação das perdas de água do solo	36
3.1.6	Retenção de água pelos resíduos culturais	38
3.1.7	Crescimento, desenvolvimento das plantas e componentes de produtividade	39
3.1.8	Análise estatística	40
3.2	ESTUDO II	41
3.2.1	Caracterização da área experimental	41
3.2.2	Caracterização do experimento	41
3.2.3	Variáveis observadas	44
3.2.4	Análise estatística	46
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	46
4.1	ESTUDO I	46
4.2	ESTUDO II	63
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	88
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	88
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b>	98

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento crucial à produtividade de culturas agrícolas, sendo um componente determinante que explica em grande parte as variações na produtividade das plantas, sobretudo em áreas que não possuem disponibilidade de irrigação e/ou se encontram em regiões que apresentam períodos de escassez hídrica durante alguns meses do ano. Um fator que contribui para aumentar a disponibilidade de água para as plantas é a capacidade de armazenamento dos solos, uma vez que este funciona como um reservatório natural que armazena e posteriormente disponibiliza essa água conforme a demanda das plantas (HU et al., 2009).

No estado do Rio Grande do Sul (RS) existe uma variabilidade de solos cultivados e que apresentam alta diversidade na capacidade de armazenamento de água, devido às características intrínsecas dos solos como matéria orgânica e textura. Solos arenosos possuem a limitação de armazenar menos água, entretanto, como o uso de água por parte das plantas depende também de características delas próprias, os solos arenosos acabam disponibilizando quase a totalidade da água armazenada para estas em detrimento de solos com textura mais argilosa (CARLESSO et al. 1999; REINERT,1998).

A utilização de sistemas conservacionistas de uso do solo como o plantio direto tem promovido melhorias no solo que contribuem para aumentar a eficiência do uso da água. Esse sistema permite contribuições como aumento nas concentrações de carbono e, conseqüentemente, na atividade microbiana do solo, além de conservar a água do solo em função da barreira física formada pelos resíduos, evitando maiores perdas por evaporação da água (FABRIZZI et al., 2005; PAGE et al., 2013; VERHULST et al., 2010).

O plantio direto tem se tornado o ponto central de interesse em várias pesquisas e vem em crescente extensão no Brasil, atingindo em 2017/18 uma área cultivada de mais de 30 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2015). Entretanto, no que diz respeito à dinâmica da água do solo, ainda carece de melhores compressões, sobretudo em áreas irrigadas em função das mudanças nos componentes do balanço hídrico, em especial a evaporação.

Em cálculos de balanço hídrico do solo para se realizar manejo de irrigação, normalmente se contabiliza apenas a redução da evaporação de água em função da presença de palha, desconsiderando a fração de água retida por esses resíduos (ROSA et al., 2012; KLOCKE et al.,

2009). Esse componente entra no cálculo como parte da evaporação da água do solo, dentro da evapotranspiração, mesmo sem fazer parte do sistema solo-planta e sendo perdida direto para atmosfera, na presença de energia, podendo implicar em alguns erros de cálculos (MARTINS et al., 2013).

Somado a isso, em áreas irrigadas com solos desprovidos de resíduos culturais em superfície existe a necessidade de aplicações de lâminas mais frequentes, sobretudo no estágio inicial da cultura, para proporcionar um estabelecimento uniforme no início do cultivo. Entretanto, a presença de palha implica interceptação da água irrigada e que não participa do sistema solo-planta, sendo perdida diretamente para a atmosfera, tornando-se importante principalmente em irrigações de alta frequência e com pequenas lâminas aplicadas (SILVA et al., 2006; SARKAR et al., 2007).

No sentido de contribuir com a conservação dos recursos naturais e aumentar a água disponível no solo, o sistema de plantio direto, onde os restos culturais permanecem em superfície sem o revolvimento, tem sido adotado em escala crescente nos últimos anos em áreas de lavouras. Um desafio para a agricultura irrigada aumentar a produtividade, limitando o uso da água, a associação de práticas que permitam uma maior conservação de solo e água se demonstram promissoras em atingir esse objetivo (TOPAK et al., 2016; IGBADUN et al., 2012).

Em se tratando de manejo da água da irrigação, a irrigação deficitária é uma estratégia de manejo utilizada para otimizar o uso da água de irrigação, pois visa repor apenas parte da água que seria utilizada pela cultura em situações sem limitações hídricas, levando-se também em consideração a dinâmica do uso da água ao longo do crescimento e desenvolvimento das plantas (HOWELL et al., 2007; VADEZ et al., 2013). O objetivo com essa prática é elevar a produtividade da água a partir da aplicação de uma menor quantidade de água e/ou menor número de irrigações, no entanto, sem comprometer a produtividade das culturas, mantendo assim uma produção economicamente viável e sustentável (PEREIRA et al., 2012).

A irrigação deficitária deve ser avaliada a partir de dois componentes, o de tentar reduzir as perdas de água por evaporação do solo nas fases iniciais do ciclo da cultura e o de realizar irrigações apenas em períodos críticos de crescimento e desenvolvimento das plantas, ou seja, aqueles que determinam seu rendimento potencial (BELL et al., 2018). Portanto, esta se torna um conceito que pode ser aplicado na prática, mas estudos científicos devem ser levados em consideração, pois, para se restringir a irrigação em fases onde há maior resistência dos cultivos e não comprometendo

sua produção, devem ser levados em conta princípios básicos de conservação de recursos hídricos, conhecimentos sobre a cultura, a relação solo-planta-atmosfera e também sobre o manejo da irrigação (FERERES & SORIANO, 2007).

Dentro deste contexto, percebe-se que estudos são necessários para um melhor entendimento da dinâmica da água do solo em agroecossistemas com a presença de palha, como a determinação quantitativa da água interceptada pelos resíduos culturais em nível de campo e identificar e avaliar associações de práticas de manejo que melhorem a conservação dos recursos naturais e contribuam para um aumento na produtividade dos cultivos agrícolas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar como ocorrem as perdas de água em solo coberto com restos vegetais em comparação a um solo desnudo, ao longo de todo um ciclo de cultivo. Além disso, o estudo visa quantificar os efeitos da prática de irrigação deficitária na presença de restos culturais durante todo um ciclo de cultivo, analisando seus efeitos no crescimento e desenvolvimento de plantas.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Determinar a variação do conteúdo de água armazenada no perfil do solo e na sua camada superficial durante todo o ciclo da cultura da soja em parcelas com e sem a presença de resíduos vegetais.

Quantificar a retenção de água, aplicada via irrigação, em diferentes quantidades e tipos de resíduos culturais, de forma direta e em condições de campo.

Verificar o efeito do dossel de plantas no processo evaporativo da água do solo e o efeito dos resíduos culturais na dinâmica da água do solo após o crescimento das plantas.

Identificar os impactos da manutenção da prática da irrigação deficitária durante todo o ciclo de cultivo na cultura do girassol, no crescimento, desenvolvimento e componentes de produtividade da cultura.

Analisar os efeitos da irrigação deficitária associada à presença de resíduos na superfície do solo no acúmulo de nutrientes na matéria seca de plantas de girassol e também na produção e composição do óleo vegetal.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA A PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Os ciclos de armazenamento de água no solo e posterior disponibilização para as plantas durante o período de desenvolvimento destas é de fundamental importância para a expressão do potencial produtivo das plantas. Períodos de estresse hídrico em algum momento durante o ciclo impacta em basicamente em todo o metabolismo relacionado ao crescimento dos cultivos, dentre estes a redução da área foliar, aspectos relacionados à fotossíntese e demais processos fisiológicos (BERGAMASCHI et al, 1992).

A água desempenha um papel fundamental para a produção agrícola, e justamente pela sua importância, deve ser fornecida na medida certa para que a sua restrição não influencie negativamente a produtividade das plantas, a baixa disponibilidade hídrica e o risco de secas cada vez mais frequentes têm se tornado as principais causas de vulnerabilidade na agricultura (SCHRÖTER et al., 2005). Nesse sentido, se faz necessário o uso da aplicação de água via irrigação, seja esta suplementar como em períodos de estiagem em regiões úmidas, seja completa como em regiões áridas e semiáridas, entretanto, além da escolha do método adequado o seu manejo deve ser o mais preciso possível para que se tenha uma maximização da produção e também uma diminuição nos custos de produção (JUNIOR & LOPES, 2009; ALEXANDRATOS, 2009).

A prática da irrigação é determinante e fundamental para se conseguir suprir a demanda por alimentos e matérias primas exigidas pela crescente população mundial. Estima-se que a necessidade de aumento na produção de alimentos deva aumentar em cerca de 60% até 2050 (FAO, 2011). Nos dias atuais, em todo o mundo, as terras agricultáveis e que possuem irrigação somam cerca de duzentos e sessenta milhões de hectares, isso representa aproximadamente 17% da área total de terras cultivadas do planeta, porém, representam mais de 40% de retorno da produção total de alimentos e fibras (FAO, 2017).

Existem diversos trabalhos na literatura que demonstram a importância da irrigação para a produtividade agrícola, e a prática da irrigação permite uma garantia na produção de altos rendimentos, porém, nas últimas décadas a água tem sido motivo de disputas em diversos setores como a indústria, produção animal e também abastecimento humano (HE et al., 2019; KARAM et al. 2005, IRMAK et al.2014; GARCIA-GARCIA et al., 2010).

Certamente a agricultura demanda a maior parte do uso consultivo da água, aproximadamente 70% da água potável disponível no mundo, porém, setores não agrícolas como a indústria e uso doméstico têm apresentado crescente demanda, sujeitando o uso agrícola a uma escassez (GALÁN-MARTÍN et al., 2017; JIANG et al., 2016). Assim, se faz necessário estudos que possibilitem o aumento da eficiência do uso da água em sistemas agrícolas para que se possa produzir com sustentabilidade sem impactar negativamente a produtividade das culturas agrícolas.

## 2.2 PROCESSOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O estudo do ciclo da água em culturas agrícolas, de forma geral, implica no conhecimento do balanço hídrico (BH). O uso de água por parte das plantas corresponde ao fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera, sendo este uso determinado na forma de evapotranspiração (ET) (ALLEN et al., 1998). A ET é constituída de dois processos distintos e que ocorrem simultaneamente: a transpiração (T), que é a transferência de água na forma de vapor de uma superfície com vegetação ativa para a atmosfera e a evaporação (E), que é a conversão de água líquida em vapor de diversas superfícies inclusive da vegetação molhada e do solo (ALLEN et al., 1998).

A partir do conceito inicial de ET surgiram diversas adjetivações que caracterizam situações padronizadas e adaptadas a diferentes condições de vegetação natural e cultivadas, sempre objetivando a simplificação da sua determinação. Um dos principais conceitos desse termo denomina-se evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), definida no boletim 24 de Irrigação e Drenagem da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) como sendo uma extensa superfície de grama, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e bem provida de água. Nas definições de Thornthwaite (1948) e Allen et al. (1998), a ET<sub>o</sub> expressa o poder evaporante da atmosfera. Existem diversos métodos para estimar a ET<sub>o</sub>, sendo o método de Penman-Monteith recomendado pelo FAO-56 Allen et al. (1998). Esses mesmos autores propõem como alternativa para o cálculo da ET<sub>o</sub> o método de Hargreaves, quando se tem disponível apenas dados de temperatura do ar (HARGREAVES & SAMANI, 1985).

O conceito de ET<sub>o</sub> foi inicialmente sugerido por Jensen et al. (1971) como sendo referência para a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), que é o consumo de água de uma cultura com ótimas condições de manejo (hídrico, fitossanitário, fertilidade, etc.). Para a medida da ET<sub>c</sub> o

mais conveniente é utilizar a estimativa da  $E_{To}$  corrigida por um coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), que é representado pela relação  $E_{Tc}/E_{To}$  e é variável de acordo com a cultura e seu estágio de desenvolvimento. O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é um parâmetro de ajuste que representa as características da cultura utilizada, variando em função da arquitetura da planta, de seus distintos estádios fenológicos e do método de estimativa da  $E_{To}$  (SILVA et al., 2009; TAGLIAFERRE et al. 2012).

### 2.3 EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO

A evaporação é um processo natural no qual ocorre um fenômeno físico reversível e que exige um suprimento de energia externa na forma de calor sensível. Esse processo pode ocorrer em qualquer superfície em contato direto com a atmosfera, inclusive no solo úmido cultivado. O calor sensível necessário à ocorrência do processo advém da radiação solar, do próprio solo aquecido ou da atmosfera quente e com baixa umidade próxima a superfície.

Em agroecossistemas a  $E$  é um processo indesejável, uma vez que não influencia na produção de biomassa, ou seja, esta deve ser minimizada uma vez que não contribui diretamente para a produtividade de culturas agrícolas (KOOL et al., 2014). O processo evaporativo de um solo sem a presença de “mulching” natural ou artificial pode se dar em até quatro estágios diferentes e sucessivos, que se dão ao longo de um ciclo de secagem de um determinado solo (RITCHIE, 1972; IDSO et al., 1979; SULEIMAN & RITCHIE, 2003; ZHANG et al., 2015).

A primeira fase ocorre quando a superfície do solo permanece úmida permitindo a manutenção da taxa potencial de evaporação, que nessas condições pode ser determinada apenas através das variáveis meteorológicas, principalmente a radiação solar ( $R_s$ ), por isso a denominação de fase limitada pela energia. Neste primeiro estágio de evaporação existe uma continuidade de umidade no perfil do solo e o plano de vaporização ocorre na superfície do solo. Nesse período ocorre uma taxa de evaporação constante até que o conteúdo de água na camada superficial do solo atinja um valor crítico, a partir da qual a taxa de secagem do solo começa a diminuir (LEHMANN et al., 2008; VAN BRAKEL, 1980).

À medida que a evaporação avança a superfície do solo seca gradualmente, fazendo com que a frente de secagem comece a ocorrer nas camadas mais abaixo, se tornando dependente das propriedades hidráulicas do solo, e quando o fluxo capilar se torna insuficiente para garantir a

continuidade do processo evaporativo na camada superficial, se inicia o segundo estágio da evaporação (LEHMANN et al., 2008; BULGANI et al., 2018). Neste caso, diferentemente do primeiro estágio, onde a taxa de evaporação pode até superar a demanda atmosférica, a condutividade hidráulica reduz ao ponto de não conseguir suprir a demanda evaporativa da atmosfera (JENSEN & ALLEN, 2016).

No terceiro estágio ocorre uma redução ainda maior na conectividade hidráulica com a superfície do solo, entretanto, apesar dessa ocorrência ainda pode acontecer uma intensa conversão de água líquida em fase de vapor que permanece na superfície do solo (ZHANG et al., 2015; SMITS et al., 2011). Segundo esses autores ainda poderá ocorrer um quarto estágio no processo de evaporação da água do solo, este é marcado pela completa desconexão entre a camada superficial e as camadas mais inferiores do solo. A partir daí, o plano de vaporização passa a acontecer abaixo da superfície, ainda podendo ocorrer evaporação a partir deste plano e se difundindo através da camada de solo seco para a atmosfera (ZHANG et al., 2015).

Apesar de estudos experimentais comprovando a existência dos diferentes estágios da evaporação, já a partir do segundo estágio as taxas de evaporação se tornam muito reduzidas ao ponto de serem negligenciadas em vários estudos, principalmente em nível de campo (BALUGANI et al., 2017; SHAH et al., 2007; MILLER et al., 2010). Assim, alguns autores preferem definir as etapas de evaporação em dois ou três estágios, onde as taxas de evaporação são potenciais no estágio I, dependentes das propriedades hidráulicas do solo no estágio II e dependentes da difusão de vapor ao longo do estágio III (HILLEL, 1998; LEHMANN et al., 2008).

A redução nas taxas de evaporação na transição entre os estágios I e II depende de vários fatores; Allen et al. (2005) discutem um modelo linear para a redução na evaporação nesses estágios para solos sem cobertura e cultivo. Neste caso existe uma dependência do tipo de solo, do perfil de temperatura, das condições de contorno, da demanda evaporativa da atmosfera e espessura da camada evaporável do solo.

### **2.3.1 Determinações da evaporação**

A realização de diversos trabalhos envolvendo a dinâmica da água em agroecossistemas passam pela necessidade de se determinar a evaporação da água do solo (FLUMIGNAN, 2008).

Apesar de ser uma variável difícil de ser medida diretamente, existem na literatura diferentes métodos que podem ser usados para esse fim, dentre eles, o uso de lisímetros, balanço de água no solo, balanço de energia na superfície (razão de bowen), além de métodos empíricos e semi-empíricos (BURT et al., 2005; EVETT et al., 1995).

O balanço de água no solo pode ser utilizado a partir de amostragens realizadas após um evento de umedecimento do solo, após 24 – 48 horas para permitir a drenagem livre da água, e novamente entre 7 e 15 dias depois do evento (ALLEN et al., 2011). Esse procedimento pode ser facilitado com a utilização de sistemas de medições automatizados, verificando assim as mudanças no comportamento da umidade do solo de forma contínua. Os sensores do tipo TDR (Time domain reflectometry) são exemplos de medições eletrônicas automatizadas que medem o conteúdo de água indiretamente e possuem a vantagem de medições in situ e contínuas (ALLEN et al., 2011).

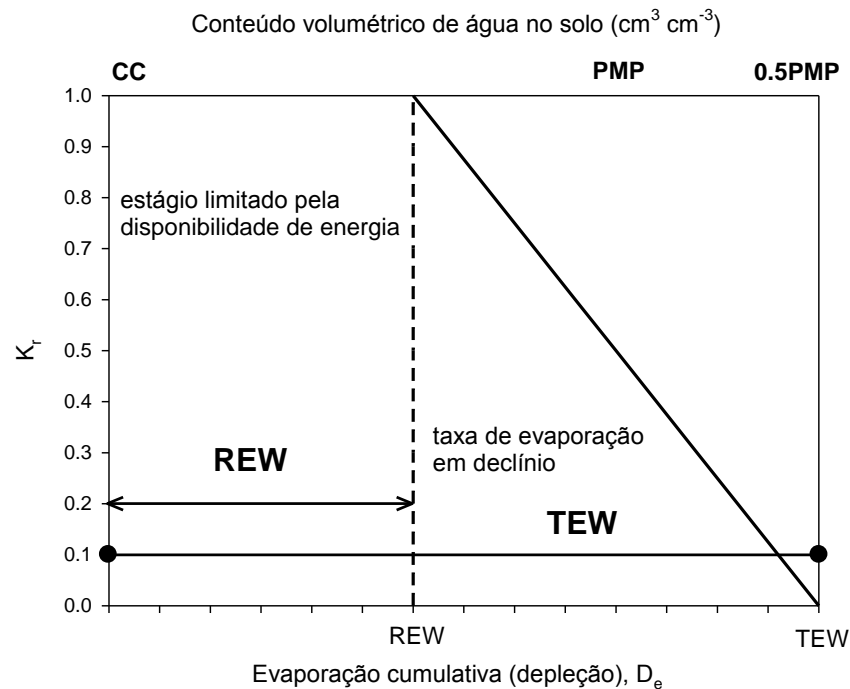
Os lisímetros são largamente utilizados para a medição direta da evapotranspiração, usualmente são considerados uma ferramenta adequada para uma correta medição da ET (ABOUKHALED et al., 1982), entretanto existem problemas associados que devem ser levados em consideração na interpretação de resultados (ALLEN et al., 2011). Uma alternativa para se medir de forma separada a transpiração da cultura e a evaporação da água do solo é a utilização de microlisímetros, que são eficientes na medição direta da evaporação sob o dossel vegetativo e sem a interferência do sistema radicular (SHAWCROFT & GARDNER, 1983, BURT et al., 2005).

Apesar de serem eficientes para a finalidade a que se destinam, os microlisímetros também possuem limitações como, por exemplo, a permanência de maior umidade em relação ao solo circundante, isso por não permitirem os fluxos de água e temperatura devido a maneira como são construídos (TOOD et al., 2000; KLOCKE et al., 1990). Os microlisímetros consistem basicamente em pequenos recipientes preenchidos com solo indeformado, normalmente construídos em canos de PVC e com dispositivos anexados na parte inferior para a coleta da água percolada. São instalados ao nível do solo e pesados periodicamente, fornecendo assim a evaporação direta por diferença de massa (VIEIRA, 2013; ROCHA, 2016).

Desde a década de 1970 estudos têm sido realizados com objetivos de se estimar separadamente transpiração e evaporação; os modelos matemáticos de Ritchie (1972) são bastante utilizados para esta finalidade. Baseado nas proposições de Ritchie, o boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998) apresenta os procedimentos de particionamento da ET. Neste documento, o processo de evaporação da água do solo é descrito em dois estágios, onde o primeiro é limitado

pela quantidade de energia disponível e o segundo onde a taxa de evaporação decresce gradualmente, esse decréscimo é determinado por um coeficiente de redução da evaporação ( $K_r$ ), conforme apresentado na figura 1.

Figura 1 - Função geral para o coeficiente de evaporação da água no solo ( $K_r$ ), para o modelo linear de dois estágios de evaporação. (Adaptado de Allen et al., 1998).



Para o procedimento de estimativa da evaporação se assume um total de água evaporável máximo ( $\text{TEW}_{\text{max}}$ ), onde o conteúdo de água que pode ser evaporada é calculado de acordo com a equação 1. Onde CC é o conteúdo de água na capacidade de campo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), PMP é o conteúdo de água no ponto de murcha permanente ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e  $Z_e$  é a camada evaporável do solo (pode variar de 0.10 a 0.15 m, de acordo com observações locais).

$$\text{TEW}_{\text{max}} = 1000 (\theta_{\text{CC}} - 0.5 \theta_{\text{PMP}}) Z_e \quad (1)$$

Durante o primeiro estágio a evaporação ocorre a uma taxa máxima ( $K_r = 1$ ), esta etapa é mantida até que a lâmina acumulada de evaporação aumente até um ponto onde as propriedades hidráulicas da camada superior do solo comecem a ser limitantes. Essa lâmina de água acumulada

corresponde ao final do estágio I e é denominada de água prontamente evaporável (REW). Desta forma assume-se que a evaporação no estágio I se encerre no momento em que a evaporação acumulada exceder o REW. Ritchie et al. (1989) citados por Allen et al. (2005) sugerem equações com base na textura do solo para estimar o REW, esse pode ser calculado a partir da equação 2, para solos com teores de de areia e argila menores que 80 e 50% respectivamente.

$$\text{REW}_{\text{max}} = 8 + 0.08 (\text{argila}), \text{ para areia} < 80 \text{ e argila} < 50 \quad (2)$$

Estimativas da evaporação em solos com a presença de resíduos culturais ou crescimento do dossel vegetativo devem levar em consideração as modificações impostas no balanço hídrico, sobretudo em função da redução nas taxas de evaporação. Os resíduos culturais dispostos em superfície, assim como o sombreamento do solo pelo dossel de plantas, reduzem a energia disponível para o processo de evaporação (ALLEN & PEREIRA, 2009).

Estudos conduzidos por Odhiambo e Irmak (2012) verificaram uma redução de 5% na taxa de evaporação para cada 10% de solo coberto com resíduos culturais, entretanto, na fase inicial de crescimento da cultura, observou-se uma redução de 2,5%. O FAO-56 descreve os procedimentos de cálculos para a determinação da fração exposta e umedecida do solo em casos em que há um percentual de solo coberto por resíduos ou cultivo de plantas.

### **2.3.2 Efeito do dossel na evaporação**

O crescimento e desenvolvimento das plantas numa área cultivada interfere diretamente no processo de evaporação da água do solo uma vez que com o incremento na área foliar ocorre o sombreamento do solo, reduzindo assim a incidência direta da radiação solar. Martins et al. (2013), estudando o particionamento da ET na cultura do milho, observaram maior contribuição da E na fase inicial de desenvolvimento da cultura, porém, a partir do fechamento das entrelinhas e consequente sombreamento do solo, esse componente reduziu drasticamente.

Com o avanço no crescimento do dossel e o fechamento das entrelinhas, a evaporação perde importância, sendo a transpiração das plantas a principal responsável pelas perdas de água do solo (DALMAGO et al., 2004). O período inicial de crescimento das plantas é definido como a etapa em que a cobertura do solo pelo dossel atinge aproximadamente 10%, e desta etapa até 75% de

cobertura, a evaporação ocorre em taxas mínimas. Este período também pode ser observado através do índice de área foliar (IAF), quando este atinge valor de aproximadamente 3 (ALLEN et al., 1998). O IAF é um índice importante nos estudos e avaliações envolvendo as relações solo-planta-atmosfera.

Nas últimas décadas, diversos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para o estudo do balanço hídrico do solo. Rosa et al. (2012) desenvolveram um modelo que utiliza a metodologia dos coeficientes duais proposta no FAO-56, que permite estudar separadamente os impactos da evaporação e transpiração (ALLEN et al., 2005). Neste caso é utilizado um coeficiente basal de cultivo ( $K_{cb}$ ) e um coeficiente de evaporação ( $K_e$ ), onde, para o cálculo deste último, é levado em consideração um coeficiente de redução da evaporação ( $K_r$ ).

Dalmago et al. (2003) verificaram uma significativa redução na evaporação em cultivo de milho em função do aumento na área foliar; no período de máxima área foliar a evaporação média ficou em torno de 15% da ET, 25% menor em comparação à fase inicial de desenvolvimento da cultura. Em determinadas situações a componente evaporação pode contribuir com mais da metade da ET, como as observações Cooper et al. (1983) na cultura do trigo, observaram valores de 30 a 60% de evaporação. Neste contexto verifica-se a importância de se estudar adequadamente os fatores que mais influenciam a dinâmica da E em ambientes agrícolas.

### **2.3.3 Efeitos dos resíduos na evaporação**

Segundo Jalota & Prihar (1990), até 70% da precipitação pluvial anual pode retornar à atmosfera por evaporação, ou seja, sem trazer nenhum benefício para sistemas agrícolas, pois não participa da produção de biomassa. A utilização de materiais naturais ou artificiais (mulching) dispostos sobre a superfície do solo podem reduzir significativamente a evaporação. Esse componente de perda de água num solo cultivado, como por exemplo, no sistema de plantio direto (SPD) é modificado em relação a um solo desnudo, fazendo com que mais água fique disponível para a T, entretanto, a magnitude com que ocorre essas mudanças é muito difícil de ser explicada (HOU et al., 2010).

A prática do sistema conservacionista do solo (SPD) já é consolidada na região Sul do Brasil, caracterizada pelo menor revolvimento do solo e a manutenção dos restos culturais sobre a superfície. Os resíduos contribuem para a redução da erosão do solo, do escoamento



superficial e também da E, mantendo a umidade no perfil do solo e aumentando a capacidade de infiltração de água (CARLESSO et al., 2011).

Uma maior eficiência no uso da água na agricultura está diretamente relacionada com a redução na E, sendo que, a manutenção de resíduos culturais sobre o solo é uma alternativa eficiente para esse fim. Quando se tem palha na superfície se espera que, uma vez ingressada no solo, a água proveniente da chuva ou irrigação permaneça por mais tempo, pois os resíduos funcionam como uma barreira isolante para a energia que é necessária para ao processo evaporativo (SALTON & MIELCNICZUCK, 1995).

A quantidade e tipo de resíduos aliado à demanda evaporativa da atmosfera é que determinam a taxa de secagem do solo e, conseqüentemente, a contribuição na diminuição desse processo por parte da palhada. Essa contribuição se dá, sobretudo, na fase da evaporação limitada pela energia, através da reflexão da  $R_s$  (LYRA et al., 2010). Porém, a desvantagem é que os resíduos das plantas interceptam e armazenam água da chuva ou irrigação, sendo essa perda diretamente para a atmosfera, diminuindo a entrada de água na zona radicular das plantas (ZRIBI et al., 2015).

Sendo assim, os benefícios dos diferentes tipos de “mulchings” naturais devem ser avaliados, principalmente em áreas irrigadas. Para isso, se faz necessário que dentro do balanço hídrico, a quantificação da real quantidade de água retida pela palha seja realizada, pois a sua contribuição depende de um equilíbrio entre a água que ingressa e a que sai do perfil do solo por ET. De maneira geral os modelos de simulação de balanço hídrico ainda não incorporam de maneira adequada o efeito dos resíduos na evaporação da água, sendo necessário mais estudos com a finalidade de ajustar esses modelos de estimativas da ET (ROCHA, 2016).

#### **2.3.4 Interceptação e retenção de água pelos resíduos culturais**

Após a ocorrência de uma chuva, as perdas de água diretamente para a atmosfera irão depender de características intrínsecas da chuva ou irrigação, como a quantidade, duração e intensidade, assim como dependerá de características do dossel de plantas como, estrutura e espessura do dossel (WARD & ROBINSON, 2000). Lankreijer et al. (1993) dividiram a interceptação da água pelo dossel vegetativo em duas etapas, a primeira etapa logo após a ocorrência da chuva até a saturação do dossel e uma segunda a partir do final da chuva, onde se inicia o processo de secagem. A água retida durante a primeira fase tende a permanecer no dossel ou nos resíduos culturais sobre

o solo, e tende a ser perdida diretamente para a atmosfera sem infiltrar na zona radicular das culturas (LANKREIJER et al., 1993).

São poucos os trabalhos encontrados na literatura que quantificam e/ou estudam processos de retenção de água, sobretudo em áreas irrigadas por aspersão, nos resíduos culturais distribuídos em superfície. Da Silva et al. (2006), avaliando a capacidade de armazenamento de três tipos de palhada verificaram que as palhadas de milho e milheto, com uma quantidade de 4,5 t ha<sup>-1</sup> foram capazes de reter 1,5 mm. Estes mesmos autores apresentaram equações lineares que podem ser incorporadas aos modelos de balanço hídrico, com a finalidade de se contabilizar a fração de água que fica retida nos resíduos e não infiltram para o solo. Martins et al. (2013) indicaram que possíveis erros na simulação do balanço hídrico do solo podem surgir pela não contabilização da fração de água retida pelos resíduos vegetais, e que essa limitação dos modelos requer pesquisas adicionais.

A interceptação da água pelos resíduos culturais depende de aspectos como o tipo de resíduo, a densidade de cobertura e a intensidade e duração das chuvas. Kozak et al. (2007) relataram que a interceptação de chuva ou irrigação pelos resíduos são normalmente negligenciadas em estudos de modelagem. Savabi & Scott (1994) demonstraram que resíduos de milho e soja poderiam interceptar 29 e 23% respectivamente da precipitação, em estudo realizado em condições de chuva simulada. Em região de ambiente temperado, Price et al. (1998) relataram que os resíduos culturais interceptaram a chuva em taxas de até 2,6 mm dia<sup>-1</sup>.

A interceptação de água por resíduos de culturas é um componente importante do ciclo hidrológico e que pode afetar os componentes do balanço hídrico do solo à medida que altera a quantidade de água que infiltra para o solo (KOZAK et al., 2007). Após a ocorrência de uma chuva e a consequente saturação dos resíduos culturais, as perdas de água para atmosfera podem se dar rapidamente, em função da demanda evaporativa da atmosfera. Findeling et al. (2003) observaram que a perda total da água interceptada se deu praticamente ao final do primeiro dia, o mesmo também foi observado por Da Silva et al. (2006) em diferentes quantidades de resíduos de milheto.

## 2.4 MANEJO DA ÁGUA EM SISTEMAS AGRÍCOLAS

Com a crescente necessidade de se produzir mais alimentos observando a sustentabilidade da agricultura, preservando os recursos naturais e garantindo a segurança alimentar do planeta, se

percebe a necessidade de manejar adequadamente os recursos hídricos e melhorar a eficiência do uso da água, tanto em lavouras irrigadas, como nas de sequeiro (FAO, 2011; DIVAKAR et al., 2011).

É notório que a agricultura consome a maior parte da água potável disponível no mundo (GALÁN-MARTÍN et al., 2017). Sendo assim, para se atingir o objetivo de produzir de forma sustentável, preservando recursos hídricos sem reduzir a produtividade das culturas, é preciso que se tenha um adequado manejo da irrigação, seja melhorando as estimativas da demanda hídrica das plantas ou utilizando técnicas que permitam um uso mais eficiente da água (PROVENZANO et al., 2014).

O Brasil é um país com grande potencial de aumento de suas áreas irrigadas, e é o que vem ocorrendo nos últimos anos, porém, essa expansão exige melhores estratégias de gestão da água (SILVEIRA et al., 2020). A prática da irrigação deficitária surgiu com o intuito de suprir essa necessidade, pois visa basicamente a aplicação de menores lâminas de água do que o requerimento máximo das culturas ao longo do ciclo, sem necessariamente impactar no rendimento final das culturas.

Para se obter o máximo rendimento econômico das lavouras nem sempre existe a necessidade de se aplicar lâminas de água para suprir por completo a evapotranspiração das culturas. A irrigação deficitária tem permitido satisfazer a demanda hídrica das plantas permitindo um incremento na eficiência do uso da água, preservando recursos hídricos e provocando um mínimo impacto na produtividade final, promovendo um retorno econômico satisfatório para o produtor (SATRIANI et al. 2015; LOPES et al. 2011; HEGAB et al. 2014).

Dentro deste contexto se verifica a necessidade de se realizar estudos que identifiquem os impactos do estresse hídrico na produtividade das plantas uma vez que esses efeitos variam em função de vários aspectos como tipo de cultura, estágio de desenvolvimento, duração e intensidade do déficit, localidade, manejo e tipo de solo, dentre outros (HEIDARZADE et al., 2016; CANDOGAN et al., 2016).

#### **2.4.1 Regimes de irrigação na produção agrícola**

A região Sul do país apresenta com frequência uma distribuição irregular das chuvas, sobretudo no período de primavera-verão, afetando assim a produção de grãos (SINCIK, 2008). A

agricultura irrigada em regiões subúmidas e úmidas, como no caso do RS, se dá de maneira suplementar, ou seja, aplicada de forma complementar à chuva nos períodos de estiagens, para que a produção se mantenha estabilizada (FERERES & SORIANO, 2007).

Tanto em regiões subúmidas como secas existe o risco de escassez hídrica, aliado a isso, mudanças climáticas globais associadas às pressões de setores não agrícolas têm sujeitado o uso da água na agricultura a mais limitações (ISLAN et al., 2012; JIANG et al., 2016). Nesse sentido, se faz necessário uma gestão eficiente do uso da água em áreas agrícolas, uma vez que a agricultura desempenha um papel fundamental na economia e na produção de alimentos (FAO, 2011).

A irrigação deficitária é uma estratégia de manejo utilizada para otimizar o uso da água de irrigação. Esta visa repor apenas parte da água que seria utilizada pela cultura em situações sem limitações hídricas, levando-se também em consideração a dinâmica do uso da água ao longo do crescimento e desenvolvimento das plantas (HOWELL et al., 2007; VADEZ et al., 2013). O objetivo com essa prática é elevar a produtividade da água a partir da aplicação de uma menor quantidade de água e/ou menor número de irrigações, no entanto, sem comprometer a produtividade das culturas, mantendo assim uma produção economicamente viável e sustentável (PEREIRA et al., 2012).

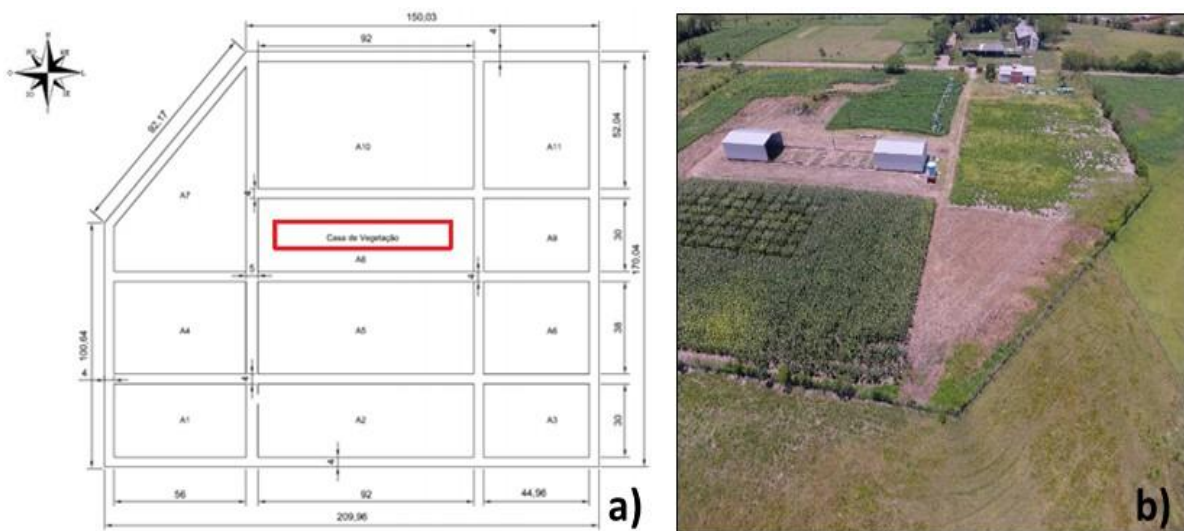
A irrigação deficitária deve ser avaliada sob o viés em conjunto de dois componentes, o de tentar reduzir as perdas de água por evaporação do solo nas fases iniciais do ciclo da cultura e o de realizar irrigações apenas em períodos críticos de crescimento e desenvolvimento das plantas, ou seja, aqueles que determinam seu rendimento potencial (BELL et al., 2018). Portanto, a irrigação deficitária é um conceito que pode ser aplicado na prática, mas que estudos científicos devem ser levados em consideração, pois para se restringir a irrigação em fases onde há maior resistência dos cultivos e não comprometendo sua produção, devem ser levados em conta princípios básicos de conservação de recursos hídricos, conhecimentos sobre a cultura, a relação solo-planta-atmosfera e também sobre o manejo da irrigação (FERERES & SORIANO, 2007). Sendo um desafio para a agricultura irrigada aumentar a produtividade limitando o uso da água, a associação da prática de irrigação deficitária com práticas conservacionistas do solo podem ser promissoras para atingir esse objetivo (TOPAK et al., 2016; IGBADUN et al., 2012).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em diferentes épocas e com metodologias distintas, em área experimental do Sistema Irriga, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS. A área está localizada nas coordenadas geográficas de Latitude 29° 43'40" S, Longitude 53° 43' 11" O e altitude média de 100 m. Os experimentos foram realizados nos anos agrícolas de 2017/18 (ESTUDO I) e 2018/19 (ESTUDO II), ambos caracterizados a seguir.

Ambos os estudos foram conduzidos no interior de uma cobertura móvel, tipo “Rainout Shelter” (Figura 2), que permite um completo controle sobre a entrada de precipitações pluviais e irrigações nos experimentos.

Figura 2 – Imagem aérea e croqui da área experimental do Sistema Irriga.



a) Área experimental dividida em sub-regiões, na parte central da área (destacada em vermelho), localiza-se a estrutura móvel tipo Rainout Shelter. b) Imagem aérea registrada por drone em janeiro de 2018.

O clima da região é do tipo subtropical úmido, sem estação seca definida e com verões quentes (Cfa), conforme a classificação climática de Köppen (KOTTEK et al., 2006), onde a temperatura média nos meses mais frios variam entre -3 e 18 °C e as temperaturas médias dos meses mais quentes são superiores a 22 °C. A precipitação pluvial anual oscila entre as diferentes regiões do Estado, com a média dos últimos 30 anos de aproximadamente 1.796 mm/ano. Apesar

da relativa regularidade ao longo do ano, a ocorrência de alta variabilidade espacial e de distribuição principalmente nos meses de verão é normal, podendo ocasionar deficiência hídrica nas culturas e perda de produtividade. Na tabela 1, são apresentados os valores de normais climatológicas para o município de Santa Maria – RS num período de 30 anos consecutivos.

Tabela 1 - Padrões climatológicos normais para o município de Santa Maria (RS) no período consecutivo entre 1981 e 2010.

Meses	Precipitação Acumulada (mm)	Umidade Relativa (%)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Insolação (horas)	Vel.do Vento (m s <sup>-1</sup> )	<sup>1</sup> ET <sub>o</sub> (mm)
Jan	166.3	72.3	30.9	19.8	244.3	2.3	194.8
Fev	139.6	76.8	29.9	19.4	199.8	2.1	153.8
Mar	127.7	78.5	29.1	18.5	210.3	2.0	149.6
Abr	170.1	81.3	25.7	15.0	175.2	2.0	118.8
Mai	154.4	83.3	22.0	12.0	154.1	1.9	97.3
Jun	149.1	83.7	19.7	10.3	121.8	2.1	88.4
Jul	159.0	81.8	19.0	9.4	136.6	2.2	96.3
Ago	111.2	78.9	21.4	10.5	154.0	2.3	122.2
Set	158.5	78.5	22.1	11.9	158.1	2.4	115.0
Out	173.3	76.3	25.2	14.8	180.5	2.4	143.2
Nov	132.7	70.6	27.8	16.4	219.2	2.4	162.1
Dez	154.3	68.7	30.3	18.6	250.0	2.3	194.4
Soma	1796.2	—	—	—	2203.9	—	—
Média	149.7	77.6	25.3	14.7	—	2.2	136.3

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). <sup>1</sup> Evapotranspiração de referência.

O solo do local está classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (STRECK et al., 2008). Normalmente esses solos apresentam um perfil profundo a muito profundo, variando de bem drenados a imperfeitamente drenados, possuindo um horizonte diagnóstico do tipo B textural (Bt), com um horizonte B significativamente mais argiloso do que o horizonte A. A distribuição do tamanho de partículas e a classe textural do solo da área experimental foi realizada no laboratório de análises físico-hídricas do Sistema Irriga, utilizando-se o método do densímetro (TEIXEIRA et al., 2017).

A caracterização físico-hídrica do solo foi determinada a partir de uma amostragem realizada em anéis volumétricos (indeformadas) e também em sacos plásticos (deformadas), em diferentes camadas. A camada correspondente a classe franco argilosa foi identificada em três profundidades (0-10, 10-25 e 25-55 cm) e a última camada avaliada (55-85 cm de profundidade) corresponde a classe argilosa (Tabela 2).

A partir dessa mesma amostragem foram determinadas as demais propriedades físicas e hídricas do solo. Foram realizadas análises de densidade do solo ( $D_s$ ) e de partículas ( $D_p$ ), e limites de disponibilidade de água no solo, capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) (Tabela 1). O PMP foi determinado a partir da curva de retenção de água (CRA), através do conteúdo de água medido no potencial de -1.5 Mpa em amostras deformadas, sendo este potencial estimado pelo psicrômetro de ponto de orvalho (Dewpoint Potential Meter - WP4-T).

A CC ou limite superior de disponibilidade de água (LS) foi determinada em nível de campo. Para isso, foi realizada uma irrigação dentro da área experimental que saturou por completo o perfil do solo, verificando-se o conteúdo de água após 24 horas, através de sensores de umidade, que estão instalados nas mesmas profundidades de amostragem do solo (PETRY et al., 2020; BÁEZ et al., 2020). Este valor de CC foi utilizado para fins de manejo de irrigação, assim como, os valores de PMP estimados pelo WP4. A  $D_s$  foi determinada pelo método do anel volumétrico Embrapa (1997) e a  $D_p$  pelo método do balão volumétrico modificado por Gubiani et al. (2006). Os valores obtidos dessas determinações estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros físicos-hídricos do solo da área experimental onde foram conduzidos os estudos (Departamento de Engenharia Rural – UFSM).

Prof. (cm)	$D_s$	$D_p$	Textura do solo (%)			<sup>1</sup> Classe Textural	Limites de umidade		
			Areia	Silte	Argila		$\theta_{PMP}$	$\theta_{CC}$	<sup>2</sup> TAW
	(g cm <sup>-3</sup> )					(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		(mm)	
0 – 10	1.35	2.54	35.00	37.00	21.00	Franco	0.100	0.270	17
10 – 25	1.25	2.59	36.00	44.00	22.00	Franco	0.100	0.280	27

25 – 55	1.13	2.61	33.00	45.00	22.00	Franco	0.120	0.310	57
55 – 85	1.29	2.65	23.00	35.00	44.00	Argila	0.190	0.400	60

Ds: Densidade do solo; Dp: Densidade de partículas; CC: Umidade do solo na capacidade de campo, determinado em nível de campo. PMP: Umidade do solo no ponto de murcha permanente. <sup>1</sup>Baseada no diagrama textural do sistema Norte Americano de classificação (USDA), adotado pela sociedade brasileira de ciência do solo (SBCS). <sup>2</sup>TAW: total de água disponível na camada, calculado pela seguinte equação:  $TAW = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \cdot Z_r$ , onde  $Z_r$  é a espessura da camada explorada pelas raízes, em mm.

### 3.1 ESTUDO I – DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO E NOS RESÍDUOS CULTURAIS EM ÁREA IRRIGADA DE SOJA

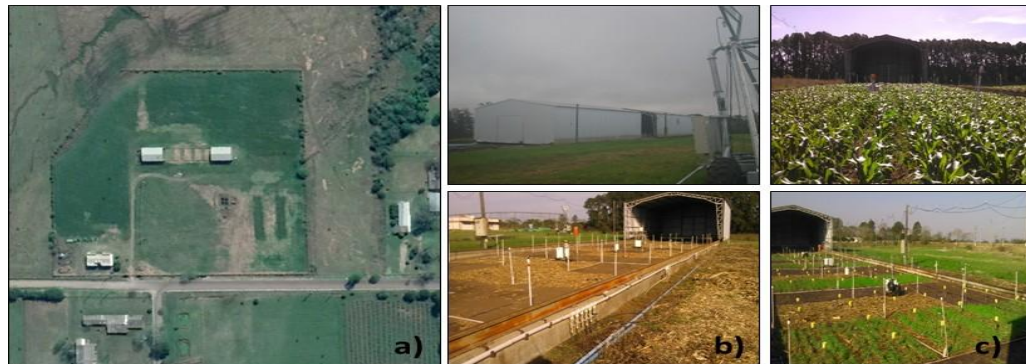
#### 3.1.1 Caracterização do experimento

O estudo I foi composto por um experimento conduzido no ano agrícola de 2017/18, com a cultura da soja (*Glycine max*), realizado no interior de uma cobertura móvel, tipo “Rainout Shelter”, em área experimental do Sistema Irriga.

A estrutura contém duas coberturas de zinco, com dimensões de 16 x 10 metros de cada lado ocupando uma área total de 740 m<sup>2</sup> (74 x 10 m) quando abertas, fixadas sobre trilhos, e tendo acionamento mecânico. Na figura 3 são apresentados detalhes da área experimental e da cobertura móvel. As unidades experimentais estão situadas no interior dessa estrutura e compreendem uma área útil de 297 m<sup>2</sup> (33 x 9 metros). O uso desta estrutura possibilita o controle das entradas de água via precipitação pluvial, facilitando o processo de análise de retenção de água nas unidades experimentais. Também é possível evitar a entrada de chuvas torrenciais que possam descaracterizar as parcelas experimentais, mantendo o estudo com as características das condições de campo e, ao mesmo tempo, protegido de intempéries.



Figura 3 - Detalhe da estrutura móvel (“Rainout Shelter”) e da distribuição das parcelas experimentais no estudo I.



a) Imagem de satélite da área experimental do Sistema Irriga, no centro a estrutura móvel tipo “Rainout Shelter” com lados abertos (fonte: Google Earth); b) detalhes da estrutura fechada e aberta; c) cultivos de milho e trigo no interior da estrutura (fonte: Arquivo pessoal).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), bifatorial, com quatro repetições. Os tratamentos foram integrados por um fator (A), constituído de dois níveis de palha depositada em superfície (50 e 100% do total produzido por cultivos antecedentes) e solo sem cobertura e, o fator (B), representado pela presença e ausência de plantas de soja. Cada unidade experimental apresenta uma área de 9 m<sup>2</sup> (3 x 3 m).

A quantidade de palha distribuída nas parcelas experimentais foi determinada em função de cultivos realizados anteriormente, em estudos paralelos, no mesmo local do presente experimento (Figura 4). No inverno de 2017, foi cultivado trigo, onde já havia a distribuição de palha de milho nas proporções de 5 e 10 t ha<sup>-1</sup> respectivamente nas parcelas que iriam compor, no presente estudo, 50 e 100% de resíduos. Na ocasião da colheita, o trigo produziu aproximadamente 4 t ha<sup>-1</sup> de palha. Antecedendo a implantação do experimento, foi contabilizada a palha remanescente de milho que havia nas parcelas, e adicionada a quantidade de palha de trigo correspondente para cada tratamento.

A palha remanescente de milho foi quantificada em 5.5 e 3 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente nas parcelas com 100 e 50% de palha. Desta forma, o fator A dos tratamentos ficou assim constituído: 3 t ha<sup>-1</sup> de resíduos remanescentes de milho acrescidos de 2 t ha<sup>-1</sup> de resíduos de trigo (nos tratamentos com 50% de palha) e 5.5 t ha<sup>-1</sup> de resíduos remanescentes de milho acrescidos de 4 t ha<sup>-1</sup> de resíduos de trigo (nos tratamentos com 100% de palha) e solo desnudo. Totalizando assim, 5 e 9.5 t ha<sup>-1</sup> de resíduos, respectivamente nos tratamentos com 50 e 100% de palha.

Figura 4 - Sequência de atividades realizadas antes da implantação do experimento.



a) cultivo do milho anterior ao presente estudo; b) secagem e armazenamento dos restos culturais; c) pesagem dos resíduos; d, e) distribuição dos restos culturais nas parcelas experimentais.

### 3.1.2 Implantação da cultura e manejo da irrigação

O experimento foi conduzido no período de dezembro de 2017 a maio de 2018, totalizando 137 dias de ciclo. A semeadura da soja, cultivar Brasmax PONTA IPRO, de ciclo médio, ocorreu no dia 16 de dezembro de 2017, em linha e de forma manual, com espaçamento de 0.50 x 0.10 m e uma população de plantas de aproximadamente 200.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

A adubação da cultura foi realizada com base em análise química do solo, seguindo as recomendações do manual de química e fertilidade do solo do RS/SC (CQFS – RS/SC, 2016), aplicando-se 45 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 75 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, o controle fitossanitário de pragas e doenças foi realizado de maneira preventiva com a aplicação de defensivos indicados para a cultura.

O sistema de irrigação implantado foi o de microaspersão, com aspersores tipo bailarina, marca Tietze, bocal de cor vermelha (0,8 mm) e espaçados de 3 x 3m, com pressão de serviço de 2 bars e uma taxa de aplicação de aproximadamente 7.5 mm h<sup>-1</sup>. O critério utilizado para se proceder as irrigações foi baseado no FAO-56 (ALLEN et al., 1998), estabelecendo-se como gatilho para o início das irrigações quando a umidade do solo atingia um valor de 70% do total de água disponível (TAW). Na fase inicial de desenvolvimento da cultura foi observada a camada de 0-10 cm para se contabilizar o TAW, evoluindo gradativamente até a camada de 0-85 cm, de acordo com o desenvolvimento e crescimento das plantas.

Para isso foram utilizados como parâmetros as diferentes fases de desenvolvimento da cultura, baseado no FAO-56. Assim, a camada de 0-10 cm foi considerada até 15 dias após a semeadura (DAS), a camada de 0-25 cm entre 15 e 30 DAS, a camada de 0-55 cm na fase entre 30 e 70

DAS e a partir de 70 DAS a camada de 0-85 cm. Nos primeiros eventos de irrigações foram realizados testes de coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC (CHRISTIANSEN, 1942) para se obter o percentual de uniformidade da lâmina aplicada, estes obtiveram valores médios de 88%.

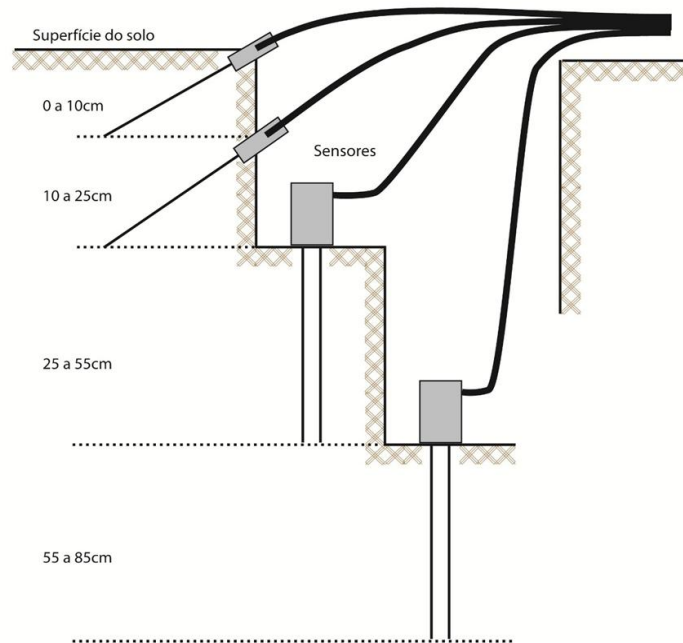
### **3.1.3 Obtenção de dados meteorológicos**

Os dados meteorológicos, obtidos diariamente durante o cultivo, foram oriundos de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada a cerca de 300 metros do local do experimento. A partir desses dados foi estimada a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) diária usando a equação padronizada pela FAO de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Para o procedimento de cálculo foram utilizados dados de altitude (m) e coordenadas geográficas (° ') da estação, temperatura máxima e mínima do ar (°C), umidade relativa do ar máxima e mínima (%), pressão do ar (kPa), radiação solar (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>).

### **3.1.4 Determinação do conteúdo de água no solo**

O conteúdo volumétrico de água no solo foi determinado através de sensores de umidade de reflectometria no domínio de frequência (FDR), modelo CS616 Campbell Scientific (Campbell Sci.Co., Logan, UT, USA). Em cada parcela encontram-se instalados quatro sensores, nas camadas de 0-10, 10-25, 25-55 e 55-85 cm de profundidade, a disposição e angulação de instalação destes está representada na figura 5. Os detalhes da instalação e princípio de funcionamento dos sensores foram descritos em Martins (2010) e Knies (2010). Todos os sensores estão conectados a multiplexadores (AM16/32) e estes a um datalogger CR-1000 (Campbell Scientific), onde as informações são armazenadas. O datalogger foi configurado para armazenar leituras de umidade a cada 15 minutos, correspondendo a 96 valores diários por sensor.

Figura 5 - Disposição, profundidade e angulação de instalação dos sensores de umidade do solo (FDR), em cada parcela experimental.



O conteúdo de água disponível no solo (ASW) foi calculado a partir da umidade volumétrica determinada em cada camada pelos sensores, subtraída da umidade volumétrica determinada no PMP e multiplicado pela espessura da camada, em mm. A umidade volumétrica diária ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) de cada camada de solo foi considerada como sendo a verificada pelos sensores às 23 horas de cada dia. O TAW para todo o perfil (0-85 cm) foi considerado como o somatório do TAW em cada camada avaliada (tabela 2), totalizando 161 mm.

### 3.1.5 Determinação das perdas de água do solo

As perdas de água foram determinadas realizando-se o balanço hídrico do solo (BH) a partir da equação 3. Foram consideradas como entradas de água as irrigações (I) ou precipitações (P) e os componentes de escoamento superficial (RO), percolação profunda (DP), ascensão capilar (C) e fluxo subsuperficial de água (SF) foram, no caso deste estudo, desconsiderados. Assim, o BH foi determinado pela variação no armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ) calculada a partir dos dados de umidade volumétrica registrados diariamente pelos sensores FDR.

$$BH = I + P - RO - DP + C \pm \Delta SF \pm \Delta A \quad (3)$$

As perdas de água do solo foram determinadas durante diferentes ciclos de secagem ao longo do ciclo, ou seja, entre eventos de umedecimento (chuva ou irrigação). Tais perdas foram assumidas como sendo a evaporação direta da água do solo (E), nas parcelas sem a presença de plantas, e por E e transpiração das plantas (T) naquelas parcelas com a presença de plantas. Para o cálculo das perdas diárias de água durante os ciclos de secagem foi considerada a camada evaporável de 0-10 cm. O total de água evaporável (TEW) foi considerado como 22 mm, calculado a partir da equação 4 (ALLEN et al., 2005).

$$TEW = (\theta_{CC} - 0.5 \theta_{PMP}) Ze \quad (4)$$

Onde  $\theta_{CC}$  é o conteúdo de água na capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_{PMP}$  o conteúdo de água no ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e  $Ze$  é a profundidade da camada evaporável (0-100 mm).

A evaporação direta da água da camada evaporável do solo (0-10 cm) também foi determinada através do uso de microlisímetros (ML) construídos em canos de PVC rígido, com 100 mm de diâmetro e altura, metodologia adaptada de Rocha et al. (2018). Os ML foram preenchidos com solo de local adjacente às parcelas experimentais, de forma que fosse preservada a estrutura da camada de solo. Também foi distribuído a palha de maneira proporcional àquelas parcelas que continham resíduos culturais. A parte inferior foi fechada com nylon de malha fina, para não haver perda de solo e permitir a drenagem da água, depois esta foi fechada com um tampão de PVC de 150 mm. Os ML foram instalados nas parcelas experimentais, de forma que a borda superior ficasse em nível com a superfície do solo (Figura 6). Nos tratamentos com cultivo de plantas procurou-se manter os microlisímetros no centro das entrelinhas.

As pesagens dos ML foram realizadas antes das irrigações e durante o primeiro dia de secagem, verificando assim o processo de E da água após o umedecimento do solo, no primeiro dia de secagem (figura 5). A  $E_s$  foi obtida pela variação de massa do ML. Através da equação 5 realizou-se a conversão da massa em gramas para a lâmina evaporada em mm, considerando o raio (r) do ML igual a 0.05 m.

$$Es (mm) = 0.001 \left( \frac{\Delta ML}{\pi r^2} \right) \quad (5)$$

Onde  $\Delta ML$  é a variação de massa do ML no primeiro dia de secagem do solo.

Figura 6 - Microlisímetros construídos para determinação da evaporação da água do solo.



a) Pesagem dos ML em balança de precisão; b) ML instalados no experimento, nas parcelas sem a presença de plantas e resíduos. Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.1.6 Retenção de água pelos resíduos culturais

Com o intuito de avaliar a dinâmica da retenção de água pelos resíduos culturais em função do crescimento e desenvolvimento do dossel de plantas foi realizada a quantificação da água, oriunda das irrigações, nas parcelas mantidas com 100 e 50% de palha. Para isso, foram realizadas pesagens dos resíduos ao longo de todo o ciclo da cultura, de acordo com as necessidades de irrigações, conforme metodologia detalhada a seguir.

Para se proceder as avaliações de retenção foram construídos recipientes com canos de PVC rígido de 150 mm de diâmetro e fechados em uma extremidade com malha de nylon, para manter o contato dos resíduos com o solo e reproduzir uma condição natural de campo. Nesses recipientes foram acondicionadas as quantidades de resíduos proporcionais a cada tratamento, 5 e 9.5 t ha<sup>-1</sup> de resíduos de milho e trigo, respectivamente nas parcelas com 50 e 100% de palha. Nas parcelas com o cultivo de plantas os recipientes foram distribuídos no centro das entrelinhas (Figura 7).

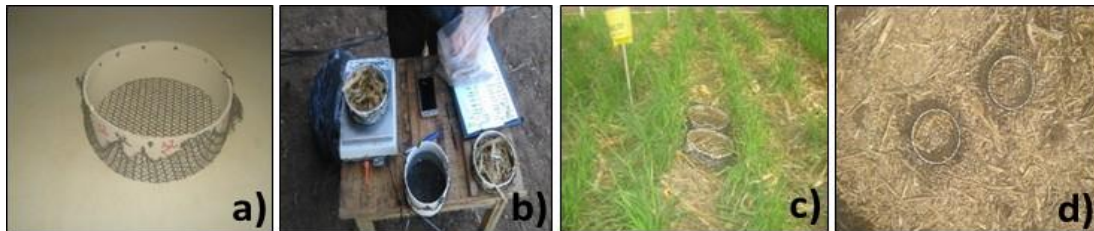
Para estimar a quantidade de água retida nos resíduos culturais estes recipientes foram pesados em balança de precisão antes e após as irrigações e, sempre após as pesagens, eram devolvidos às suas posições originais nas parcelas. A massa de água retida nos resíduos culturais foi obtida a partir da equação 6, sendo que a massa determinada em gramas foi convertida em lâmina (mm) partindo do pressuposto de que cada  $\text{cm}^3$  de água possui uma massa de 1 grama à temperatura de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

$$W_{\text{resíduo (mm)}} = 0.001 \left( \frac{M_a - M_d}{A} \right) \quad (6)$$

Onde:  $W_{\text{resíduo}}$  é a quantidade de água retida nos resíduos;  $M_a$  é massa dos resíduos antes da irrigação;  $M_d$  a massa dos resíduos após a irrigação e  $A$  a área do recipiente contendo resíduos, em cm.

As irrigações foram realizadas sempre ao final da tarde, após o pôr do sol. Desta forma, o valor da pesagem realizada no início da manhã do dia seguinte foi utilizado como base para se calcular a retenção de água na palha, ou seja, como o valor de  $M_d$ , uma vez que a água livre era drenada e a evaporação da água retida desconsiderada, devido as pesagens serem realizadas num período sem a interferência da radiação solar.

Figura 7 - Recipientes construídos para avaliação da retenção de água nos resíduos culturais em nível de campo.



a) Recipiente vazio; b) pesagem correspondente a quantidade de palha em cada tratamento; c) disposição dos recipientes nas parcelas experimentais com plantas; d) disposição dos recipientes nas parcelas experimentais sem plantas.

### 3.1.7 Crescimento, desenvolvimento das plantas e componentes de produtividade

Durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura foi realizado, em intervalos semanais, determinações morfológicas de área foliar e altura das plantas. Para isso, foram selecionadas e marcadas duas plantas, na linha central de cada unidade experimental, semelhantes e que eram representativas de cada tratamento. A altura de plantas foi medida com auxílio de régua graduada e tendo como base a superfície do solo até o nó do último trifólio expandido na haste principal.

O índice de área foliar das plantas (IAF) foi determinado pela relação entre o somatório das áreas individuais de folhas (AF) fotossinteticamente ativas (folhas verdes e sadias) e a área de superfície de solo ocupada pela planta. Para a determinação da AF foi utilizada uma medição indireta e não destrutiva das plantas, conforme metodologia descrita por Richter et al. (2014), a partir da equação 7, onde C e L são respectivamente comprimento e largura do folíolo central de cada trifólio, estas medidas foram contabilizadas em todas as folhas da haste principal e também das ramificações de cada planta (AF total da planta). Também se realizou avaliações da escala fenológica (data de ocorrência) das plantas de acordo com a metodologia de descrição dos estádios proposta por Fehr & Caviness (1977).

$$AF = 2.0185 (C.L) \quad (7)$$

Ao final do ciclo, quando as plantas atingiram a maturidade fisiológica (estádio R9), procedeu-se a colheita de forma manual. A colheita foi realizada em uma área útil de 4m<sup>2</sup> em cada parcela experimental, excluindo-se as plantas das linhas de bordaduras. A partir daí foram determinados os seguintes parâmetros de produtividade: produtividade de grãos, obtido após o material ser trilhado e pesado em balança de precisão, sendo os valores de massa corrigidos para 13% de umidade e calculado em (kg ha<sup>-1</sup>); peso de mil sementes, calculado em (g planta<sup>-1</sup>) também após a correção da umidade e, número de vagens por planta.

### 3.1.8 Análise estatística

A análise estatística dos dados obtidos foi realizada através de análise de variância e teste F ( $p < 0.05$ ), e quando significativo foi realizado a comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Para tal análise foi utilizado o auxílio do software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).



## 3.2 ESTUDO II – DINÂMICA DA ÁGUA, RENDIMENTO E QUALIDADE DE ÓLEO DE GIRASSOL SUBMETIDO A DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO E COBERTURA DO SOLO.

### 3.2.1 Caracterização da área experimental

O estudo II foi conduzido na mesma área experimental descrita no estudo I, desta forma, com as mesmas características climáticas e físico hídricas do solo. Após a colheita da soja, no estudo I, os restos culturais foram coletados, armazenados em big bags e acondicionados em local livre de umidade. O total de palha produzido pela soja e posteriormente distribuído nas parcelas experimentais, de forma manual, foi de aproximadamente 6 t ha<sup>-1</sup>. Até a implantação do presente experimento com a cultura do girassol, o solo foi mantido sem cultivo.

### 3.2.2 Caracterização do Experimento

O presente estudo foi conduzido no ano agrícola 2018/19, no interior de uma cobertura móvel tipo Rainout Shelter, descrita no estudo I. A utilização dessa estrutura facilita a condução do estudo uma vez que pode ser fechada em dias chuvosos, possibilitando assim o controle total da entrada de água dentro das parcelas experimentais.

Anterior a implantação do experimento foi realizada coleta do solo, na profundidade de 0-10 cm, para se proceder análise química e ter como base para adubação da cultura do girassol, os resultados da referida análise foram os seguintes: pH (água 1:1): 6.0; Ca (cmolc dm<sup>3</sup>): 86.3; Mg (cmolc dm<sup>3</sup>): 3.8; Al (cmolc dm<sup>3</sup>): 0; H+Al (cmolc dm<sup>3</sup>): 2.0; Saturação Al (%): 0; Saturação bases (%): 79.4; Índice SMP: 6.7; Matéria orgânica (%): 3.1; Fósforo (mg dm<sup>3</sup>): 37.0; Potássio (mg dm<sup>3</sup>): 152; Cobre (mg dm<sup>3</sup>): 1.14; Zinco (mg dm<sup>3</sup>): 2.4; Boro (mg dm<sup>3</sup>): 0.6.

O período de condução do experimento foi de 11 de outubro de 2018 a 06 de fevereiro de 2019, totalizando 118 dias (total de dias do ciclo da cultura do girassol). A variedade de girassol utilizada foi o Híbrido M-734 de dupla aptidão, extração de óleo e alimentação animal. A semeadura foi realizada de forma manual no dia 11 de outubro de 2018, com espaçamento entrelinhas de 0.5 m e densidade de plantas de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>, e logo após a emergência das plantas foi distribuído a palha da soja nas parcelas experimentais.

A fertilização do solo para a adubação da cultura foi realizada a partir da análise química e de acordo com recomendações do manual da comissão de química e fertilidade do solo RS/SC, para isso, foi utilizado adubo com formulação 5:20:20 (NPK), aplicando-se 350 kg ha<sup>-1</sup> a lanço. A adubação nitrogenada de cobertura foi parcelada em duas aplicações, 1/3 no plantio e o restante 35 dias após a emergência, utilizando uréia, não foi realizada a aplicação de boro em cobertura. Durante o cultivo não houve necessidade do controle químico de pragas e doenças, pois não se observou sintomas de doenças e nem ataque de pragas que justificassem o uso de defensivos, o controle de ervas daninhas foi realizado por capinas manuais.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), bifatorial, com três repetições, sendo o fator A composto por diferentes regimes de irrigação deficitária e o fator B composto pela presença e ausência de resíduos culturais, sendo as unidades experimentais de 9 m<sup>2</sup> (3 x 3m). Os restos culturais utilizados neste estudo foi oriundo da cultura da soja, cultivada na safra 2017/18 na mesma área experimental, o total de resíduos distribuídos nas parcelas experimentais foi de aproximadamente 6 t ha<sup>-1</sup>.

Foram testados quatro tratamentos com diferentes regimes de irrigação deficitária que foram baseados no percentual do total de água disponível no solo (TAW), ou seja, as irrigações eram realizadas sempre que o TAW atingisse o percentual pré-definido para cada tratamento, estes foram definidos em: (T<sub>80</sub>) 80% do TAW; (T<sub>70</sub>) 70% do TAW; (T<sub>60</sub>) 60% do TAW e; (T<sub>50</sub>) 50% do TAW. O TAW foi determinado a partir da equação 8:

$$\text{TAW (mm)} = (\theta_{\text{CC}} - \theta_{\text{PMP}}) Z_r \quad (8)$$

Onde  $\theta_{\text{CC}}$  é o conteúdo volumétrico de água determinado na capacidade de campo,  $\theta_{\text{PMP}}$  é o conteúdo volumétrico determinado no ponto de murcha permanente e  $Z_r$  é a profundidade da camada de solo considerada.

Buscou-se aplicar uma lâmina bruta fixa de aproximadamente 15 mm quando era necessário a realização de irrigações, sendo o TAW calculado de acordo com o crescimento da cultura. Considerou-se a camada de 0-10 cm no período inicial (até 25 DAS), de 25-55 cm no período de desenvolvimento (de 25 a 55 DAS) e de 55-85 cm após os 55 DAS, de acordo com o período estabelecido para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura (ALLEN et al., 1998).

O sistema de irrigação implantado foi o de microaspersão, com aspersores tipo bailarina, marca Tietze, bocal de cor vermelha (0,8mm) e espaçados de 3 x 3m, com pressão de serviço de 2 bars e uma taxa de aplicação de aproximadamente 7.5 mm h<sup>-1</sup>. Até os 24 dias após a semeadura (DAS) foram realizadas irrigações de forma igualitária em todos os tratamentos, para que houvesse um uniforme estabelecimento inicial das plantas, após esse período iniciou-se a aplicação dos diferentes tratamentos. Durante os primeiros eventos de irrigações foi realizado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC - CHRISTIANSEN, 1942) para se verificar a uniformidade e a real lâmina aplicada. As lâminas foram aplicadas em função do tempo de funcionamento do sistema e da taxa de aplicação, assim, em cada evento de irrigação o sistema era ligado durante duas horas. O número de eventos de irrigação e as datas de aplicações estão apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Datas das irrigações e lâminas brutas aplicadas (mm) após a implementação dos diferentes níveis de irrigação deficitária durante o desenvolvimento da cultura do girassol, nos respectivos tratamentos.

<b>T80</b>			<b>T70</b>			<b>T60</b>			<b>T50</b>		
<i>D</i>	<i>Datas</i>	<i>*Lâmina (mm)</i>	<i>D</i>	<i>Datas</i>	<i>*Lâmina (mm)</i>	<i>D</i>	<i>Datas</i>	<i>*Lâmina (mm)</i>	<i>D</i>	<i>Datas</i>	<i>*Lâmina (mm)</i>
<i>A</i>			<i>A</i>			<i>A</i>			<i>A</i>		
<i>S</i>			<i>S</i>			<i>S</i>			<i>S</i>		
<b>25</b>	05/11/18	15	<b>32</b>	12/11/18	15	<b>36</b>	16/11/18	15	<b>36</b>	16/11/18	15
<b>32</b>	12/11/18	15	<b>36</b>	16/11/18	15	<b>42</b>	22/11/18	15	<b>61</b>	11/12/18	15
<b>36</b>	16/11/18	15	<b>40</b>	20/11/18	15	<b>58</b>	08/12/18	15	<b>63</b>	13/12/18	15
<b>40</b>	20/11/18	15	<b>42</b>	22/11/18	15	<b>61</b>	11/12/18	15	<b>69</b>	19/12/18	15
<b>42</b>	22/11/18	15	<b>57</b>	07/12/18	15	<b>63</b>	13/12/18	15			
<b>56</b>	06/12/18	15	<b>58</b>	08/12/18	15	<b>69</b>	19/12/18	15			
<b>57</b>	07/12/18	15	<b>61</b>	11/12/18	15	<b>86</b>	05/01/19	15			
<b>58</b>	08/12/18	15	<b>64</b>	14/12/18	15						
<b>61</b>	11/12/18	15	<b>69</b>	19/12/18	15						
<b>64</b>	14/12/18	15	<b>86</b>	05/01/19	15						
<b>67</b>	17/12/18	15									
<b>69</b>	19/12/18	15									
<b>78</b>	28/12/18	15									
<b>86</b>	05/01/19	15									
<b>89</b>	08/01/19	15									
<b>TOTAL</b>											
<b>(mm)</b>		225			150			105			60

DAS: dias após a semeadura. Até os 24 DAS foram aplicadas lâminas de irrigação em todos os tratamentos de forma igualitária para o estabelecimento inicial das plantas. \* Lâmina bruta calculada em função do tempo que o sistema permaneceu ligado e da taxa de aplicação.

### 3.2.3 Variáveis observadas

Os dados meteorológicos obtidos durante o período de condução do experimento foram oriundos de uma estação automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada próximo a área experimental. A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada a partir da equação de método de Penman-Monteith, parametrizada como padrão pelo boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998).

O conteúdo de água no solo durante todo o período de desenvolvimento da cultura foi realizado através de sensores FDR (Frequency Domain Reflectometer - modelo CS616), estes foram programados para registrarem dados de umidade volumétrica (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>), em escala horária, para um datalogger CR1000 (Campbell Scientific Inc.), armazenando assim, 24 valores diários por sensor. Em cada unidade experimental encontram-se instalados 4 sensores, nas camadas de 0 - 0.10; 0.10 – 0.25; 0.25 – 0.55 e 0.55 a 0.85 m.

Aos 18 DAS, quando as plantas se encontravam em estágio V1, foram selecionadas duas plantas por parcela, que fossem uniformes e representativas, para a determinação da altura e área foliar das plantas, tais avaliações foram realizadas em intervalos semanais. A altura de plantas foi medida com o auxílio de trena, a partir do nível do solo, e a partir das medidas da largura máxima de todas as folhas fotossinteticamente ativas foi determinado a área foliar das plantas, conforme modelo proposto por Maldaner et al. (2009), de acordo com a equação 9:

$$AF = 1,7582 L^{1,7067} \quad (9)$$

Onde AF= área foliar (folhas verdes e sadias) e L= largura máxima da folha (cm).

A partir dos dados de AF foi calculado o índice de área foliar (IAF), dividindo-se pela área de solo ocupada pelas plantas. Durante as determinações de altura e AF também foi verificado o diâmetro do colmo, entre o primeiro e o segundo par de folhas, com auxílio de um paquímetro digital. Também se realizou avaliações da escala fenológica (data de ocorrência) das plantas de acordo com o modelo de escala fenológica proposta por Schneiter & Miller (1981).

A produção e a partição de fitomassa foram avaliadas quando as plantas estavam em pleno florescimento (estádio R5.8), sendo coletadas três plantas por parcela. Após a coleta, as

plantas foram particionadas em partes vegetativas (colmo e folhas) e em partes reprodutivas (capítulos). Na sequência, as amostras foram armazenadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa de circulação forçada com temperatura mantida em 60°C até atingirem peso constante de matéria seca. Após a secagem, as amostras foram pesadas em balança de precisão e seguiram para o laboratório de análise de plantas do Departamento de Solos da UFSM, onde foram realizados os procedimentos de análises do acúmulo de macronutrientes (N, P e K) na matéria seca particionada.

Após processadas em moinho tipo Willey, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e, a partir dos extratos obtidos, foram determinados os teores de macronutrientes no tecido vegetal. O nitrogênio foi determinado pelo método Kjeldahl, o fósforo por espectrofotometria e o potássio por fotometria de chama, todos de acordo com metodologia proposta por Tedesco (1995). O estoque de nutrientes acumulados na matéria seca das plantas foi determinado multiplicando-se o teor dos elementos pela matéria seca particionada.

Uma vez que as plantas de girassol atingiram a plena maturação fisiológica (estádio R9 na escala de Schneiter et al. 1981) foram selecionadas plantas nas fileiras centrais de cada unidade experimental (4 m<sup>2</sup>) e determinadas as seguintes variáveis de rendimento: altura de plantas (cm), diâmetro do caule (cm), número de aquênios/grãos por planta, peso do capítulo (g), número de grãos por capítulo, peso de grãos por planta (g) e peso de 1000 grãos, para esse último foi contabilizado uma subamostra da área útil por parcela, posteriormente pesadas em balança de precisão e determinado o grau de umidade das sementes através do medidor de umidade GAC500 XT, e corrigido para 13% de umidade, conforme regras de análise de sementes.

Os dados referentes à produtividade de grãos foram obtidos após a colheita de uma área útil de 4 m<sup>2</sup> em cada unidade experimental, descartando-se 0.5 m de cada extremidade (efeito de bordadura). O material foi trilhado de forma manual e pesado em balança de precisão no laboratório do Sistema Irriga - UFSM. Com os valores de massa obtidos, foi realizada a correção para 13 % de umidade e calculada para kg ha<sup>-1</sup>, para obtenção da produtividade.

Os grãos também foram processados para se proceder análises do teor (%), produtividade (g planta<sup>-1</sup>) e o perfil de ácidos graxos do óleo vegetal. As amostras de sementes foram trituradas e encaminhadas ao núcleo de desenvolvimento em análises laboratoriais (NIDAL) do Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos da UFSM, onde foi realizado o processo de extração e análise do óleo das sementes de girassol. Os lipídios foram extraídos pela proposta de

Bligh e Dyer (1959), com modificações. Após a separação das fases foi realizada a obtenção dos ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME) por meio de uma catálise ácida, descrita por Hatman e Lago (1973). O FAME foi injetado (1 µL) no modo split (30: 1) em um cromatógrafo a gás Varian 3400CX (EUA) e identificado por comparação com o padrão FAME Mix 37 (Supelco, EUA). Os resultados foram expressos em porcentagem da área total dos cromatogramas, considerando os fatores de correção do detector de ionização de chama e conversão do éster em ácido (VISENTAINER, 2012).

### **3.2.4 Análise estatística**

Os dados coletados foram analisados estatisticamente com auxílio do programa estatístico SISVAR, Ferreira (2011), através do qual foi realizada uma análise de variância (Teste F,  $p < 0.05$ ). Quando os resultados foram significativos as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro, para os tratamentos qualitativos (presença e ausência de resíduos culturais) e através de análise de regressão, também a 5% de probabilidade de erro, para os tratamentos quantitativos (níveis de irrigação deficitária). Os coeficientes de determinação ( $r^2$ ) das equações foram obtidos pela razão entre a soma dos quadrados do modelo e a soma dos quadrados dos tratamentos.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 ESTUDO I**

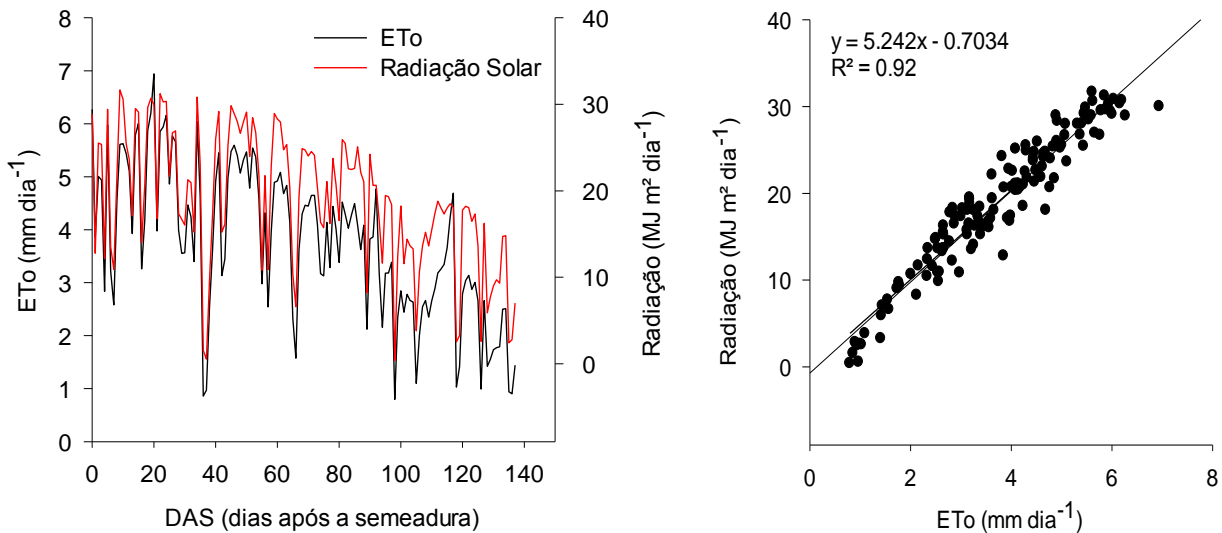
#### **4.1.1 Variáveis meteorológicas ao longo do experimento**

A seguir estão apresentados os valores das principais variáveis climatológicas ocorridas durante o período de condução do experimento, no ciclo da cultura da soja, realizado no período de 16 de dezembro de 2017 a 02 de maio de 2018. Os dados meteorológicos foram extraídos da estação automática do Inmet, localizada a aproximadamente 300 metros do local do experimento.

Na figura 8 encontra-se os dados de radiação solar ( $R_s$ ) e ( $ET_o$ ); a  $R_s$  possui alta relação com a  $ET_o$ , percebendo-se valores elevados para ambos, sobretudo na primeira metade do ciclo. Nos primeiros dias a  $R_s$  atingiu valores superiores a 30 MJ, fazendo com que a  $ET_o$  também se elevasse nesse período, atingindo valores superiores a 6 mm. A  $ET_o$  é um parâmetro que reflete as trocas

de energia e umidade do ambiente, sendo também considerado um indicativo da demanda evaporativa de um local num dado período. Verifica-se no período de cultivo uma alta demanda até os 85 dias após a semeadura; a redução nos dias subsequentes se deve a diminuição gradativa da intensidade da radiação solar.

Figura 8 - Radiação solar (Rs), evapotranspiração de referência (ETo) e a relação Rs/ETo durante o ciclo da cultura da soja (2017/18).



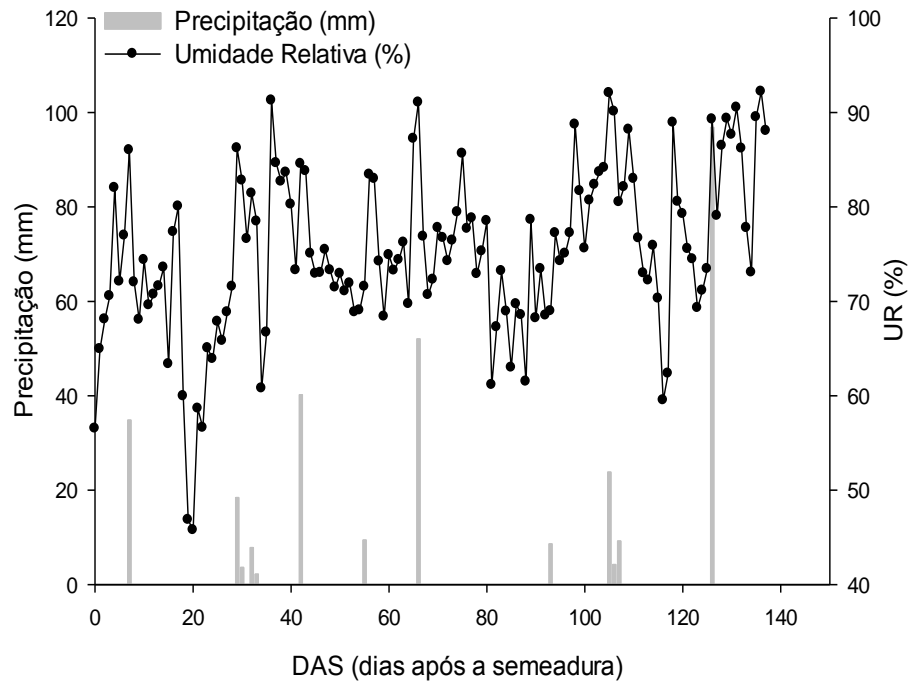
Durante o período de condução da cultura da soja (137 dias), a precipitação pluvial acumulada foi de 708.2 mm, sendo observado dias com elevadas precipitações, como aos 15 e 24 de março e 21 de abril, com registros de 61.4, 59.4 e 96.8 mm, respectivamente. Comparando com as médias de normais climatológicas para o mesmo período (Tabela 1), percebe-se que apenas no mês de março as médias foram superiores, no período de condução do experimento.

A UR apresentou valor médio de 75%, com a UR máxima e UR mínima apresentando valores médios de 78.22 e 71.8%, respectivamente. A variação dos valores de precipitação ocorridos dentro da estrutura móvel e UR durante o período de condução do experimento podem ser observados na figura 9.

Vale salientar que, para se atingir os objetivos do estudo, a demanda hídrica da cultura deveria ter sido suprida apenas pelas irrigações, assim, a cobertura móvel era fechada em dias de chuvas para que não houvesse descaracterização das parcelas ou perdas de plantas. Entretanto, devido a problemas eletromecânicos não foi possível o acionamento da estrutura em alguns eventos de chuvas, apresentados na figura 9. Nesse estudo buscou-se manter a disponibilidade hídrica

adequada para que a cultura expressasse seu potencial de rendimento, seja por chuva ou irrigação, levando-se em consideração que esta variável é a que mais limita a produtividade das plantas.

Figura 9 - Precipitação (mm) e umidade relativa do ar (UR) durante o ciclo da cultura da soja (2017/18).

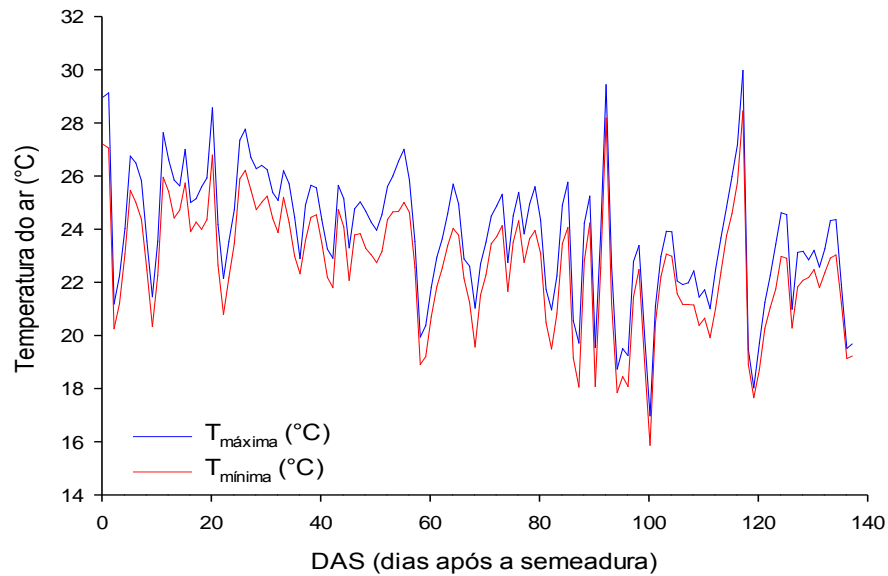


Durante o ciclo de cultivo observou-se uma baixa amplitude da temperatura média do ar entre os valores máximos e mínimos diários, com uma média variando entre 29,2 e 14,8°C durante todo o ciclo da cultura. A temperatura mínima horária verificada foi de 15,9°C e a máxima de 30,1°C, nos dias 26 de março e 12 de abril respectivamente.

Observando os dados da tabela 1, também se verifica que a média das temperaturas não variou em relação às médias normais climatológicas. A figura 10 apresenta as variações de temperaturas média, máxima e mínimas durante o período do experimento.



Figura 10 - Temperatura máxima e mínima do ar (°C) durante o ciclo da cultura da soja (2017/18).



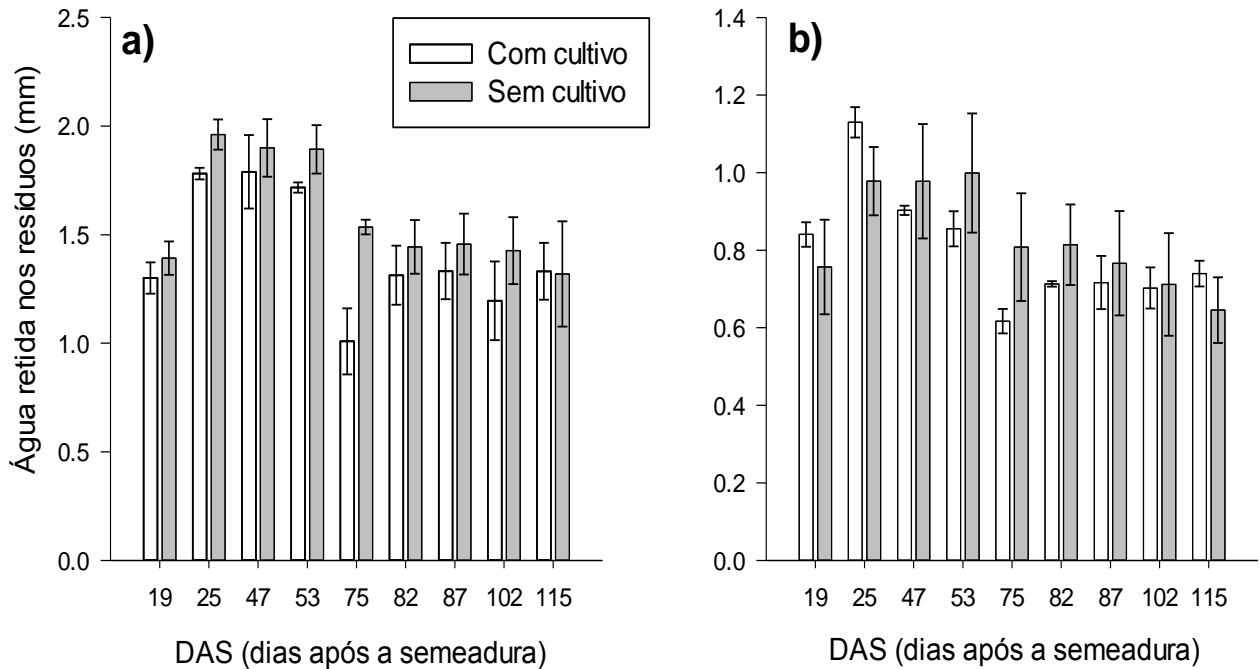
#### 4.1.2 Dinâmica da água no solo e nos resíduos culturais

Analisando a figura 11 verifica-se a quantificação da água retida nos restos culturais de milho remanescente junto ao trigo, nos tratamentos com 100% e 50% de palha, durante as avaliações realizadas durante a condução do experimento. Como já era esperado, em função da maior quantidade de resíduos, em todas as datas de avaliações, o valor médio da água irrigada e retida na palha foi superior nos tratamentos mantidos com 100% de resíduos em comparação aqueles mantidos com 50%. A retenção média de água nos resíduos foi de 1.42 e 1.60 mm durante os eventos de irrigação, nos tratamentos com 100% de palha, respectivamente na presença e ausência do cultivo de plantas. Considerando esses valores médios, a retenção de água aplicada via irrigação, nos tratamentos com 100% de palha, durante todas as avaliações no ciclo da cultura da soja foi o equivalente a 10% do total de água aplicado no período via irrigação (135 mm). Já nos tratamentos mantidos com 50% de palha, essa retenção foi de 5.3% do total aplicado via irrigação.

Nos tratamentos com 100% de palha também se observou que o crescimento do dossel de plantas influenciou no processo de retenção de água pelos resíduos. No início do cultivo (nas avaliações realizadas até os 25 DAS) observou-se uma diferença de 8% na retenção de água ao se comparar as parcelas com e sem a presença do cultivo de plantas. Já nas avaliações compreendidas entre os 47-75 DAS (período observado de maior IAF) essa diferença foi superior a 15%. Nesses

mesmos períodos, as amplitudes dessas diferenças observadas foram menores nos tratamentos mantidos com 50% de resíduos, neste caso, verificou-se 12 e 15%, respectivamente.

Figura 11 - Retenção de água nos resíduos culturais nos tratamentos com e sem cultivo de plantas.



Linhas verticais sobre as barras representam o desvio padrão em relação à média das observações entre as repetições.  
a) 100% de resíduos b) 50% de resíduos

Vários estudos foram conduzidos ao longo dos anos a fim de se determinar a magnitude de armazenamento da água da chuva ou irrigação nos restos culturais de plantas (COOK et al., 2006; SINGHA et al., 2011). A abordagem sobre o assunto é um aspecto complexo que exige muitas pesquisas uma vez que deve ser levado em consideração os resíduos (tipo, espessura da camada, grau de decomposição), condições climáticas, intensidade, duração e quantidade de irrigação ou chuva, dentre outros fatores. Rocha et al. (2018), avaliando a retenção de água nos restos culturais de aproximadamente 4 t ha<sup>-1</sup> de aveia preta, observaram uma retenção de aproximadamente 18%. Também verificaram que existe maior relação da lâmina retida com a quantidade de resíduos disposta em superfície do que com a lâmina de água aplicada por irrigação por aspersão ou chuva.

Já em um clima temperado, e sob condições de chuva natural, Price et al. (1998), avaliando a retenção de água sob uma cobertura morta de esfagno, uma espécie de musgo para o cultivo de

turfas de corte, verificaram uma média de 2 mm por evento, o que representou 44% das chuvas no período de avaliação. Os autores também destacaram a importância dessa interceptação no balanço hídrico do solo, eles indicaram maior relevância nos eventos de baixa intensidade, onde a precipitação efetiva, ou seja, a precipitação infiltrada abaixo da cobertura morta foi praticamente nula.

Bussièrè & Cellier (1993; 1994) destacaram a importância de se considerar a capacidade de armazenamento de água dos resíduos culturais na construção de modelos de transferência de energia na superfície do solo, estes observaram uma interceptação média de 2.8 mm por evento em cobertura morta de cana-de-açúcar. Apesar de os menores valores encontrados no presente estudo, é necessário se levar em conta nesta comparação principalmente o tipo de resíduo e as quantidades produzidas, pois estes fatores são determinantes na questão da retenção de água.

Na figura 12 são apresentados os resultados da variação diária da água disponível no solo (ASW) em todo o perfil (0-85 cm) durante todo o ciclo da cultura da soja (137 dias), nos tratamentos com e sem o cultivo de plantas, o total de água disponível no solo (TAW) e a fração de água disponível (RAW) foram respectivamente de 161 e 112.7 mm.

Nos tratamentos com a presença de plantas observou-se que a partir do dia 13/02/18, aos 59 dias após a semeadura (DAS), os valores da ASW foram decrescendo abaixo dos valores da RAW para todos os fatores, com 100, 50% e sem cobertura com resíduos vegetais. No dia 20/02/18, aos 66 DAS, os valores da ASW subiram novamente, após uma precipitação de 51.8 mm, ficando abaixo da RAW novamente após alguns dias e permanecendo assim até próximo ao final do ciclo da cultura.

Nos tratamentos sem a presença de plantas o conteúdo de água no solo foi semelhante entre os diferentes níveis de palha no solo, sendo que no solo sem cobertura a umidade do solo ficou levemente acima durante a maior parte do período de avaliação, em comparação aos tratamentos com 100 e 50% de palha, isso pode ter ocorrido devido aos constantes eventos de umedecimento ocorridos dentro do experimento. Neste estudo buscou-se manter o suprimento de água das plantas em condições controladas, porém, em função de problemas eletromecânicos e também alguns eventos de chuvas acompanhadas de ventos, não foi possível o fechamento da estrutura móvel e diversas precipitações ocorreram no interior da estrutura (Figura 12).

A camada superficial do solo é a mais importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Diversos autores atentam que o efeito dos resíduos culturais se dá principalmente nas

camadas superficiais do solo, justamente onde se encontra a maior concentração de raízes finas que são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes, fato que pode se refletir em produtividade das lavouras.

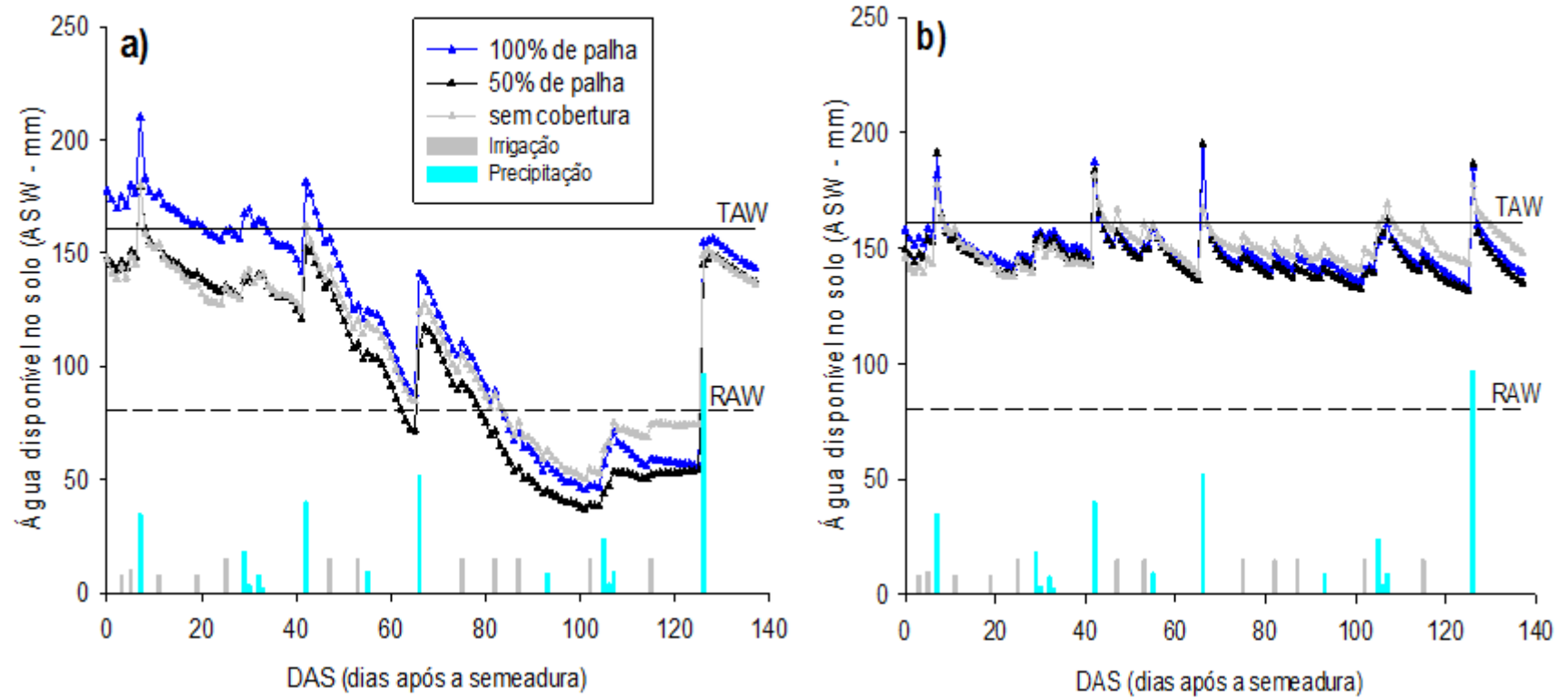
Mahdavi et al. (2017) objetivando avaliar as mudanças na transferência de calor e umidade em camadas superficiais de um solo arenoso promovidas por uma cobertura de palha, verificaram que a cobertura morta aumentou a amplitude do fluxo de água e reduziu a do fluxo de vapor, e promoveu uma redução de até 40% na evaporação em relação ao solo descoberto.

Zribi et al. (2015) também observaram que a evaporação da água do solo aumentou linearmente com o aumento do suprimento de água nas camadas superficiais, porém, esse aumento foi menor no solo com cobertura morta, isso devido a barreira formada que fez com que menor quantidade de energia disponível para evaporação chegasse na superfície do solo.

Donk et al (2010) revelaram que o conteúdo de água não diferiu significativamente entre parcelas com e sem a presença de resíduos culturais, conseqüentemente a evapotranspiração também não. Contudo, a maior produtividade de milho, nos tratamentos com a presença de palha, se deu em função da maior parcela de transpiração em detrimento da evaporação, sobretudo em camadas superficiais. Esse mesmo fato também foi relatado por Tolk et al. (1999) e Klocke et al. (2009).

Nos tratamentos sem a presença de plantas a ASW se manteve sempre próximo ao limite do TAW para todos os tratamentos avaliados (figura 12). Desconsiderando a transpiração das plantas neste caso, esses resultados sugerem que o efeito da palha seja mais expressivo sobre a camada evaporável do solo (0 – 10 cm), uma vez que no solo sem cobertura a evaporação da água do solo nessa camada se dá de forma mais acentuada logo após um evento de chuva ou irrigação, já no solo com a presença de resíduos a manutenção da umidade faz com que o processo evaporativo se mantenha por um período mais prolongado.

Figura 12 - Variação do conteúdo de água disponível no solo (ASW) nos tratamentos com e sem a presença de plantas em todo o perfil do solo (0-85 cm).



a) Tratamentos com a presença de resíduos. b) Tratamentos sem a presença de resíduos. TAW: Total de água disponível; RAW: Fração de água disponível (70% do TAW).

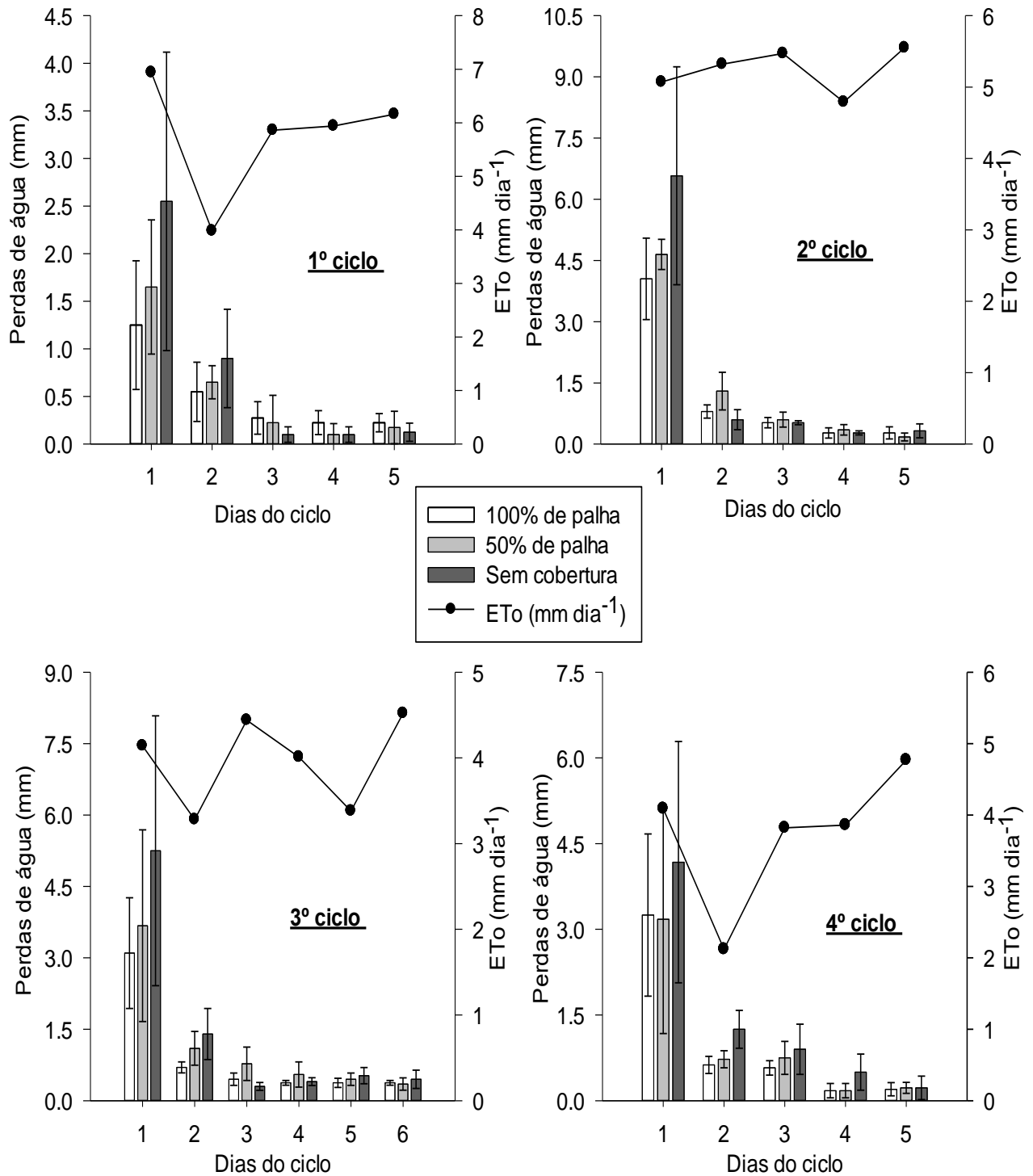
As perdas de água do solo num agroecossistema dependem de vários fatores, onde a presença de palha em superfície é determinante na redução da evaporação. Neste estudo se encontrou uma situação específica onde o solo sem a presença de resíduos culturais se manteve com o conteúdo de água levemente superior. Além do aspecto já levantado, que possivelmente explicam esses resultados encontrados, é relevante se considerar também aspectos meteorológicos durante a condução do estudo e verificar com mais detalhes a dinâmica desse processo na camada superficial do solo, como as perdas de água logo após um evento de umedecimento do solo.

A figura 13 apresenta os resultados das perdas de água no solo ao longo do período de condução do experimento, nos tratamentos sem a presença do cultivo de plantas, assim, as perdas de água nessa camada podem ser consideradas apenas como evaporação da água do solo, desconsiderando o efeito da transpiração das plantas. Foram observados quatro ciclos de secagem do solo durante o período de condução do estudo, é perceptível que na camada evaporável do solo (0-10 cm) a maior variação ocorre no primeiro dia após o umedecimento do solo.

O valor de TEW, calculado para as condições deste estudo, foi de 22 mm, isso configura que as perdas de água do solo, apresentadas na figura 13, se deram em função da evaporação, uma vez que após o umedecimento do solo, antes do início ciclos de secagem observados, os valores da umidade do solo na camada evaporável ficaram abaixo do valor de TEW. Durante todos os ciclos de secagem observados se percebeu maiores perdas de água no solo sem a cobertura de resíduos, em especial nos primeiros dois dias iniciais.

O REW, calculado em função das condições texturais do solo deste estudo foi de 9.32 mm (na camada evaporável, 0-10 cm). À medida em que vai ocorrendo o esgotamento da REW, a evaporação da água do solo permanece no primeiro estágio, onde a taxa evaporativa é dependente das condições atmosféricas e da umidade presente no solo, podendo ser superior a  $E_{To}$  (DONK et al., 2010). A presença de resíduos culturais dispostos em superfície reduziu a taxa de evaporação, fazendo com que o solo permanecesse com maior umidade na camada superficial, isso pode ocasionar um maior tempo de secagem para o esgotamento da REW, fazendo com que o solo permaneça por mais tempo no primeiro estágio de evaporação. Esse fato pode acarretar numa maior perda acumulada de água em solos cobertos com resíduos culturais, pois o solo permanece com maior umidade e sob a influência da demanda atmosférica, assim como observado por Dalmago et al. (2010) ao verificar a evaporação acumulada em solo sob plantio direto e convencional.

Figura 13 - Perdas de água na camada superficial do solo (0-10 cm) em quatro ciclos de secagem durante a condução do experimento, em parcelas sem o cultivo de plantas.



Linhas verticais sobre as barras representam o desvio padrão em relação à média das observações entre as repetições.

A tabela 4 apresenta a evaporação direta da água do solo ( $E_s$ ) medida em microlisímetros, a partir desses resultados é possível perceber a influência da interação entre o crescimento do dossel de plantas e os níveis de resíduos na evaporação da água do solo. Os microlisímetros foram instalados nas entrelinhas das plantas e não possuem a interferência do sistema radicular, assim, os valores apresentados correspondem apenas a evaporação, desconsiderando a transpiração vegetal.

Nas avaliações dos 19, 25 e 115 DAS houve interação significativa entre os fatores “níveis de palha” e o “cultivo de plantas”, é possível observar maiores perdas por  $E_s$  nos tratamentos sem resíduos e sem a presença de plantas. Entre 47 e 102 DAS houve um efeito isolado tanto dos níveis de palha quanto do cultivo de plantas (Tabela 4; Anexo D). Além do efeito dos resíduos, contribuindo com a redução na evaporação da água do solo, as perdas por  $E_s$  também foram significativamente maiores quando sem a presença do cultivo de plantas, esse fato se deu em função do crescimento do dossel de plantas que além de interceptar a água também promove o sombreamento das entrelinhas, fazendo com que diminua a incidência da radiação solar direta e reduzindo assim as taxas de evaporação.

A partir de 47 DAS as diferenças foram mais acentuadas quando se compara os tratamentos com e sem o cultivo de plantas (anexo D), a partir dessa data também se observa que o efeito dos resíduos culturais na redução da  $E_s$  já é mais reduzido. O efeito do sombreamento do dossel de plantas na redução da evaporação da água do solo também foi relatado por Martorano et al. (2009), quando as plantas aumentam sua área foliar a transpiração é o principal processo de perda de água do solo, sendo a evaporação basicamente desconsiderada nesse momento.

A relação  $E_s/ET_o$  também foi significativamente reduzida em função da presença de resíduos culturais em comparação ao solo sem cobertura, e também devido a presença do dossel de plantas. As maiores relações  $E_s/ET_o$  foram observadas nas parcelas sem cobertura de resíduos e sem o cultivo de plantas, aos 25 e 115 DAS, o que se deu no início do cultivo, quando o dossel ainda em crescimento e no final do ciclo, com a área foliar já reduzida.

É válido lembrar que essa  $E_s$  foi medida no primeiro dia após o umedecimento do solo, este período evidencia uma maior  $E_s$  uma vez que existe maior disponibilidade de água que pode ser evaporada na presença de energia. Dalmago et al. (2010) também concluíram que a umidade do solo e a presença de plantas podem mascarar o efeito dos sistemas de manejo do solo sobre a evaporação acumulada da água do solo e que em sistema convencional de manejo do solo a



evaporação é maior logo após um evento de umedecimento e que a medida que o solo seca, esta passa a ficar maior em solo cultivado sob sistema de plantio direto.

Tabela 4 - Evaporação direta da água do solo (Es) medida a partir de microlisímetros, no primeiro dia de secagem após irrigações, durante o ciclo da cultura da soja.

DAS	ET <sub>o</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )	Cultivo	Es (mm)			Es/ET <sub>o</sub>		
			Níveis de palha			Níveis de palha		
			100%	50%	0%	100%	50%	0%
19*	6.94	COM	3.00 Bb	3.40 Aa	3.70 Ba	0.43 Bb	0.49 Aa	0.53 Ba
		SEM	3.46 Ab	3.46 Ab	5.44 Aa	0.50 Ab	0.49 Ab	0.78 Aa
25*	5.77	COM	2.86 Ac	3.80 Ab	5.89 Ba	0.49 Ac	0.66 Ab	1.02 Ba
		SEM	3.12 Ab	3.41 Ab	6.73 Aa	0.54 Ab	0.59 Ab	1.16 Aa
47 <sup>ns</sup>	5.40	.....	2.74 b	3.00 b	4.02 a	0.50 b	0.55 b	0.74 a
53 <sup>ns</sup>	5.37	.....	3.63 b	4.02 b	5.35 a	0.67 b	0.74 b	0.99 a
75 <sup>ns</sup>	4.14	.....	1.83 b	1.99 b	2.47 a	0.44 b	0.48 b	0.59 a
82 <sup>ns</sup>	4.30	.....	1.94 b	2.08 b	2.45 a	0.45 b	0.48 b	0.57 a
87 <sup>ns</sup>	4.09	.....	2.06 b	2.36 b	2.77 a	0.50 b	0.57 b	0.68 a
102 <sup>ns</sup>	2.78	.....	1.35 a	1.50 a	1.52 a	0.49 a	0.54 a	0.54 a
115*	4.24	COM	1.25 Bb	1.99 Ba	1.48 Bb	0.29 Ab	0.47 Aa	0.35 Bb
		SEM	3.99 Ab	4.02 Ab	4.93 Aa	0.94 Ab	0.95 Ab	1.17 Aa

ns: interação não significativa pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. \*: interação significativa. Letras maiúsculas comparam as médias nas colunas (% de cobertura do solo) e minúsculas na linha (presença e ausência de cultivo).

#### 4.1.3 Crescimento e desenvolvimento das plantas

O índice de área foliar (IAF) também é um fator importante a ser considerado no processo evaporativo do solo e na avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas nos diferentes tratamentos. No período inicial de avaliação o IAF variou entre 0.38, 0.35 e 0.29 no dia 05/01/18, aos 20 DAS e, 4.25, 4.24 e 3.45 no dia 25/01/18, aos 40 DAS, respectivamente, nas parcelas com

100%, 50% de palha e solo desnudo. No dia 01/03/18, aos 75 DAS, as plantas de soja atingiram os valores de IAF de 10.2, 10.6 e 8.5, respectivamente nas parcelas com 100%, 50% de palha e solo desnudo (figura 14). Observa-se também que os maiores valores de IAF foram obtidos aproximadamente aos 70 DAS.

No início do cultivo o IAF é baixo, com isso uma grande fração de solo fica exposta à radiação solar, sendo a evaporação o principal processo de perdas de água do solo nesta etapa. Com o avanço do desenvolvimento do vegetal o IAF aumenta, desta forma ocorre o fechamento das entrelinhas e conseqüentemente o seu sombreamento, assim há uma interceptação da radiação solar por parte do dossel vegetativo o que resulta numa redução substancial da evaporação direta do solo. Nesta etapa é o processo de transpiração da planta que se torna determinante nas perdas de água do solo.

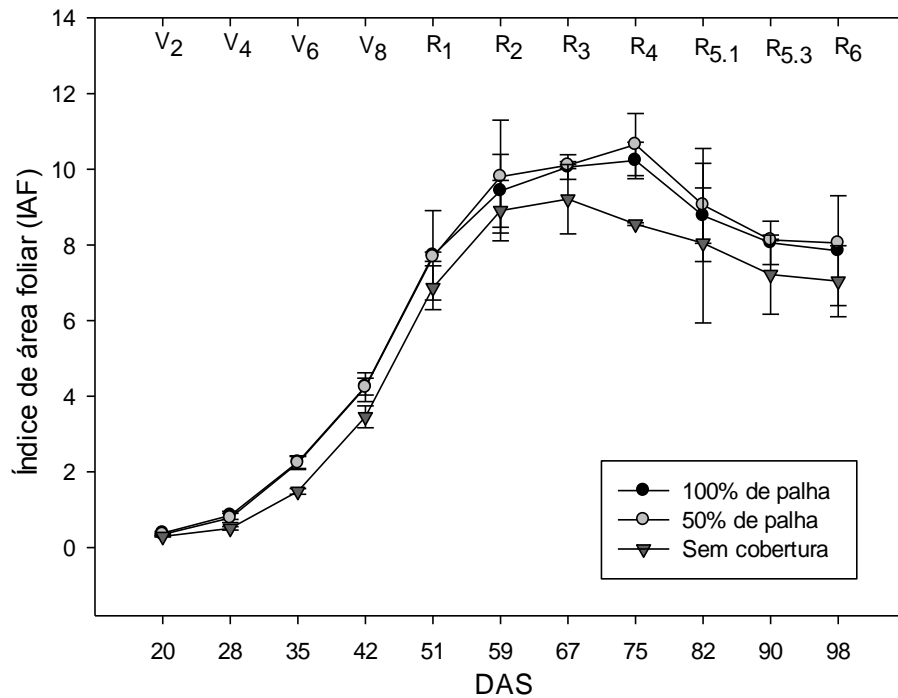
Durante todo o período de avaliação se constatou menores valores de IAF nos tratamentos sob solo desnudo, isso demonstra que os tratamentos produziram efeitos no crescimento das plantas. Na avaliação do dia 01/03/18 as plantas já haviam atingido o máximo IAF, nesse período se observou que os resíduos culturais produziram um efeito nos resultados, os tratamentos com solo desnudo resultaram num decréscimo nos valores de IAF, aproximadamente 16% menores em relação aos tratamentos mantidos com 100% de resíduos culturais em superfície.

Os resultados encontrados na variação da água do solo ASW demonstraram pequena diferença entre os tratamentos apenas na camada superficial do solo (0-10 cm), e se observou que o solo desnudo também se manteve com o conteúdo de água no solo elevado em todo o perfil do solo durante o cultivo. O regime de umedecimento do solo durante o cultivo foi elevado e dessa forma os efeitos da palha não foram muito expressivos, desta forma, pode-se inferir que a água não foi um fator limitante para as plantas nos tratamentos com solo desnudo, no entanto, se percebe que houve um menor crescimento das plantas, a partir dos resultados de IAF.

Vários trabalhos na literatura demonstram os efeitos da palha no crescimento das plantas, a maioria destes associam esse fato às melhorias na variação do conteúdo de água no solo (ARORA et al., 2011; BOYDSTON et al., 2018; ACHARYA et al., 2019). Quando a água é um fator limitante esses efeitos são bem mais expressivos, neste estudo observamos que os efeitos da palha sobre a evaporação da água, apesar de não muito expressivos, foram maiores na camada superficial do solo, entretanto o solo desnudo também apresentou conteúdo de água elevado. Com isso, pode se dizer que neste estudo a água não foi um fator limitante para o desenvolvimento das plantas, e

que o maior IAF das plantas sob tratamentos mantidos com resíduos culturais sugere um efeito adicional dos resíduos culturais, além da manutenção da umidade do solo, no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Figura 14 - Índice de área foliar (IAF) de plantas de soja durante a condução do experimento.



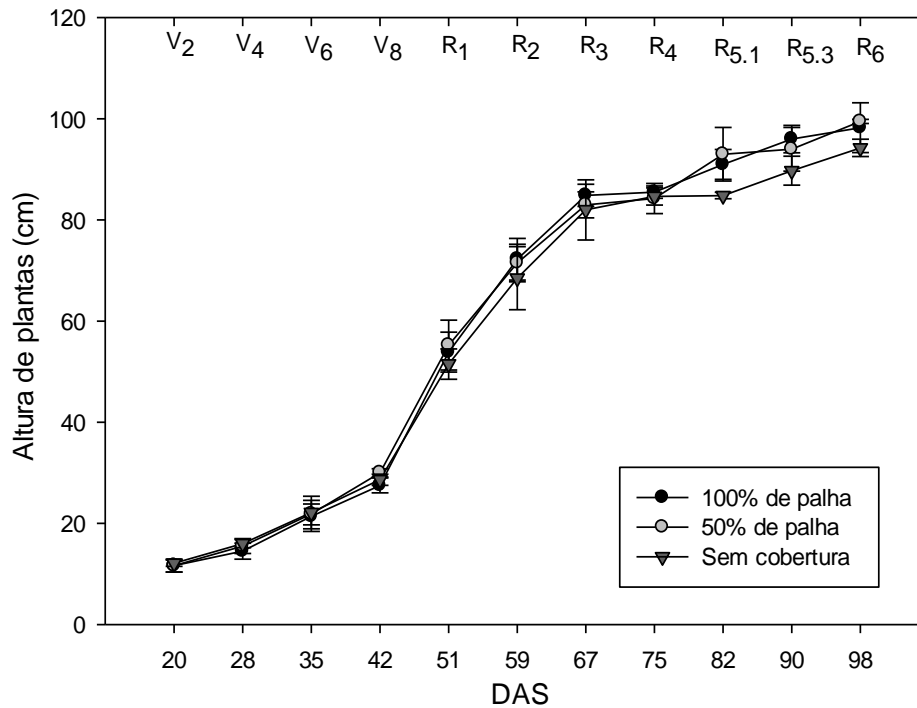
DAS: Dias após a sementeira. Eixo superior: Escala fenológica da soja proposta por Fehr e Caviness (1977). As linhas verticais sobre os pontos representam o desvio padrão em relação à média das observações.

A altura de plantas demonstrou comportamento semelhante ao apresentado pelo IAF, reforçando o fato de que a manutenção dos resíduos culturais em superfície promove melhorias no ambiente solo, além daquelas relacionadas com o regime hídrico. A maior diferença perceptível durante o período de avaliação foi no dia 09/03/18, aos 83 DAS, onde os valores encontrados foram de 91, 93 e 84.8 cm, respectivamente para as parcelas com 100%, 50% de palha e solo sem cobertura (figura 15).

No início do desenvolvimento as plantas demonstraram um crescimento uniforme entre todos os tratamentos, contudo, a partir do dia 05/02/18, aos 51 DAS, foi possível observar uma diferença numérica, onde as parcelas com solo desnudo apresentaram valores inferiores de altura de plantas,

esse comportamento também foi perceptível visualmente no campo. Como já destacado anteriormente, não sendo a água um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, possivelmente a presença de resíduos promoveu um ambiente favorável na zona de crescimento radicular.

Figura 15 - Altura de plantas de soja (cm) durante a condução do experimento.



DAS: Dias após a semeadura. Eixo superior: Escala fenológica da soja proposta por Fehr e Caviness (1977). As linhas verticais sobre os pontos representam o desvio padrão em relação à média das observações.

#### 4.1.4 Componentes de produtividade

A tabela 5 apresenta os resultados de alguns componentes de produtividades da cultura da soja, nos diferentes tratamentos de níveis de resíduos vegetais. Apesar de numericamente diferente, os resultados do número de vagens por planta não apresentaram diferenças estatísticas significativas, possivelmente devido ao maior coeficiente de variação (CV). Tanto o peso de 1000 grãos quanto a produtividade de grãos de soja mostraram que os diferentes níveis de palha

promoveram influências nos resultados, ambos os componentes apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 5 - Componentes de produtividade da soja nos diferentes tratamentos de níveis de palha (vagens/planta, peso de 1000 grãos e produtividade de grãos).

<b>Tratamento</b>	<b>Umidade na colheita (%)</b>	<b>Número de vagens/planta</b>	<b>Peso de 1000 grãos (g)</b>	<b>Produtividade (Kg ha<sup>-1</sup>)</b>
100% de palha	10.03	125.9 <sup>ns</sup>	193.36 a	6063.93 a
50% de palha	9.91	112.35 <sup>ns</sup>	189.14 b	5918.09 a
Sem cobertura	9.81	106.65 <sup>ns</sup>	170.78 c	4699.34 b
CV (%)	-	11.82	1.65	9.47

Médias seguidas de mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. CV (%): coeficiente de variação; ns: diferença não significativa pelo teste de Scott-Knott.

O número de vagens por planta variou de 125,9, nos tratamentos com 100% de palha, a 106.65, naqueles com solo desnudo, apesar dessa diferença esta variável não apresentou diferença estatística significativa. Já para a variável peso de 1000 grãos os tratamentos com 100% de palha se revelaram significativamente maiores, com 193.36 gramas, 22.6 gramas acima daqueles com solo sem cobertura. O mesmo ocorreu com a produtividade de grãos, sendo os tratamentos com 100% de palha 1364.6 kg/ha acima daqueles com solo desnudo, isso é o equivalente a aproximadamente 23 sacas por hectare.

Como já foi verificado neste estudo, não se observou grandes diferenças na variação da água do solo nos diferentes tratamentos de níveis de resíduos com a presença de plantas, mesmo na camada superficial essas diferenças foram pequenas, isso se deu em função dos vários eventos de umedecimento, o que manteve o solo sempre úmido, desta forma, notou-se que a água não foi um fator limitante para as plantas em ambos os tratamentos com diferentes níveis de palha. Um fator que pode ter contribuído para que o conteúdo de água, nos tratamentos com 100% de palha, se mantivesse abaixo daquele com solo desnudo pode ter sido o maior uso da água pelas plantas, uma vez que verificamos maior crescimento e desenvolvimento das plantas naqueles tratamentos em detrimento destes.

A palhada disposta em superfície, além de contribuir para manter a umidade nas primeiras camadas de solo, ajuda na ciclagem de nutrientes e no incremento da atividade microbiana do solo, isso contribui com a atividade do sistema radicular das plantas refletindo positivamente em seu crescimento e desenvolvimento e conseqüentemente na produtividade de grãos. Benjamin & Nielsen (2006), estudando os efeitos do déficit hídrico na distribuição do sistema radicular de soja, observaram que 97% do total da massa radicular das plantas se encontravam nos primeiros 20 cm de solo.

O aporte de carbono orgânico promovido pela palhada influencia em características físicas, químicas e biológicas do solo, a palha é rica em matéria orgânica e a sua manutenção no solo após a colheita promove maior aporte de carbono e conseqüentemente o rendimento das culturas (LI et al., 2016). As primeiras camadas de solo, até 20 cm, são as mais afetadas pela manutenção dos resíduos culturais, estes influenciam a comunidade da microbiota que desempenha um papel fundamental nas funções do ecossistema, diversos autores relataram que tais influencias podem refletir positivamente na produtividade das plantas (BENBI et al., 2015; HAO et al., 2019; MI et al., 2019; YAN et al., 2020).

Avaliando os efeitos da cobertura morta na eficiência do uso da água e rendimento do milho Gao et al. (2019) verificaram aumentos significativos no rendimento de milho em diferentes regiões da China. Akhtar et al. (2019) relataram que as melhorias nos índices de fertilidade e atividade, carbono e da atividade da massa microbiana do solo, aumentaram significativamente a produtividade de grãos de soja. Guan et al. (2019) verificaram que um aumento na decomposição da palhada e conseqüente liberação de nutrientes induz a atividade microbiana no ambiente rizosférico, resultam em maior quantidade de N e P disponíveis e pode incrementar a produtividade de plantas. Por fim, avaliando o crescimento e rendimento da soja sob sistema de plantio direto em região subtropical úmida dos EUA, Acharya et al. (2019) concluíram que a cobertura do solo pode melhorar a qualidade do solo e aumentar o rendimento das culturas, e que esses efeitos podem se diferenciar dependendo do tipo de cobertura e do manejo do solo.

## 4.2 ESTUDO II

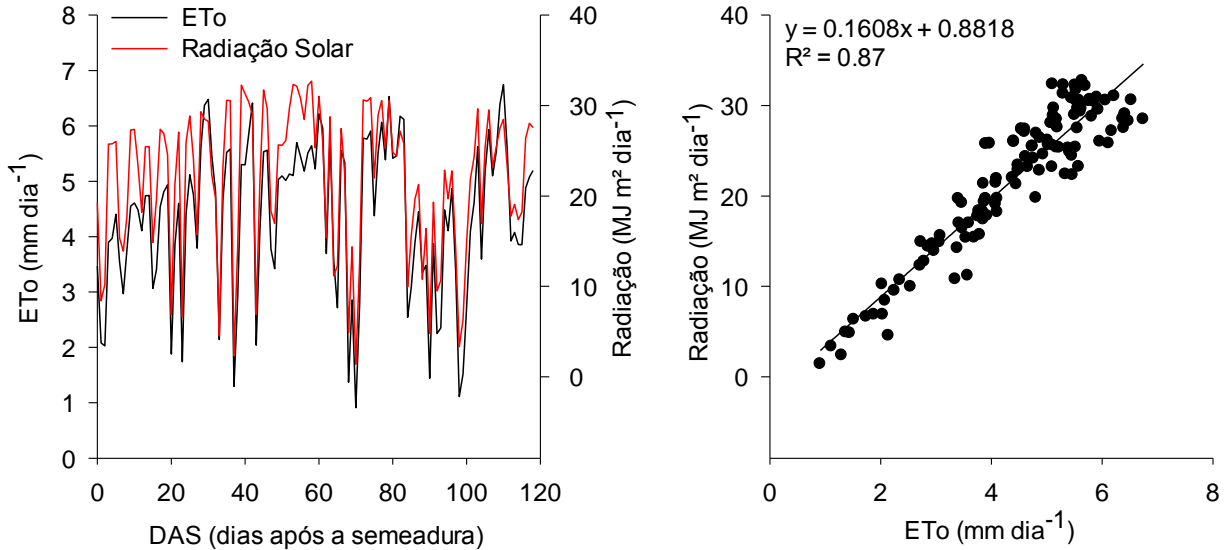
### 4.2.1 Dados meteorológicos durante o cultivo

A temperatura média variou entre 16.4 e 30.7 C° durante os 119 do ciclo da cultura do girassol, sendo as menores temperaturas registradas nos períodos iniciais do cultivo, esses valores registrados se apresentam semelhantes à média histórica de normal climatológica, onde para o mesmo período se tem menores temperaturas no mês de outubro (máxima de 25.2 °C e mínima 14.8 °C) e as máximas nos meses de janeiro e fevereiro (máxima de 31 °C e mínima 19.8 °C). A velocidade média do vento variou de 1.1 a 4 m s<sup>-1</sup>, sendo observado um valor médio de 2.18, a velocidade do vento juntamente com a radiação solar são componentes meteorológicos que influenciam bastante na demanda evaporativa da atmosfera, influenciando assim ETo, os valores elevados de velocidade do vento, acima da média normal de 2.2 m s<sup>-1</sup>, são observados em alguns dias específicos como quando ocorrem eventos de vento norte.

A figura 16 apresenta os valores ETo, radiação solar diários e a relação entre estes fatores ocorridos durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas. A precipitação pluvial foi bastante significativa durante o período, com um valor acumulado de 655 mm, superior a média histórica. Considerando os meses de novembro, dezembro e janeiro o acumulado foi de 615 mm, um acréscimo de 163 mm em relação as médias normais climatológicas registradas, sendo o mês de janeiro o que registrou o maior acumulado (239 mm).

É válido lembrar que este estudo foi conduzido no interior de uma estrutura especial que permitia fazer o controle das entradas de água, evitando a precipitação pluvial na área experimental, entretanto, em alguns eventos de chuvas não foi possível o acionamento da estrutura, isso devido a ocorrência de ventos fortes e também problemas elétricos. Isso pode ser verificado na figura 16, onde se percebe picos elevados na umidade do solo, como aos 99 DAS.

Figura 16 - Radiação solar ( $R_s$ ), evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e precipitação durante o ciclo da cultura do girassol (2018/19).



A  $ET_o$  variou entre 0.91 e 6.8  $\text{mm dia}^{-1}$  durante a condução do experimento, os menores valores estão associados a condições meteorológicas específicas no dia como por exemplo baixa radiação solar incidente e velocidade do vento, elevada umidade relativa e ocorrência de precipitação, enquanto que os maiores valores estão associados a condições inversas a essas. Durante a condução do experimento a radiação solar apresentou uma variação de 1.4 a 32.7  $\text{MJ m}^2 \text{dia}^{-1}$ , sendo os menores valores associados também a condições específicas como por exemplo nuvens e ocorrência de precipitação.

#### 4.2.2 Dinâmica da água no solo

A variação do conteúdo de água no solo para os diferentes tratamentos com níveis de irrigação deficitária (80, 70, 60 e 50% do TAW) na presença e ausência de resíduos culturais dispostos em superfície, está apresentado na figura 17. As primeiras irrigações foram idênticas para todos os tratamentos, e ocorreram até os 24 DAS. Após esta data foi iniciado a irrigação de acordo com cada tratamento. Pode se observar que até os 24 DAS, a água no solo se manteve em aproximadamente 80% do TAW, isto devido as irrigações iniciais serem realizadas que objetivou um estabelecimento inicial por igual do estande de plantas.

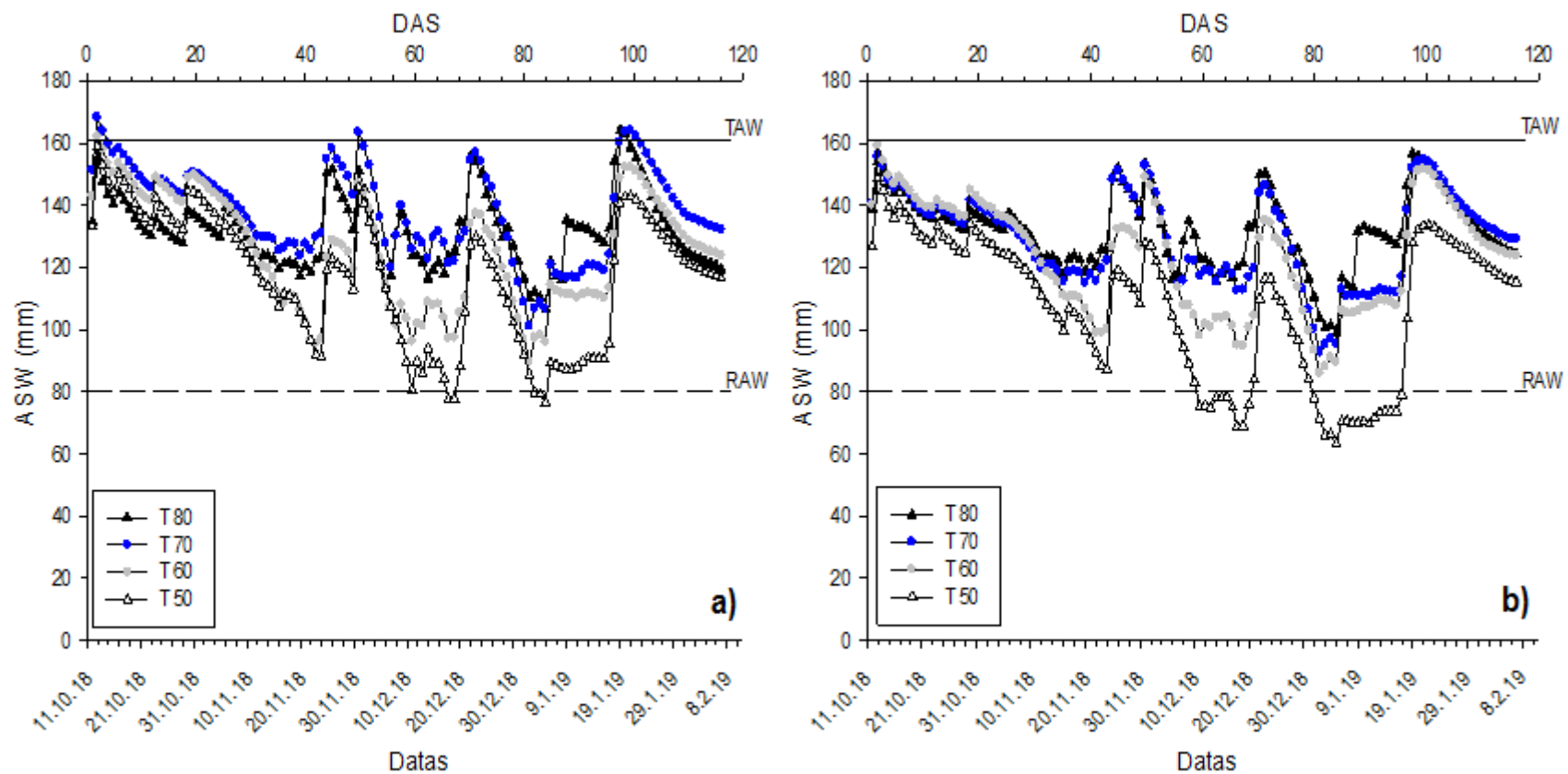


Após os 24 DAS é possível perceber o início das diferenças no conteúdo de água no solo, isso para todo o perfil do solo (0-85 cm), onde se observou valores decrescentes respectivamente nos tratamentos T80, T70, T60 e T50, tanto na presença quanto ausência de palha no solo. O objetivo que era manter conteúdos de água no solo inferiores para os respectivos tratamentos foi atingido. Até os 69 DAS as irrigações nos tratamentos T80 e T70 foram realizadas em datas semelhantes fato este que ocasionou pequenas diferenças no conteúdo de água no solo entre estes. Entre os 56 e 68 DAS as diferenças entre os tratamentos são mais perceptíveis, nesse período as plantas se encontravam no pleno florescimento e início de enchimento de grãos, portanto as respostas das plantas aos diferentes níveis de irrigação deficitária podem ser mais expressivas.

O manejo da irrigação realizado no presente estudo previa que o conteúdo de água não abaixasse do RAW definido para cada tratamento, no entanto, se verifica que esse objetivo só se concretizou durante alguns períodos na estação de crescimento, mas que esses períodos ocorreram num estágio de desenvolvimento determinante para a produtividade do cultivo. As diferenças nos regimes de umidade do solo nos diferentes tratamentos podem fazer com que a extração de água pelas raízes das plantas seja também diferenciada, Irmak et al. (2014) verificaram padrões diferenciados no regime de extração de água por plantas de soja quando ocorria redução no conteúdo de água disponível do solo.

A partir da figura 17 é possível perceber que existiram diferenças na variação do conteúdo de água no solo em função da presença e ausência de resíduos culturais dispostos em superfície. A umidade do solo se manteve acima do RAW em todos os tratamentos na presença de palha (figura 17-a), já com a ausência de palha se verifica valores de umidade abaixo do RAW, em especial no T50 (figura 17-b). A presença de resíduos culturais em superfície promove maiores efeitos em relação a redução da evaporação da água do solo nas camadas mais superficiais do solo, sobretudo no início do período de desenvolvimento das plantas quando ainda boa parte da superfície do solo está descoberta e não sombreada pelo dossel de plantas. Neste estudo se observou esta tendência a partir dos resultados apresentados na figura 18, onde se apresenta as diferenças no conteúdo de água entre os solos com e sem a presença de resíduos culturais.

Figura 17 - Variação do conteúdo de água disponível no solo (ASW) nos tratamentos com (a) e sem (b) a presença de palha, em todo o perfil do solo (0-85 cm).



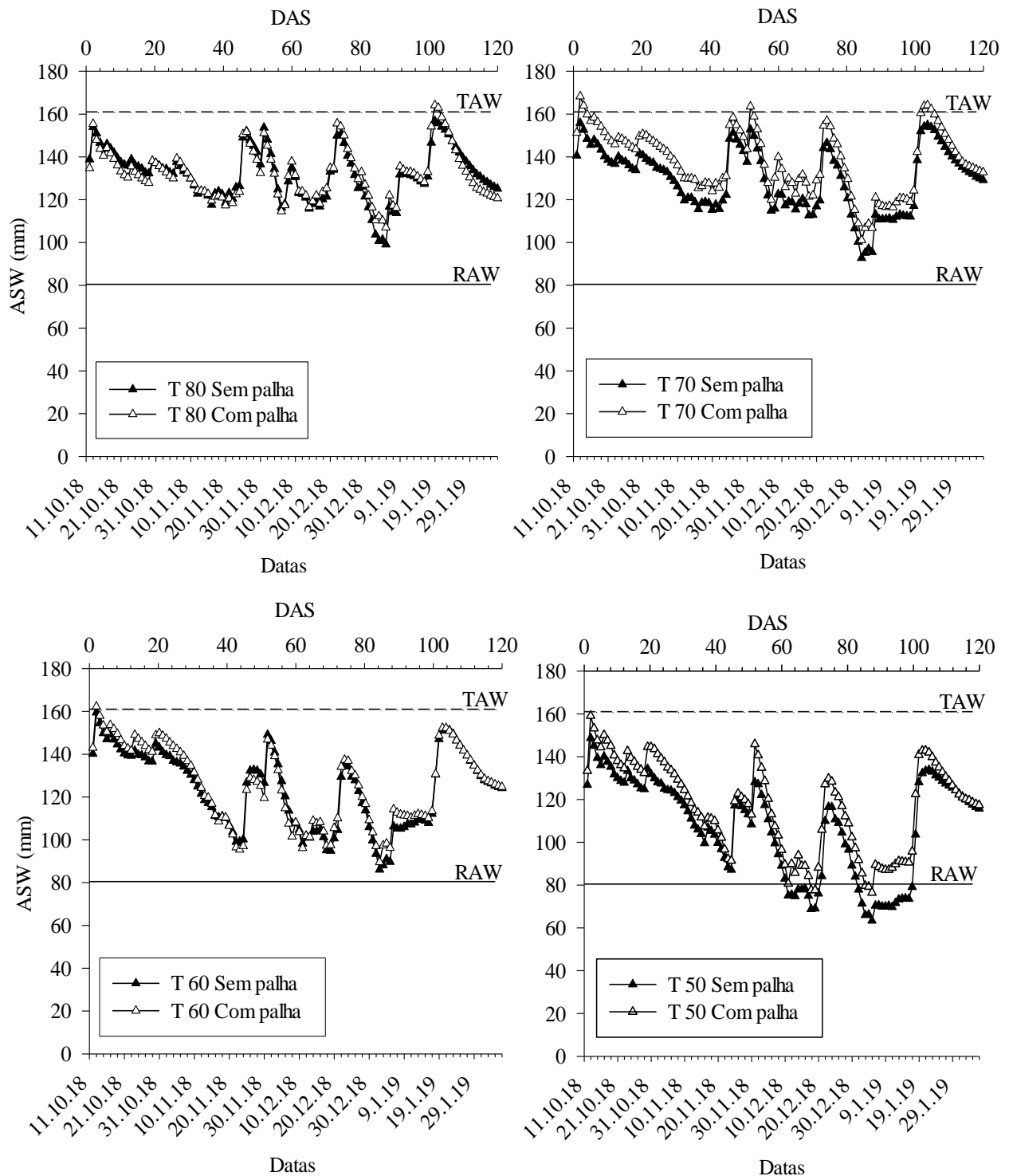
TAW: Total de água disponível; RAW: Fração de água disponível (FAO-56). T80, 70, 60 e 50: tratamentos com diferentes níveis de irrigação deficitária, 80, 70, 60 e 50% do TAW, respectivamente.

Na figura 19 é possível perceber que, nos primeiros 50 dias após a semeadura, a presença de resíduos proporcionou uma menor variação no conteúdo de água na camada de 0-25 cm de profundidade do solo. É possível observar também que quanto maior a restrição no suprimento de água, maiores são as diferenças entre o solo desnudo e com a presença de palha, pois nos tratamentos T70 e T80 essas diferenças foram pouco perceptíveis. A partir destes resultados pode-se implicar que, a presença de resíduos pode manter a umidade do solo mesmo com a aplicação de maiores níveis de irrigação.

Pereira et al. (2015) avaliando o efeito da cobertura morta de milho no crescimento e produção do feijoeiro irrigado em sistema de plantio direto, verificaram que  $12 \text{ t ha}^{-1}$  de cobertura morta de milho proporcionou melhor aproveitamento da água pela cultura do feijão devido aos efeitos da redução na evaporação da água do solo e aumento da permanência da umidade no perfil do solo. O maior teor de água nas camadas superficiais do solo, camada de maior atuação do sistema radicular das plantas, aumenta o crescimento e a proliferação de raízes finas na camada, que são mais eficientes na absorção de água e nutrientes, isso contribui positivamente para o crescimento das plantas (CLARK et al., 2003).

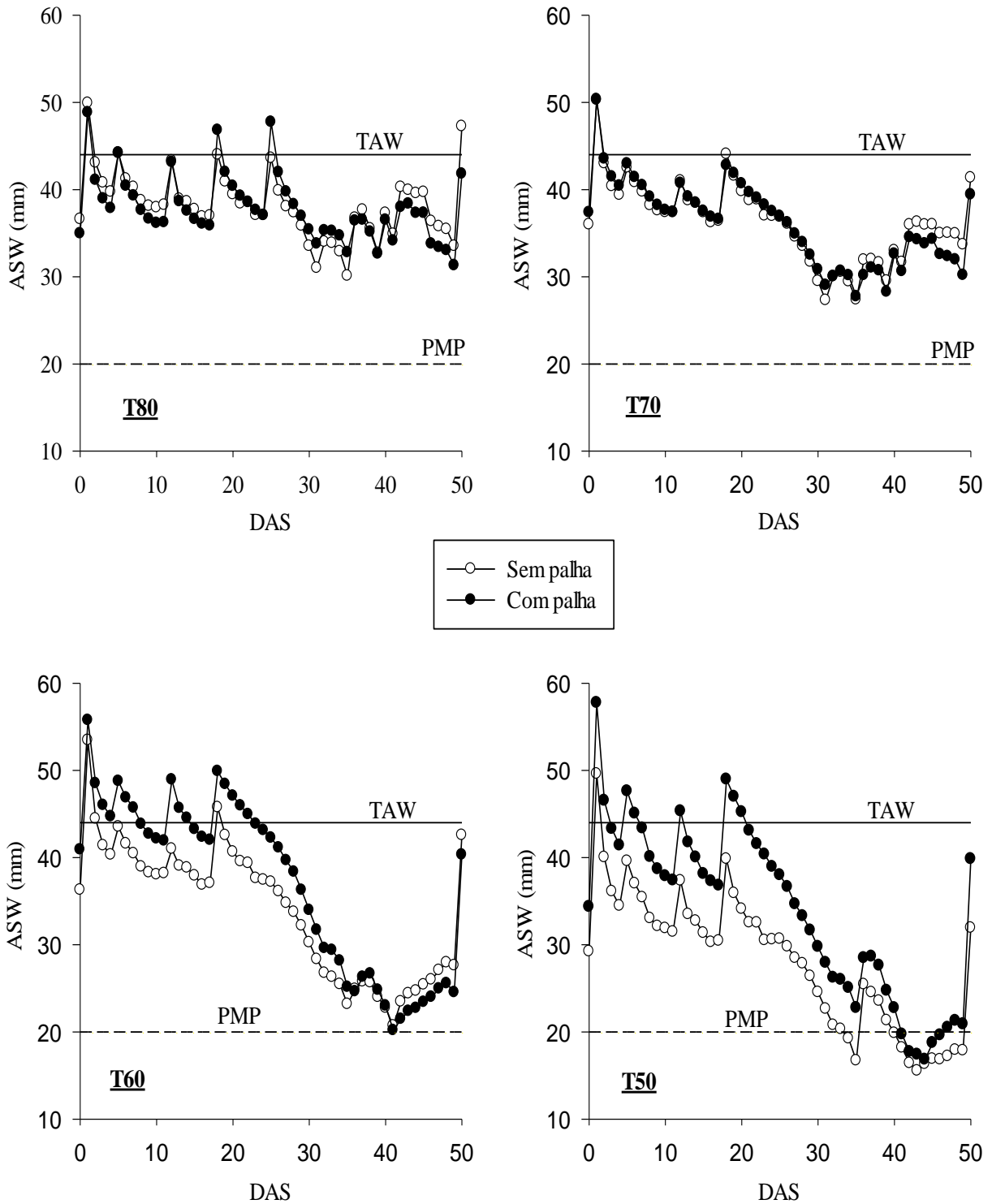
Na fase inicial do cultivo as perdas de água são basicamente por evaporação da água do solo, isso se dá em função da demanda evaporativa da atmosfera, nos primeiros 50 DAS a  $E_{To}$ , que é uma representação da demanda atmosférica, estava apresentando valores crescentes, aproximadamente  $5 \text{ mm dia}^{-1}$ , isso evidencia a importância da presença de resíduos culturais em superfície. Os resultados apresentados nas figuras 18 e 19 demonstram a importância da palha, sobretudo com a redução no nível de irrigação aplicado, uma vez que a diferença entre o conteúdo de água, em função da presença de resíduos, é mais perceptível nos tratamentos T60 e T50. Quando o suprimento hídrico é elevado a palha perde importância na redução do processo evaporativo, uma vez que os ciclos de umedecimento e secagem se tornam mais frequentes, mantendo assim, a superfície do solo frequentemente mais úmida.

Figura 18 - Variação do conteúdo de água disponível no solo (ASW) nos diferentes tratamentos com e sem a presença de palha em todo o perfil do solo (0-85 cm).



TAW: Total de água disponível; RAW: Fração de água disponível (FAO-56). T80, 70, 60 e 50: tratamentos com diferentes níveis de irrigação deficitária, 80, 70, 60 e 50% do TAW.

Figura 19 - Variação do conteúdo de água disponível no solo (ASW) nos diferentes tratamentos com e sem a presença de palha na camada de 0-25 cm, no período de 0-50 DAS.

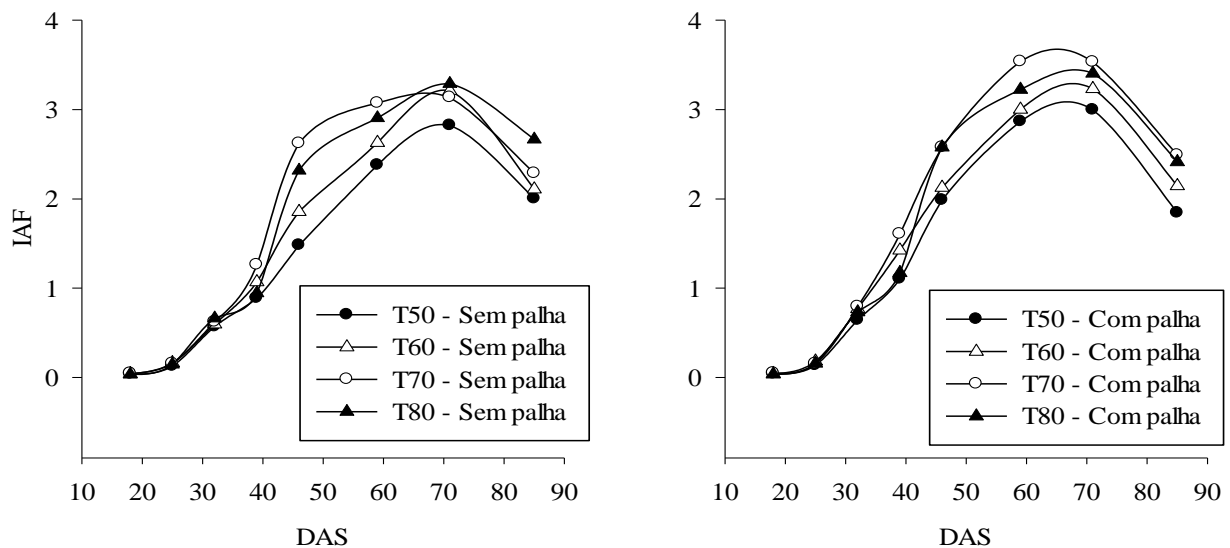


TAW: Total de água disponível. T80; T70; T60; T50: tratamentos com diferentes níveis de irrigação deficitária, 80, 70, 60 e 50% Do TAW. PMP: Conteúdo de água armazenado no ponto de murcha permanente (camada 0-25 cm)

### 4.2.3 Crescimento e desenvolvimento de plantas

A figura 20 apresenta a evolução do IAF das plantas ao longo do ciclo de cultivo. É possível perceber que até próximo aos 40 DAS o IAF foi semelhante em todos os tratamentos com diferentes níveis de irrigação deficitária, tanto com a presença quanto ausência de resíduos culturais em superfície. Os tratamentos T50 e T60 permaneceram abaixo de T80 e T70 durante o período de avaliação. Essa distinção entre os tratamentos revela a importância do suporte hídrico durante as fases de desenvolvimento do girassol, que reflete em maiores produções de fitomassa aérea.

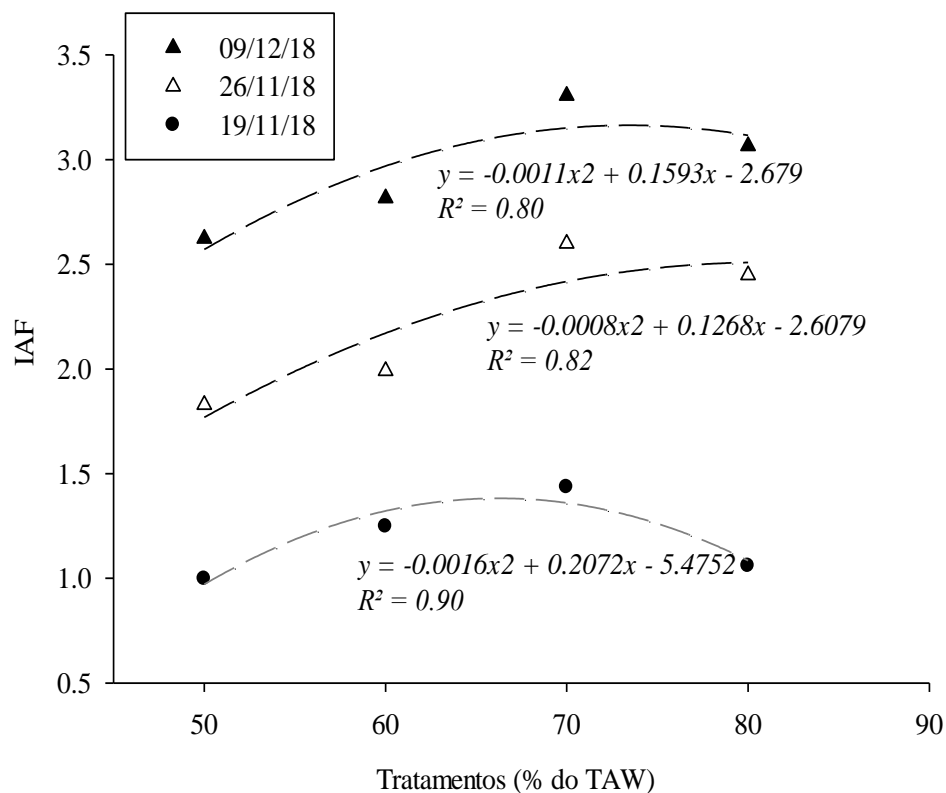
Figura 20 - Evolução do índice de área foliar (IAF) do girassol ao longo do ciclo de cultivo, nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80), com e sem a presença de resíduos culturais.



Segundo Andrade e Abreu (2007) a fitomassa aérea das plantas de girassol é impactada de forma negativa em função do déficit hídrico, que afeta negativamente a área foliar e consequentemente a fotossíntese devido a menor interceptação da radiação solar que posteriormente se converte em matéria seca.

Não houve interação significativa para o IAF entre os diferentes níveis de irrigação deficitária e a presença ou ausência de resíduos culturais, entretanto, houve efeitos isolados para os diferentes níveis de irrigação nas avaliações realizadas nos dias 19 e 26/11/18 e 9/12/18 (figura 21) e nos dias 12 e 19/11/18 e 9/12/18 para a presença e ausência de palha em superfície (tabela 6).

Figura 21 - Análise de regressão para o índice de área foliar (IAF) nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) nos dias 19 e 26/11 de 2018 e 09/12/2018.



A partir da figura 21 é possível notar que em ambas as datas de avaliação o tratamento T70 se sobressaiu em relação aos demais, atingindo valores mais elevados no dia 9/12/18 quando o IAF atingiu o valor de 3.3, superando os valores de 2.6, 2.8 e 3, respectivamente dos tratamentos T50, T60 e T80.

O momento e a duração do déficit hídrico são cruciais na definição do crescimento, desenvolvimento e produtividade dos cultivos agrícolas, os resultados deste estudo demonstraram uma redução de 21% no IAF quando comparado os tratamentos T70 (maior IAF observado) com

o T50 (menor IAF observado). Os resultados encontrados indicam que a irrigação deficitária pode ser uma alternativa na produção de girassol, no entanto, o período onde é possível aplicar esse déficit deve ser melhor compreendido. Comas et al. (2019), objetivando investigar as respostas do milho à irrigação por déficit distribuída de forma sazonal durante o ciclo, verificaram que a limitação de irrigação durante o estágio vegetativo garante a produtividade em níveis satisfatórios em detrimento de se restringir a água durante o estágio de preenchimento de grãos.

Os mesmos autores verificaram uma menor interceptação de luz por parte dos cultivos que sofreram estresse no final do período vegetativo, o que pode implicar numa menor produção de fotoassimilados e conseqüentemente refletir na produção de grãos. Estudando os efeitos das limitações de água na cultura do girassol, Karam et al. (2007) apontaram uma redução de até 20% no IAF quando o déficit é aplicado nas fases iniciais do florescimento, 13% quando aplicado no estágio médio da floração e 9% quando este é aplicado na fase inicial da formação de sementes.

Soriano et al. (2004) também indicaram que plantas de girassol quando bem irrigadas tendem a expressar maiores valores de IAF quando comparadas aquelas plantas conduzidas com limitação hídrica. Sob irrigação plena as plantas tendem a incrementar o IAF até valores máximos no pleno florescimento, nesse período a evapotranspiração da cultura também aumenta, ao se direcionar para maturidade fisiológica inicia-se a senescência das folhas reduzindo rapidamente o IAF, sendo os fotoassimilados e energia direcionados preferencialmente para as sementes (ANDRADE, 1995).

A tabela 6 revela que a presença de resíduos culturais influenciou significativamente o IAF para os diferentes tratamentos, sobretudo nas datas apresentadas. Desta forma, pode-se inferir que a palha disposta em superfície pode contribuir de forma associativa com a prática de irrigação por déficit, para todas as datas o IAF foi superior nos tratamentos com a presença de resíduos culturais. Muito provavelmente esses efeitos são devido à redução nas taxas de evaporação da água do solo, sobretudo nos tratamentos T60 e T50, onde as frequências de umedecimento do solo foram menores.



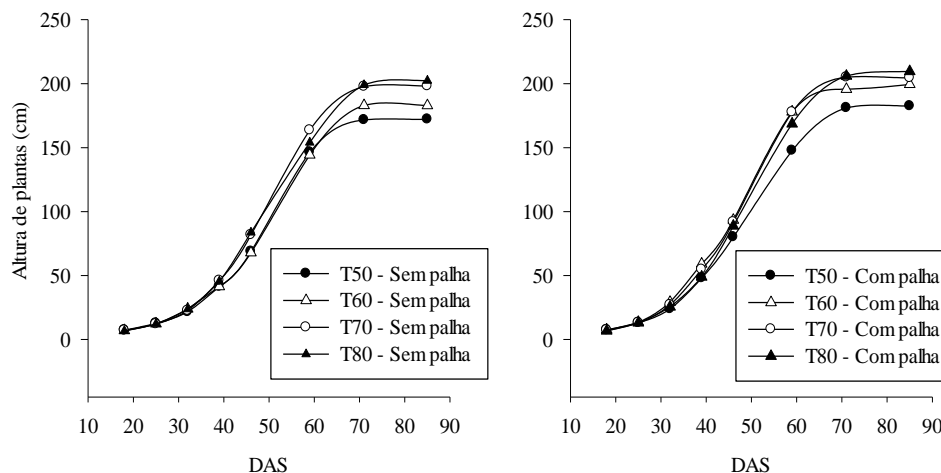
Tabela 6 - Efeito dos resíduos culturais no índice de área foliar (IAF) do girassol nos dias 12 e 19/11 de 2018 e 09/12/2018.

Tratamento	IAF (cm <sup>2</sup> cm <sup>2</sup> )
	12/11/2018
Com palha	0.734 a
Sem palha	0.613 b
	19/11/2018
Com palha	1.327 a
Sem palha	1.040 b
	09/12/2018
Com palha	3.158 a
Sem palha	2.747 b

Médias seguidas por mesmas letras na coluna, em cada dia de avaliação, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Na figura 22 está apresentado a evolução da altura de plantas ao longo do ciclo de desenvolvimento do girassol. Não houve interação significativa entre os níveis de irrigação deficitária e os resíduos culturais, da mesma forma só ocorreu diferença significativa para os efeitos da presença e ausência de palha, isoladamente, os tratamentos com diferentes níveis de irrigação não apresentaram efeito significativo. Apesar de não apresentar diferenças significativas verifica-se que o déficit de irrigação influenciou o crescimento das plantas, sobretudo após os 40 DAS, aproximadamente 16 dias após o início da aplicação dos tratamentos.

Figura 22 - Evolução da altura de plantas do girassol ao longo do ciclo de cultivo, nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80), com e sem a presença de resíduos culturais.



A tabela 7 demonstra que a presença de resíduos culturais afetou significativamente o crescimento das plantas, em todas as datas apresentadas, onde o efeito foi estatisticamente significativo, as parcelas com a presença de resíduos culturais obtiveram valores superiores em aquelas com solo desnudo, com valores máximos na avaliação do dia 4/01/19 onde as alturas das plantas atingiram 199.10 e 189 cm, respectivamente nos tratamentos com e sem palha, independente dos níveis de irrigação aplicados.

Celik et al. (2013) avaliando os efeitos de diferentes densidades de palha nos componentes de rendimento da cultura do girassol chegaram à conclusão de que a altura de plantas, juntamente com a biomassa seca total foram incrementadas com o aumento da densidade de resíduos culturais.

A altura de plantas é uma variável importante pois é, de maneira geral, relacionada diretamente com características de produtividade, sendo os valores variáveis de acordo com características específicas das cultivares (TOMICICH et al., 2003). Os resultados encontrados neste estudo sugerem que a presença de resíduos traz benefícios ao ambiente solo que promovem melhores condições para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Os benefícios da palha se dão sobretudo nas camadas superficiais do solo, onde normalmente se encontra a maior massa radicular, promovendo menores variações de temperaturas e mantendo a umidade, o que acaba criando um estímulo a proliferação tanto vertical quanto horizontal do sistema radicular (GAJRI et al., 1991).

Tabela 7 - Efeito dos resíduos culturais na altura de plantas do girassol nos dias 05, 12, 19 e 26/11 de 2018, 09 e 21/12/2018 e 04/01/2019.

<b>Datas</b>	<b>Altura de plantas (cm)</b>	
	<b>Com palha</b>	<b>Sem palha</b>
05/11/2018	13.12 a	12.20 b
12/11/2018	26.30 a	22.80 b
19/11/2018	52.63 a	43.00 b
26/11/2018	88.42 a	75.50 b
09/12/2018	168.00 a	152.10 b
21/12/2018	196.92 a	187.83 b
04/01/2019	199.10 a	189.00 b

Médias seguidas por mesmas letras na linha, em cada dia de avaliação, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

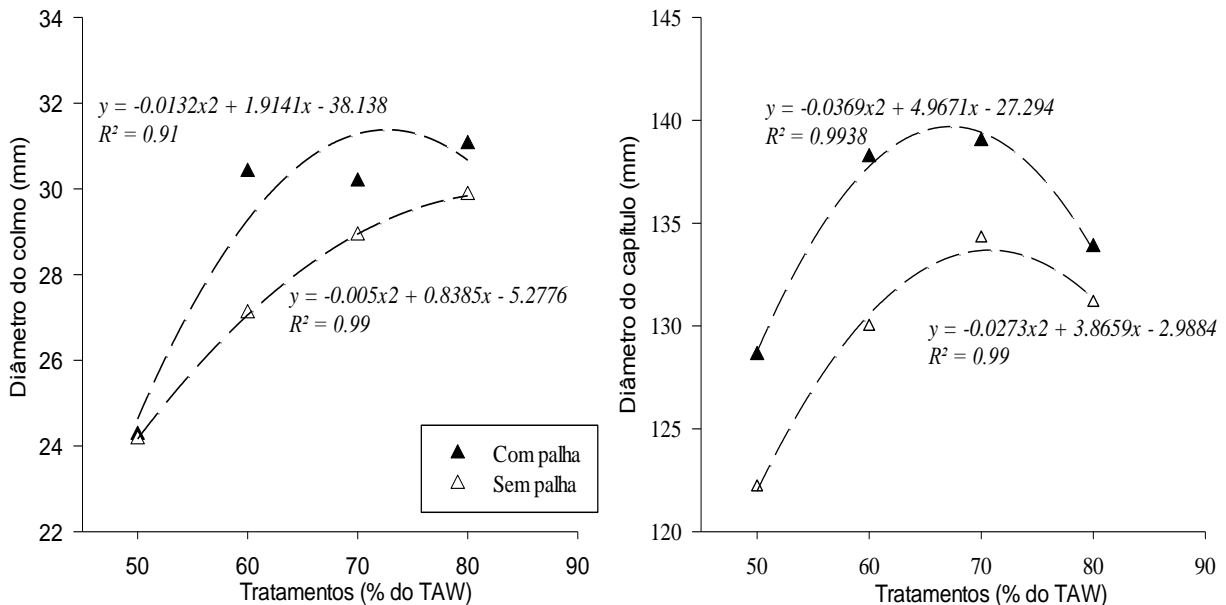
Os diâmetros do colmo (DCo) e capítulo (DCa) das plantas de girassol também foram características importantes na produção do girassol, e que foram significativamente influenciadas pela aplicação dos tratamentos (figura 23). Para ambas as variáveis (DCo e DCa) houve interação significativa entre os diferentes níveis de irrigação deficitária com a presença e ausência de resíduos culturais.

Para o DCo o maior valor encontrado foi no tratamento T80 com 31 e 29.8 mm, respectivamente com e sem a presença de resíduos, e os menores valores no tratamento T50 com 24.2 e 24.15 mm, respectivamente com e sem a presença de resíduos. Para o Dca os maiores valores encontrados foram observados no tratamento T70 com 139 e 134.2 mm, respectivamente com a sem resíduos, e os menores também no tratamento T50 com 128.5 e 122.16 mm, respectivamente com e sem a presença de resíduos culturais dispostos em superfície.

O DCo é um importante componente na cultura do girassol, o incremento em seu diâmetro representa acúmulos de matéria seca que são relevantes para a translocação para os grãos, um maior diâmetro reflete plantas resistentes ao acamamento no final do ciclo, o que se torna importante para sustentar a produção de capítulos com grande número de grãos. Leite et al. (2005) verificaram uma variação média de 10 a 80 mm entre as cultivares de girassóis mais disponíveis no mercado.

As maiores diferenças observadas, impostas pela presença dos resíduos, foram na variável DCa com destaque para os tratamentos T70 e T60, tanto com quanto sem a presença de resíduos culturais, isso demonstra os benefícios impostos pelos resíduos culturais no desenvolvimento das plantas. A dimensão do capítulo é um importante componente, indicativo da produtividade de grãos, sendo o aumento de seu tamanho relacionado com a adequada disponibilidade de água e nutrientes às plantas.

Figura 23 - Análise de regressão para os diâmetros do colmo e do capítulo do girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80), com e sem a presença de resíduos culturais.



#### 4.2.4 Massa seca total e acúmulo de nutrientes

A matéria seca da parte aérea das plantas (MS) também foi significativamente influenciada pela aplicação dos tratamentos. A figura 24 apresenta os resultados de matéria seca total da parte aérea das plantas, houve interação significativa ( $p < 0.05$ ) entre os diferentes níveis de irrigação deficitária com a presença ou ausência de resíduos culturais, os tratamentos com a presença de resíduos culturais obtiveram valores acima quando comparados aos tratamentos com solo desnudo.

O tratamento T80 obteve os maiores valores de MS, com aproximadamente  $163 \text{ g planta}^{-1}$  e  $130 \text{ g planta}^{-1}$ , respectivamente com e sem a presença de resíduos culturais, já os menores valores foram apresentados pelo tratamento T50, com aproximadamente  $117 \text{ g planta}^{-1}$  e  $103 \text{ g planta}^{-1}$ , respectivamente com e sem a presença de restos culturais em superfície.

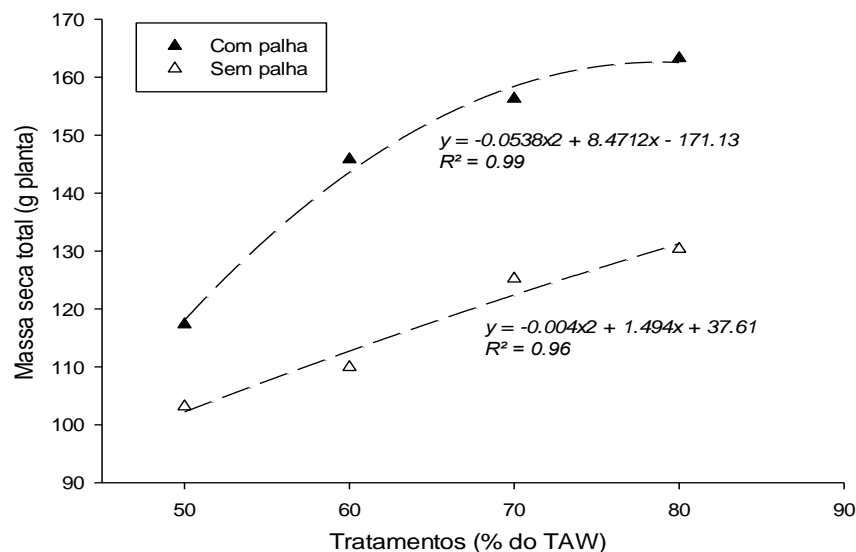
A disponibilidade de água no solo se mostrou um parâmetro importante para o acúmulo de MS no girassol, observa-se um padrão decrescente neste componente à medida que ocorre um decréscimo na reposição de água no solo, ou seja do T80 para o T50. El-Bially et al. (2018) verificaram que plantas de girassol bem irrigadas cresceram e se desenvolveram melhor assim

como proveram maior rendimento de grãos em relação a plantas de sequeiro, destacaram o fato de mesmo sendo o girassol uma planta relativamente resistente à seca, o rendimento e o teor de óleo podem ser bastante reduzidos em plantas expostas à um déficit hídrico durante os principais estádios de crescimento, sobretudo no período de floração, portanto a irrigação pode ser considerada um fator primordial na obtenção de altas produtividades.

Diversos estudos comprovam o fato de que em condições de estresse hídrico ocorre uma diminuição de desempenho produtivo (NEZAMI et al., 2008). Pode ocorrer uma redução na massa radicular, comprimento e diâmetro do caule, área foliar, massa seca da parte aérea, além disso, pode haver reflexos no diâmetro de capítulos, número de sementes por capítulo, peso de mil sementes, produtividade de grãos, índice de colheita e produção de óleo vegetal (MANIVANNAN et al., 2007; SOLEIMANZADEH et al., 2010; NEZAMI et al., 2008).

Assim como ocorreu na avaliação de outros parâmetros neste estudo, pode-se inferir que existe um efeito adicional entre a redução no suprimento de água e a presença de resíduos culturais no incremento da MS, indicando que a associação da prática de irrigação por déficit com a presença de resíduos no solo pode implicar numa maior economia da água de irrigação, portanto, essa interação pode ser promissora na economia de recursos naturais e na construção de uma agricultura mais sustentável sem necessariamente haver redução significativa na produtividade das plantas.

Figura 24 - Análise de regressão para matéria seca total de plantas nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) com e sem a presença de resíduos culturais.



As figuras 25, 26 e 27 apresentam os resultados de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) acumulados na matéria seca das folhas, colmos e capítulos das plantas, respectivamente. Para todas as partes das plantas houve interação significativa ( $p < 0.05$ ) mostrando que ocorreram diferenças no acúmulo de nutrientes em função dos diferentes níveis de irrigação deficitária e a presença de resíduos culturais, com exceção do P nas folhas onde a interação não foi significativa, sendo observado efeito significativo isolado apenas em função dos diferentes níveis de irrigação.

Em todas as partes das plantas (folhas, colmos e capítulos) observou-se maior acúmulo de N, tanto na presença quanto na ausência de resíduos culturais, nos tratamentos T70 e T60, enquanto que os tratamentos T80 e T50 obtiveram valores menores e mais próximos entre si. Os tratamentos T70 e T60 aumentaram a absorção de N, já o tratamento T50 houve um decréscimo na absorção e acúmulo nos tecidos vegetais. Marziyeh et al. (2019) verificaram um aumento na concentração de N na parte aérea das plantas mais expressivo quando estas eram impostas a um déficit hídrico controlado leve, porém, com o aumento no nível de estresse hídrico ocorreu uma diminuição na concentração de N nos órgãos das plantas.

O N é um importante componente de aminoácidos, em plantas oleaginosas é determinante na equalização de proteínas e também na produtividade de óleo, uma vez que participa diretamente na síntese de componentes de reserva nas sementes. Quando o solo apresenta níveis adequados de N se faz presente um cenário ideal para a fotossíntese, crescimento e desenvolvimento de raízes e conseqüentemente maior absorção, isso na presença de umidade, com a redução da água disponível, ou sob estresse hídrico, a absorção de N diminui (CHEN et al., 2015; GONZALES-DUGO et al., 2010).

O acúmulo de P nas diferentes partes das plantas também foi influenciado pelos diferentes níveis de irrigação deficitária, com interação significativa entre a presença de palha para os valores encontrados de acúmulo no colmo e capítulo. Nos tratamentos T70 e T80 foram encontrados os maiores valores, nas folhas de colmo, já nos capítulos os maiores valores foram observados nos tratamentos T70 e T60, mostrando a maior eficiência na translocação desse elemento, já os menores valores foram encontrados no tratamento T50 em todas as partes das plantas.

O P é um elemento essencial para as culturas agrícolas, sendo a mobilização das folhas e colmo para os grãos bastante variável, depende tanto de sua disponibilidade no solo quanto das condições ideais para a ocorrência de um adequado metabolismo. A deficiência de P sobretudo no

início do ciclo das plantas pode acarretar menor crescimento enchimento de grãos e teor de óleo vegetal (ALVES et al., 2010).

Os resultados encontrados neste estudo sugerem que um déficit hídrico leve a moderado promoveu uma maior translocação de P para os capítulos e conseqüentemente auxiliando no enchimento de grãos, uma vez que no tratamento T80 houve uma redução na concentração das folhas e colmo em relação ao capítulo. Em situações de estresse hídrico mais severo pode ocorrer maior dificuldade na absorção de P promovendo uma retranslocação de partes velhas para mais jovens da planta, normalmente o P se move rapidamente pelo floema das plantas em especial na direção de tecidos mais jovens e em desenvolvimento (MALAVOLTA, 1980; NOVAIS & SMYTH 2006).

Em relação ao acúmulo de K nos tecidos vegetais, observou-se a mesma tendência ocorrida para os N e P, sendo os maiores valores encontrados quando da presença de resíduos culturais em relação ao solo desnudo. O K foi o elemento encontrado em maior abundância em comparação ao P e N, este também é um macronutriente essencial e geralmente é o 3º que mais limita a produtividade das lavouras, sendo o nutriente encontrado em maior concentração nas plantas (MARENCO & LOPES, 2005).

O suprimento bem adequado de K representa maior eficiência no uso da água, enquanto que plantas crescendo em ambientes deficientes desse nutriente possuem menor desempenho fotossintético, devido à abertura dos estômatos não ocorrer de maneira equilibrada, reduzindo a entrada de dióxido de carbono (DUTRA et al., 2012). Por estar diretamente relacionado com a condutância estomática o K tem estreita relação com a resistência das plantas ao estresse hídrico.

O fechamento estomático é uma das respostas iniciais das plantas ao contado com baixa disponibilidade de água, quando as raízes se encontram em ambiente com deficiência hídrica ocorre a geração de sinais químicos que geram reações nas células guardas, criando assim um estímulo ao fechamento estomático (MITTLER & BLUMWALD, 2015; PIRASTEH-ANOSHEH et al., 2016).

A partir dos resultados encontrados se observou que a presença de resíduos culturais influenciou positivamente o acúmulo de N, P e K no tecido vegetal, também foi possível observar uma menor amplitude nas diferenças entre os tratamentos com diferentes níveis de irrigação com a ausência de resíduos. Também foi perceptível um aumento na concentração de K no tratamento T50 quando do cultivo em solo desnudo, isso devido ao K ter maior importância no metabolismo de plantas em ambientes com baixa disponibilidade de água.

A presença de palha também se mostrou eficiente em manter níveis mais elevados de nutrientes (NPK) nos tecidos dos diferentes órgãos vegetais. A disposição de palha em superfície não é eficiente apenas na redução das perdas de água por evaporação, mas também no aumento da quantidade de matéria orgânica e carbono, que servem como fonte de energia para microbiota do solo, promovendo assim uma maior ciclagem de nutrientes e consequente disponibilidade para as plantas (JORDÁN et al., 2010; ODHIAMBO & IRMAK, 2012).

Em geral esses resultados demonstraram que a prática da irrigação deficitária associada a presença de resíduos culturais promoveu incrementos nos teores de N, P e K acumulado na matéria seca do girassol, uma vez que os tratamentos T70 e T70 obtiveram no geral valores mais elevados em relação ao tratamento T80.

Figura 25 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na matéria seca de folhas de girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) com e sem a presença de resíduos culturais.

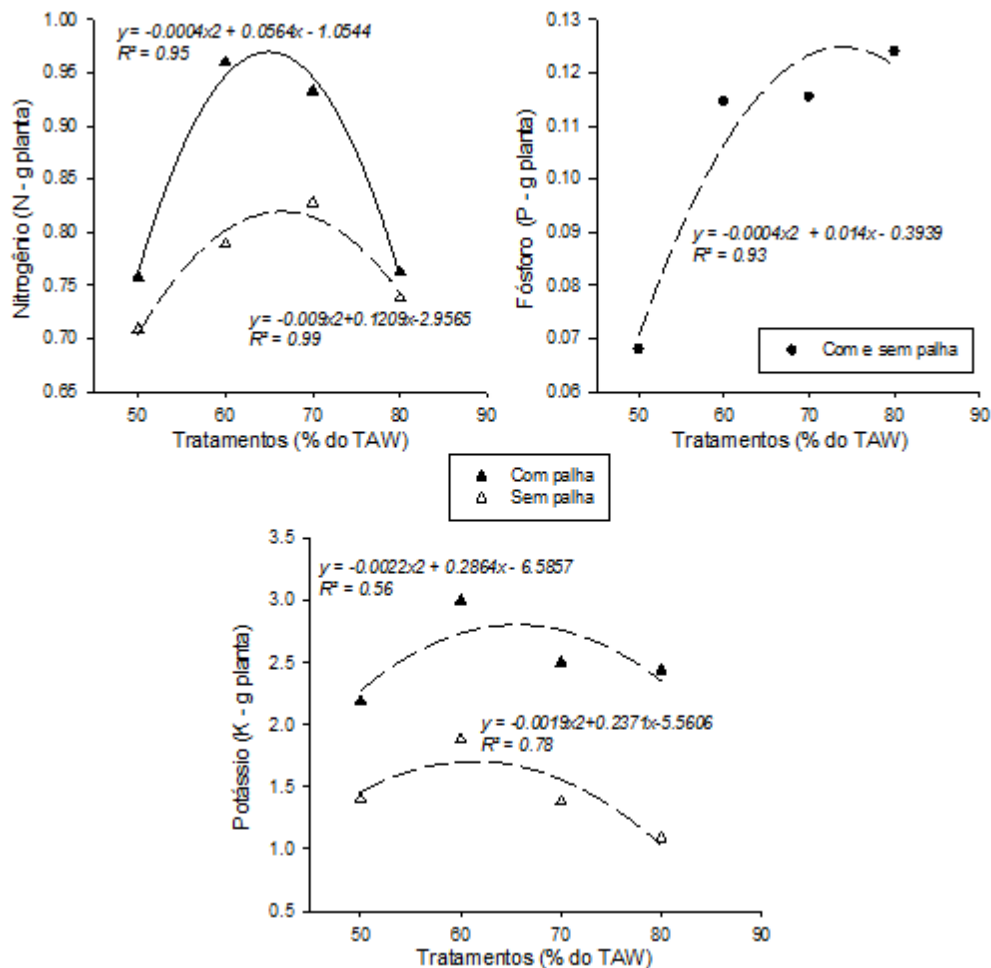




Figura 26 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na matéria seca de colmos de girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) com e sem a presença de resíduos culturais.

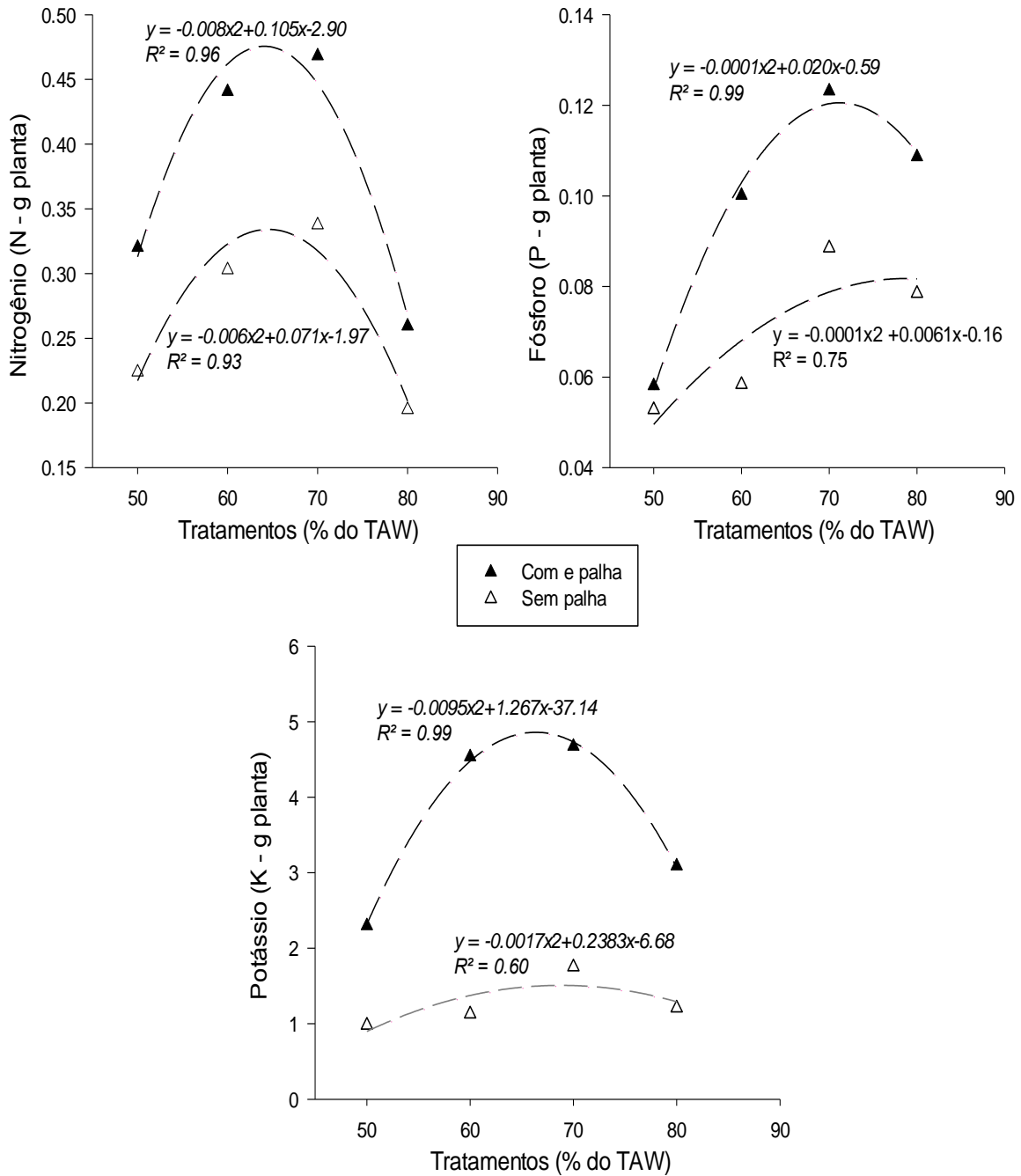
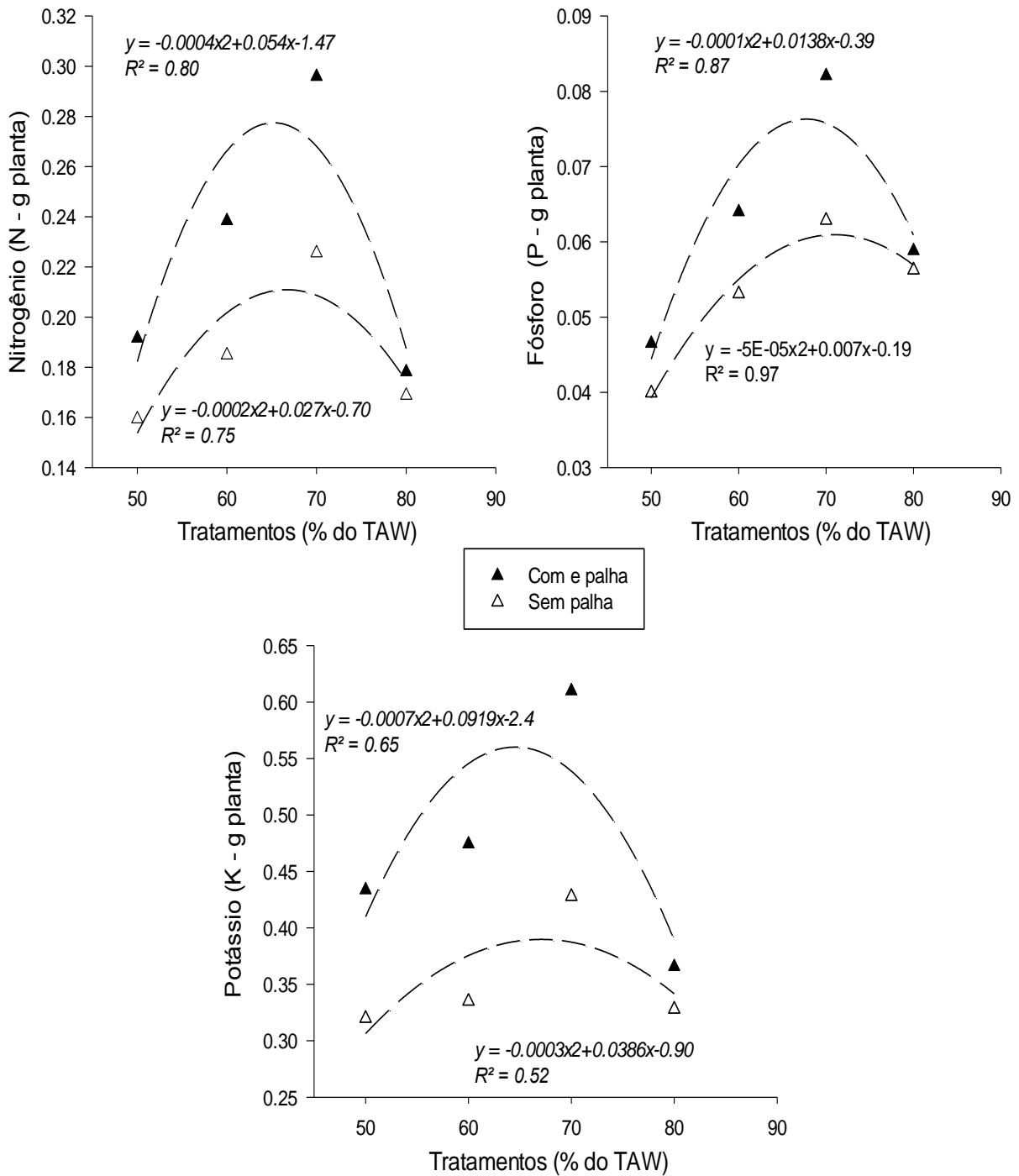


Figura 27 - Acúmulo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) na matéria seca dos capítulos de girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80) com e sem a presença de resíduos culturais.



#### 4.2.5 Produtividade de grãos e óleo vegetal

Não houve interação significativa entre os diferentes níveis de irrigação deficitária com a presença e ausência de resíduos culturais para as variáveis produtividade de grãos e peso de 1000 grãos. Para a produtividade de grãos houve o efeito significativo isolado apenas dos níveis de irrigação, já para o peso de 1000 grãos ocorreu efeito significativo isolado tanto dos níveis de irrigação quanto da presença de resíduos culturais.

Os maiores valores de produtividade encontrados foram observados nos tratamentos T70 seguido de T60, e o menor valor foi verificado no tratamento T50 (figura 28). Esses resultados provavelmente ocorreram em resposta a condições de umidade adequada no solo associado ao equilíbrio nutricional, verificado no item anterior, a mesma tendência foi verificada no peso de 1000 sementes, onde também se fez presente a influência dos resíduos culturais, onde os maiores pesos foram obtidos nos tratamentos com a presença de resíduos culturais (tabela 8).

Possivelmente a decomposição da matéria orgânica deve ter disponibilizado uma maior quantidade de nutrientes, aliado a isso, a disponibilidade de água deve ter sido adequada quando se manteve o conteúdo de água no solo entre 70 e 60% do TAW, não sendo necessário manter conteúdos de água mais elevados. Isso demonstra uma eficiência na prática da irrigação deficitária associada a resíduos culturais como sendo promissores na economia de recursos naturais e também redução nos custos de produção da cultura do girassol.

Tabela 8 - Efeito dos resíduos culturais no peso de 1000 grãos de girassol.

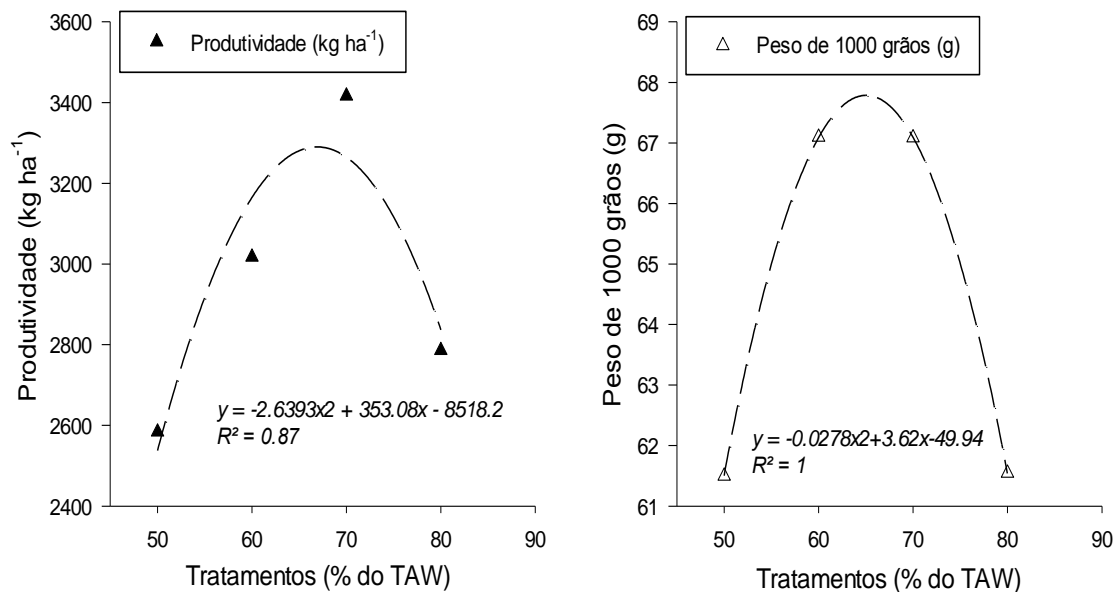
Tratamentos	Peso de 1000 grãos
	<i>Gramas (g)</i>
<i>Com palha</i>	66.31 a
<i>Sem palha</i>	62.29 b

Médias seguidas por mesmas letras na coluna, em cada dia de avaliação, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Também se observou interação significativa para a produtividade de óleo vegetal de girassol entre os diferentes níveis de irrigação deficitária com a presença de resíduos (figura 29). O mesmo

não ocorreu com o teor de óleo onde se observou efeito significativo isolado dos diferentes níveis de irrigação deficitária e da presença de resíduos, sem interação significativa entre eles (figura 29 e tabela 9).

Figura 28 - Produtividade de grãos e peso de 1000 grãos de girassol nos diferentes níveis de irrigação deficitária (T50, T60, T70 e T80).



O girassol é uma cultura considerada relativamente sensível à deficiência hídrica, no entanto, a quantidade e distribuição da água ao longo do ciclo podem afetar o rendimento de grãos e também de óleo, sendo o estresse causado pela água ocorrido no estágio reprodutivo da planta causador de maiores impactos negativos na produtividade (REDDY et al., 2003).

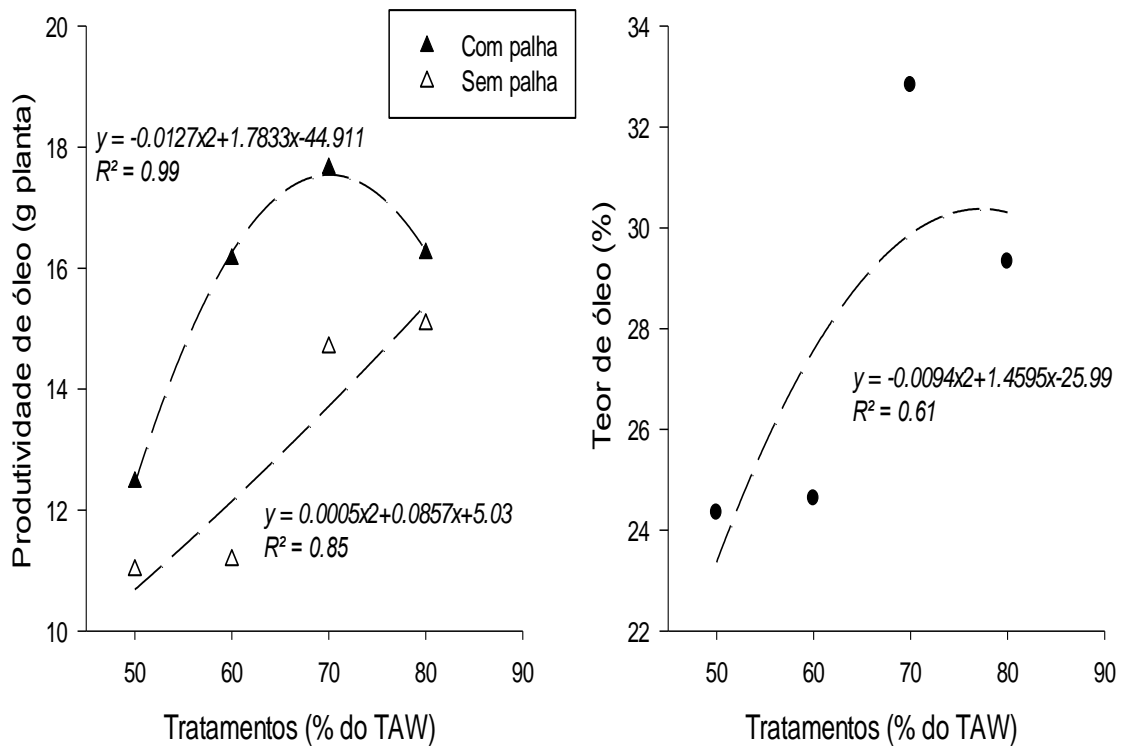
O rendimento do óleo de girassol é representativo do rendimento econômico da cultura e está diretamente relacionado com a produtividade de sementes e ao teor de óleo. Rashidi et al. (2012) descreveram que o estresse hídrico causou diminuição no rendimento e peso de sementes de canola. No entanto, assim como observado neste estudo, Ebrahimian et al. (2019) verificaram que a aplicação de um déficit hídrico leve não alterou significativamente a produção de óleo na cultura do gergelim e açafrão, porém, quando o nível do estresse aumentou os efeitos foram perceptíveis, reduzindo principalmente o teor de óleo na cultura do girassol.

Tabela 9 - Efeito dos resíduos culturais no teor de óleo vegetal de girassol.

Tratamento	Teor de óleo (%)
Com palha	29.77 a
Sem palha	25.79 b

Médias seguidas por mesmas letras na coluna, em cada dia de avaliação, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Figura 29 - Produtividade e teor de óleo vegetal de girassol em função da aplicação de diferentes níveis de irrigação deficitária com e sem a presença de resíduos culturais.



A composição percentual de ácidos graxos (AG) realizada em sementes de girassol apresentadas neste estudo demonstrou como principais componentes sete AG, sendo estes: palmítico, esteárico, oleico, linoleico, linolênico trans, linolênico e dihomo- $\gamma$ -linolênico, sendo os três últimos em pequenas concentrações (elementos traço).

Não houve efeito significativo devido a presença de resíduos culturais na composição dos AG nas sementes de girassol, foi verificada diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) apenas em função da aplicação dos diferentes níveis de irrigação deficitária para a presença de AG saturados palmítico e esteárico (figura 30) e os AG poli-insaturados linolênico trans, linolênico e dihomog- $\gamma$ -linolênico (figura 31).

Apesar de não apresentarem diferenças significativas em função da aplicação dos diferentes tratamentos os AGs oleico e linoleico foram os que ocorreram em maiores concentrações, com variações de 49 a 52% e 41 a 45% respectivamente para os ácidos oleico e linoleico. Outros autores relataram quantidades semelhantes em sementes de girassol, onde as maiores proporções também foram encontradas para o ácido oleico em relação ao linoleico (RAMOS et al., 2009; AGUILLÓN-PÁEZ et al., 2020). Além disso, é importante destacar que a presença desses ácidos pode aumentar a proporção de AG insaturados o que confere melhor qualidade ao óleo vegetal.

A redução no conteúdo de água no solo promoveu efeitos nas proporções de AG saturados palmítico e esteárico, se observou que os tratamentos T80 e T70 apresentaram maiores valores em comparação aos tratamentos T60 e T50. Os AG palmítico (16:0) e sobretudo o esteárico (18:0) são ácidos de relevante importância para a formação de AG insaturados (MOREIRA et al., 2002).

É válido salientar que os resultados deste estudo demonstraram que os tratamentos T80 e T70 levaram a obter uma maior proporção de AG poli-insaturados linolênico trans e linolênico, como apresentado na figura 31. Estes são ácidos  $\omega$ -6 e  $\omega$ -3 respectivamente, que são essenciais para a saúde humana uma vez que o organismo não é capaz de sintetizá-los por si só. Também se observou, apesar de baixas concentrações, o aparecimento de outro ácido poli-insaturado tipo  $\omega$ -6 (dihomog- $\gamma$ -linolênico) nos tratamentos T60 e T50.

Figura 30 - Composição em ácidos graxos de sementes de girassol (% em peso). \* número de átomos de carbono: número de duplas ligações. Tratamentos (% do TAW).

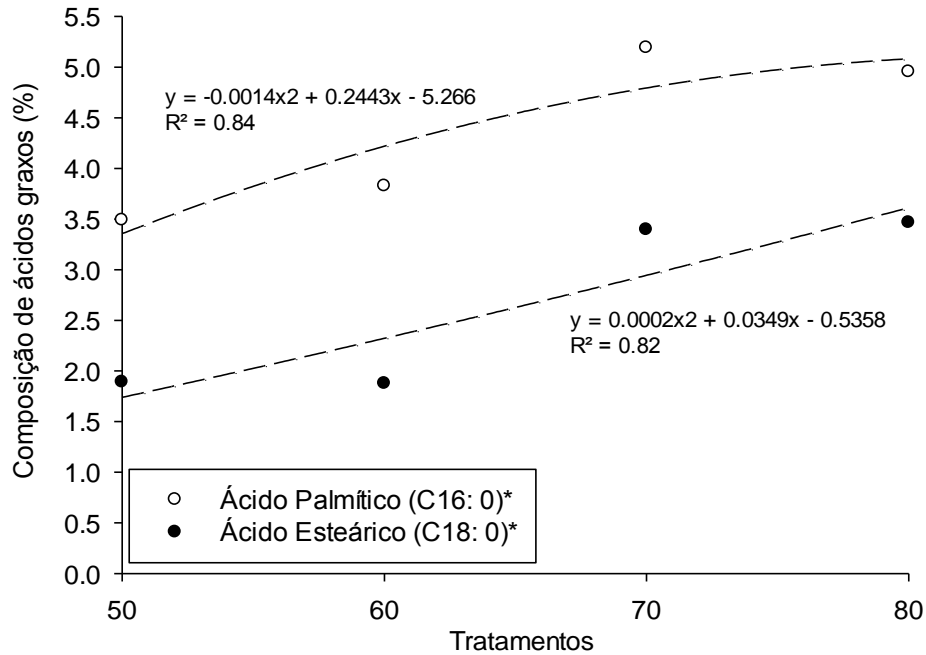
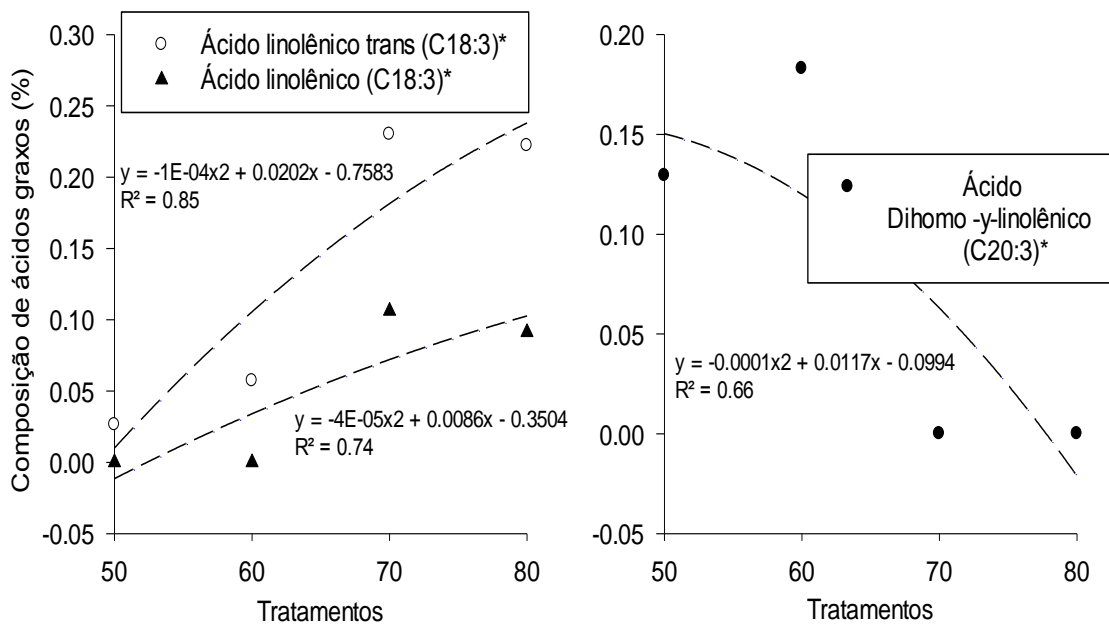


Figura 31 - Composição em ácidos graxos de sementes de girassol (% em peso). \* número de átomos de carbono: número de duplas ligações. Tratamentos (% do TAW).



## 5 CONCLUSÃO

A presença de resíduos culturais dispostos em superfície proporcionou menores taxas de Es, sobretudo na camada superficial do solo (0-10 cm) e antes do fechamento das entrelinhas pelo dossel de plantas. Com o aumento do IAF a Es foi reduzida tanto em condições de solo desnudo quanto com a presença de resíduos, entretanto, mesmo nessas condições o solo com a presença de resíduos se manteve mais úmido, em especial na camada superficial.

A quantidade de resíduos se demonstrou um fator significativo na fração de água retida e, nas condições deste estudo, observou-se uma retenção máxima de aproximadamente 10% da água aplicada via irrigação por aspersão, na condição de 100% de resíduos.

A prática da irrigação deficitária foi uma alternativa eficiente para reduzir o consumo de água sem afetar o crescimento e desenvolvimento do girassol, onde a aplicação do tratamento (T70) obteve um maior IAF e altura de plantas.

A presença de resíduos foi um fator que contribuiu com a aplicação da irrigação deficitária, uma vez que manteve o conteúdo de água mais elevado com o aumento do nível de irrigação deficitária, em solo desprovido de resíduos em superfície.

O acúmulo de nutrientes (NPK) na matéria seca do girassol e a produtividade de grãos e óleo demonstraram que é possível reduzir o aporte hídrico sem afetar esses componentes, onde os melhores índices foram obtidos com os tratamentos T70 e T60.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. Lysimeters. (**FAO Irrigation and Drainage Paper, 39**). 68 p. 1982.
- AGUILLÓN-PÁEZ, Y. J.; ROMERO, L. A.; DIAZ, G. J. Effect of full-fat sunflower or flaxseed seeds dietary inclusion on performance, egg yolk fatty acid profile and egg quality in laying hens. **Animal Nutrition**. v.6, p.179-184, 2020. doi:10.1016/j.aninu.2019.12.005
- ALEXANDRATOS, N. How to feed the world in 2050. **Proceedings of a Technical Meeting of Experts 450** (FAO, Rome). p. 1-32, 2009.
- ALLEN, R. G. & PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, 28(1), p. 17-34. 2009.



ALLEN, R.G. et al. FAO-56 DualCrop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. *J. Irrig. Drain. Engng.* 131(1): 2-13. 3. 2005.

ALLEN, R.G.; et al. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. **FAO irrigation and drainage paper 56**. Rome, Italy, 300p. 1998.

ALLEN, R.G.; et al. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management.** v.6, p. 899–920. 2011. doi:10.1016/j.agwat.2010.12.015

ALVES, G. M. R. et al. **Desenvolvimento do girassol sob adubação fosfatada**. In: congresso brasileiro de mamona e simpósio internacional de oleaginosas energéticas, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina grande: Embrapa Al-godão, p. 595-599, 2010.

ANDRADE, F.H. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. **Field Crops Res.** v.41, p.1–12, 1995.

ANDRADE, J. A.; ABREU, F. G. Influência da temperatura e do teor de umidade do solo na área foliar e acumulação de matéria seca durante o estabelecimento da ervilha, do milho e do girassol. **Revista de Ciências Agrárias**, v.30, p.27-37, 2007.

BÁEZ, M.S.A. et al. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investig. Agrar.** 22(1):03-12, 2020. <http://dx.doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.junio.03-12>

BALUGANI, E. et al. Testing three approaches to estimate soil evaporation through a dry soil layer in a semi-arid area. **Journal of Hydrology.** v.567, p.405-419, 2018. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.10.018

BALUGANI, E. et al. Groundwater and unsaturated zone evaporation and transpiration in a semi-arid open woodland. **J. Hydrol.** v. 547, p. 54-66, 2017. 10.1016/j.jhydrol.2017.01.042

BELL, J.M. et al. Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural. Water Management.** v. 203. p. 289-296, 2018.

BERGAMASCHI, H.; et al. Agrometeorologia aplicada à irrigação. **Porto Alegre: EDUFGRS.** 1992.

BLIGH, E.G, DYER, W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Can J Biochem Physiol.** v.37, p.911–917, 1959.

BURT, C. et al. Evaporation Research: Review and Interpretation. *J. Irrig. Drain Eng.* p. 37-58. 2005. DOI: doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(37)

- CANDOGAN, B.; YAZGAN, S. Yield and quality response of soybean to full and deficit irrigation at different growth stages under sub-humid climatic conditions. **Journal of Agricultural Sciences**. v.22, p.129-144, 2016.
- CARLESSO, R. et al. Runoff estimation in southern Brazil based on Smith's modified model and the curve number method. **Agricultural Water Management**, v.98(6), p.1020-1026, 2011.
- CASTRO, C. et al. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.214-220, 2006.
- CELIK, A.; ALTIKAT, S.; WAY, T.R. Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. **Soil and Tillage Research**. v.131, p.20-27, 2013.
- CHEN, Y. et al. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. **Eur. J. Agron.** v.62, p. 79-89, 2015.
- CLARK, L.J., WHALLEY, W.R., BARRACLOUGH, P.B. How do roots penetrate Strong soil?. **Plant Soil**. v.255, p.93-104, 2003.
- COMAS, L.H. et al. Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. **Agricultural Water Management**, v.212, p. 433-440, 2019.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento de safra: levantamento safra 2017/18: Brasília-DF: Companhia Nacional de Abastecimento. 2018. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 02/abr/19.
- DIVAKAR, L., et al. 2011. Optimal allocation of bulk water supplies to competing use sectors based on economic criterion-an application to the Chao Phraya River Basin, **Thailand. J. Hydrol.** v.401 (1-2), p.22-35, 2011.
- DUTRA, C. C. et al. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n.1, p. 2657-2668, 2012.
- EBRAHIMIAN, E. et al. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. **Agricultural Water Management**, v.218, p.149-157, 2019.
- EL-BIALLY, M. et al. Efficacy of ascorbic acid as a cofactor for alleviating water deficit impacts and enhancing sunflower yield and irrigation water use efficiency. **Agricultural Water Management**. v. 208, p.132-139, 2018.
- EVETT, S. R.; WARRICK, A. W.; MATHIAS, A. D. Wall material and capping effects on microlysimeter temperatures and evaporation. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 59, p. 329-336.1995.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.2, n.1, p.187-190, 2009.

FAO. Energy-smart for People and Climate-issue Paper. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2011.

FAO. FAO Database: agriculture production. **Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2017. Disponível em: [www.fao.org/faostat/en/#data/QC](http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC). Consultado em: 20/01/19.

FERERES, E. & SORIANO, M.A. **Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany**, v.58, p. 147-159, 2007. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>.

FERERES, E.; SORIANO, M.A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**. v.58, p. 147-159, 2007.

FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. v.35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FINDELING, A.; CHANZY, A.; DE LOUVIGNY, N. Modeling water and heat flows through a mulch allowing for radiative and long distance convective exchanges in the mulch. **Water Resources Research**, v.39, p.1-12, 2003.

FLUMIGNAN, D L. Evapotranspiração, seus componentes e coeficientes de cultivo simples e dual de cafeeiros. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)**. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Agronomia. Londrina. 2008. 90p.

GAJRI, P.R. et al. Irrigation and tillage effects on root development, water use and yield of wheat on coarse textured soils. **Irrigation Science**. v.12, p.161-168, 1991.

GALÁN-MARTÍN, Á. et al. Multi-objective optimization of rained and irrigated agricultural areas considering production and environmental criteria: a case study of wheat production in Spain. **Journal of Cleaner Production**, v.140, p.816–830. 2017. [doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.099](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.099)

GALÁN-MARTÍN, et al. Multi-objective optimization of rained and irrigated agricultural areas considering production and environmental criteria: a case study of wheat production in Spain. **J. Clean. Prod.** v.140, p.816–830., 2017.

GARCIA Y GARCIA, Y. et al. Response of soybean genotypes to different irrigation regimes in a humid region of the southeastern USA. **Agricultural Water Management**, v.97, p. 981-987. 2010.

GONZALEZ-DUGO, V.; DURAND, J.L.; GASTAL, F. (2010). Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. **Agron. Sustain. Dev.** v.30, p. 529-544, 2010.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1 n.2, p.96–99. 1985.

HARTMAN, L.; LAGO, R.C. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Lab Pract.** v.22, p.475–476, 1973.

HE, G.; WANG, Z.; CUI, Z. Managing irrigation water for sustainable rice production in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, p.27, 2019. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118928

HEGAB, A. S. A. et al. Productivity and irrigation requirements of faba-bean in North Delta of Egypt in relation to planting dates. **Annals of Agricultural Science**, v. 59, n. 2, p. 185-193, 2014.

HEIDARZADE, A. et al. Response of soybean (*Glycine max*) to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**. ISSN 2320-8694. v.4(1), p.37-46, 2016.

HILLEL, D. Environmental Soil Physics. **Academic Press**, San Diego, CA. 1998.

HOU, X.Y. et al. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of northwest China. **Agric. For. Meteorol.** v.150, p.115–121, 2010.

HOWELL, T.A. et al. **Evapotranspiration of deficit irrigated sorghum and winter wheat**. A.J. Clemmens (Ed.), USCID Fourth International Conference on Irrigation and Drainage, The Role of Irrigation and Drainage in a Sustainable Future, Sacramento, California, October 3–6. 2007.

IDSO, S. B.; REGINATO, R. J.; JACKSON, R. D. Calculation of evaporation during the three stages of soil drying. **Water Resources Research**, v.15, p. 487-488, 1979. doi.org/10.1029/WR015i002p00487

IRMAK, J.E. et al. Cassman Soybean yield, evapo-transpiration, water productivity, and soil water extraction response to subsurface drip irrigation and fertigation. **Trans. ASABE**, 57, pp. 729-748, 2014.

ISLAM, A. et al. Trout Modeling the impacts of climate change on irrigated corn production in the Central Great Plains **Agric. Water Manage.** v.110, p. 94-108, 2012.

JALOTA, S.K., PRIHAR, S.S. Bare-soil evaporation in relation to tillage. In: Steward, B.A. (Ed.), *Advances in Soil Science*. **Spring-Verlag, New York**, p. 187–216, 1990.

JENSEN, M.E & ALLEN, R.G. Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. ASCE Manual of Practice 70, 2nd edn. **American Society of Civil Engineers**, Reston, VA. 2016.

JIANG, Y. et al. Optimization regional irrigation water use by integrating a two-level optimization model and an agro-hydrological model. **Agric. Water Manage.** v.178, p.76–88, 2016.

JORDÁN, A.; ZAVALA, L.M.; GIL, J. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in Southern Spain. **Catena**, v. 81, n. 1, p. 77-85, 2010.

- JUNIOR, A.L.J.; LOPES, P.R.A. Soil covers and irrigation in the production of watermelon. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 30, n. 2, p. 315-322, 2009.
- JURY, W.A.; VAUX, J.H. The role of Science in solving the world's emerging water problems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. USA, v.102. p. 15715-15720, 2005.
- KARAM, F. et al. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under déficit irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, v.75, p.226-244, 2005.
- KARAM, F. et al. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and déficit irrigation conditions. **Agricultural water management**. v.90, p. 213-223, 2007.
- KLOCKE, N. et al. Evaporation measurements and predictions from soils under crop canopies. **Trans. ASAE**. 3(2), p. 1590-1596. 1990.
- KOOL, D. et al. **A review of approaches for evapotranspiration partitioning**. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol.184, p.56- 70, 2014.
- KOZAK, J. A. et al. Modelling crop canopy and residue rainfall interception effects on soil hydrological components for semi-arid agriculture. **Hydrological Processes**, v.21(2), p.229-241.2007. doi:10.1002/hyp.6235
- LANKREIJER, H.J.M.; HENDRIKS, M.J.; KLAASEN, W. A comparison of models simulating rainfall interception of forests. **Agric. For. Meteorol.** 64, 187-199. 1993.
- LEHMANN, P; ASSOULINE, S; OR, D. Characteristic lengths affecting evaporative drying of porous media. **Physcal Review E**. v. 77, p. 1-16, 2008.
- LEITE, R. M. V. B. C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. DE. (ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 613p, 2005.
- LOPES, A. et al. Manejo de irrigação e nitrogênio em feijoeiro comum cultivado em sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.1, p.51-56, 2011.
- LYRA, G.B. et al. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga, Botucatu**, v. 15, n. 2, p. 173-183, 2010.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ceres. 251p, 1980.
- MALDANER, I. C. et al. Modelos de determinação não destrutiva da área foliar em girassol. **Revista Ciência Rural**, v.39, p.1356-1361, 2009.

MANIVAN-NAN, P.C.A. et al. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. **Colloids Surf. B: Biointerf.** v.59, p. 141-149, 2007.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral.** Editora UFV. Viçosa, MG. 451p, 2005.

MARZIYEH, J.S.; MOHSEN, M.D.; AMIN, S.; BABAK, B. Effect of irrigation regimes and nitrogen sources on biomass production, water and nitrogen use efficiency and nutrients uptake in coneflower (*Echinacea purpurea* L.). **Agricultural Water Management.** v. 213, p.358-367, 2019.

MILLER, G. R., ET AL. Groundwater uptake by woody vegetation in a semiarid. **Water Resources Research.** v. 46, 2010. doi.org/10.1029/2009WR008902

MITTLER, R.; BLUMWALD, E. The roles of ROS and ABA in systemic acquired acclimation. **The Plant Cell.** v.27, p. 64-70, 2015.

MOREIRA, N.X.; CURI, R.; MANCINI FILHO, J. Ácidos graxos: uma revisão. **Nutrire; rev. Soc. Bras. Alim. Nutr. J. Brazilian Soc. Food Nutr.** São Paulo, SP., v.24, p.105-123, 2002.

MUTAMBARA, S.; DARKOH, M.; ALTHOPHENG, J. A. Comparative review of water management sustainability challenges in smallholder irrigation schemes in Africa and Asia. **Agric. Water Manage.** v.171 (2016), p. 63-72, 2016.

NEZAMI, H.R. et al. Effect of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus* L.) in controlled conditions. **Desert,** v.12, p. 99-104, 2008.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa: UFV, 399 p, 1999.

ODHIAMBO, L. O. & IRMAK, S. Evaluation of the impact of surface cover on single and dual crop coefficient for estimating soybean actual evapotranspiration. **Agricultural Water Management,** v. 104, p. 221-234, 2012. doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.021

ODHIAMBO, L.O.; IRMAK, S. Evaluation of the impact of surface cover on single and dual crop coefficient for estimating soybean actual evaporation. **Agricultural Water Management,** v.104, p.221-234, 2012.

PETRY, M.T. et al. Modeling yield, soil water balance, and economic return of soybean under different water deficit levels. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.40, n.4, p.526-535, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n4p526-535/2020>.

PEREIRA, L.S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management,** Amsterdam, v.108, p. 39–51, 2012.

- PEREIRA, L.S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**. v.108, p. 39–51, 2012.
- PIRASTEH-ANOSHEH, H. et al. Stomatal responses to drought stress. **Water Stress Crop Plants**. v.8, p. 24-40, 2016.
- PRADO, R. M.; LEAL, R. M. Desordens nutricionais por deficiência em girassol var. Catissol-01. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 3, p. 187-193, 2006.
- PRICE, J.J.; ROCHEFORT, L.; QUINTY, F. Energy and moisture considerations on cutover peatlands: surface micro topography, mulch cover and Sphagnum regeneration. **Ecol. Eng.** v.10, p.293–312. 1998.
- PROVENZANO, G.; RODRIGUEZ-SINOBAS, L.; ROLDÁN-CAÑAS, J. Irrigated agriculture: water resources management for a sustainable environment. **Biosyst. Eng.** v.128, p.1–3. 2014. doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.10.008.
- RAMOS, M.J.; et al. Influência da composição de ácidos graxos de matérias-primas nas propriedades do biodiesel. **Bioresour Technol.** 2009. 10.1016 / j.biortech.2008.06.039
- RASHIDI, S. et al. Study of relationship between drought stress tolerance with some physiological parameters in canola culti-vars (B. napus L.). **Ann. Biol. Res.** v.3, p. 564-569, 2012.
- REDDY, K.M et al. Efeito do estresse hídrico no rendimento e na qualidade de sementes de girassol, *Helianthus annuus* L. **J. Oil seeds. Res.** v.20, p. 282 – 283, 2003.
- RITCHIE, J. T.; **Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover, Water Resources, Research**, v.8, p.1204–1213, 1972.
- ROCHA, M.R. Retenção e armazenamento da água da chuva na camada evaporativa do solo com e sem resíduos vegetais. Tese (**Doutorado em Engenharia Agrícola**). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 78p, 2016.
- SALTON, J.C. & MIELNICZUCK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 313-319. 1995.
- SANTOS JÚNIOR, J.A. et al. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**. v.42, p.842-849, 2011.
- SATRIANI, A.; LOPERTE, A.; SOLDVIERI, F. Integrated geophysical techniques for sustainable management of water resource. A case study of local dry bean versus commercial common bean cultivars. **Agricultural Water Management**, 162, p. 57-66. 2015.

SAVABI, M.R.; STOTT, D.E. Plant residue impact on rainfall interception. **Trans. ASAE**. v.37, p.1093–1098. 1994.

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

SCHRÖTER, D.; ZEBISCH, M.; T. GROTHMANN. T. Climate change in Germany-vulnerability and adaptation of climate-sensitive sectors. **Klimastatusbericht DWD**, p.44-56, 2005.

SHAH, N; NACHABE, M; M, ROSS. Extinction depth and evapotranspiration from ground water under selected land covers. **Ground Water**, v. 45, p. 329-338, 2007. doi.org/10.1111/j.1745-6584.2007.00302.x

SHAWCROFT, R.W. & GARDNER, H.R. **Direct evaporation from soil under a row crop canopy. Agricultural Meteorology**. v.28, n.3, p. 229-238, 1983. https://doi.org/10.1016/0002-1571(83)90028-6

SILVA, A.R.A. et al. Morfologia e fitomassa do girassol cultivado em déficits hídricos em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.9. p.959-968, 2012.

SILVA, F.A.M. et al. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja utilizadas em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.5, p.717-724, 2006.

SILVA, V. P. R. et al. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, v.1, n.120, p.467-472. 2009.

SILVEIRA, L. K.; et al. Deficit irrigation effect on fruit yield, quality and water use efficiency: A long-term study on Pêra-IAC sweet orange. **Agricultural Water Management**, v.231, 2020. doi:10.1016/j.agwat.2020.106019

SINCIK, M. et al. Deficit irrigation of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in a subhumid climate. **J. Agron. Crop Sci**. v.194, p.200–205, 2008.

SMITS, K. M. et al. Evaporation from soils under thermal boundary conditions: Experimental and modeling investigation to compare equilibrium- and nonequilibrium-based approaches, **Water Resources Research**. v. 47, 2011. doi.org/10.1029/2010WR009533

SOLEIMANZADEH, H. et al. Res-ponse of sunflower (*Helianthus Annuus* L.) to drought stress under different potassium levels. **World App. Sci. J**. v.8, p. 443-448, 2010.

SORIANO, M.A. et al. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. **Eur. J. Agron**. v.21, p.465–476, 2004.

SULEIMAN, A. A.; RITCHIE, J. T. Modeling soil water redistribution during secondstage evaporation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 2, p.377-386, 2003.



TAGLIAFERRE, C. et al. Estimativa da Evapotranspiração de Referência para três localidades do estado da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 136-143. 2012.

TEDESCO, M.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. (Boletim Técnico de Solos, 5). 174p, 1995.

THORNTHWAITE, C.W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review, New York**, n.1, 38:55-94. 1948.

TODD, R W. et al. Soil temperature and water evaporation of small steel and plastic lysimeters replaced daily. **Soil Science**, v.165, p. 890-895, 2000. doi: 10.1097/00010694-200011000-00007

VADEZ, V. et al. Small temporal differences in water uptake among varieties of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) are critical for grain yield under terminal drought. **Plant Soil**, v.371, p. 447-462, 2013.

VAN BRAKEL, J. Mass transfer in convective drying, in Advances in Drying. **Hemisphere, Washington, D. C.** pp. 217– 267, 1980.

VIEIRA, P V D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do trigo (*Triticum aestivum*) edo coeficiente de evaporação da água do solo (Ke). (**Dissertação de Mestrado**). Universidade Estadual de Maringá – UEM. Maringá. 64p, 2013.

VISENTAINER, J.V. Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. **Quim Nova**, v.19, p.380-385, 2012.

WARD, R.C.; ROBINSON, M. **Principles of Hydrology**, 4th ed. McGraw-Hill Book Co., Great Britain (Chapter 3). 2000.

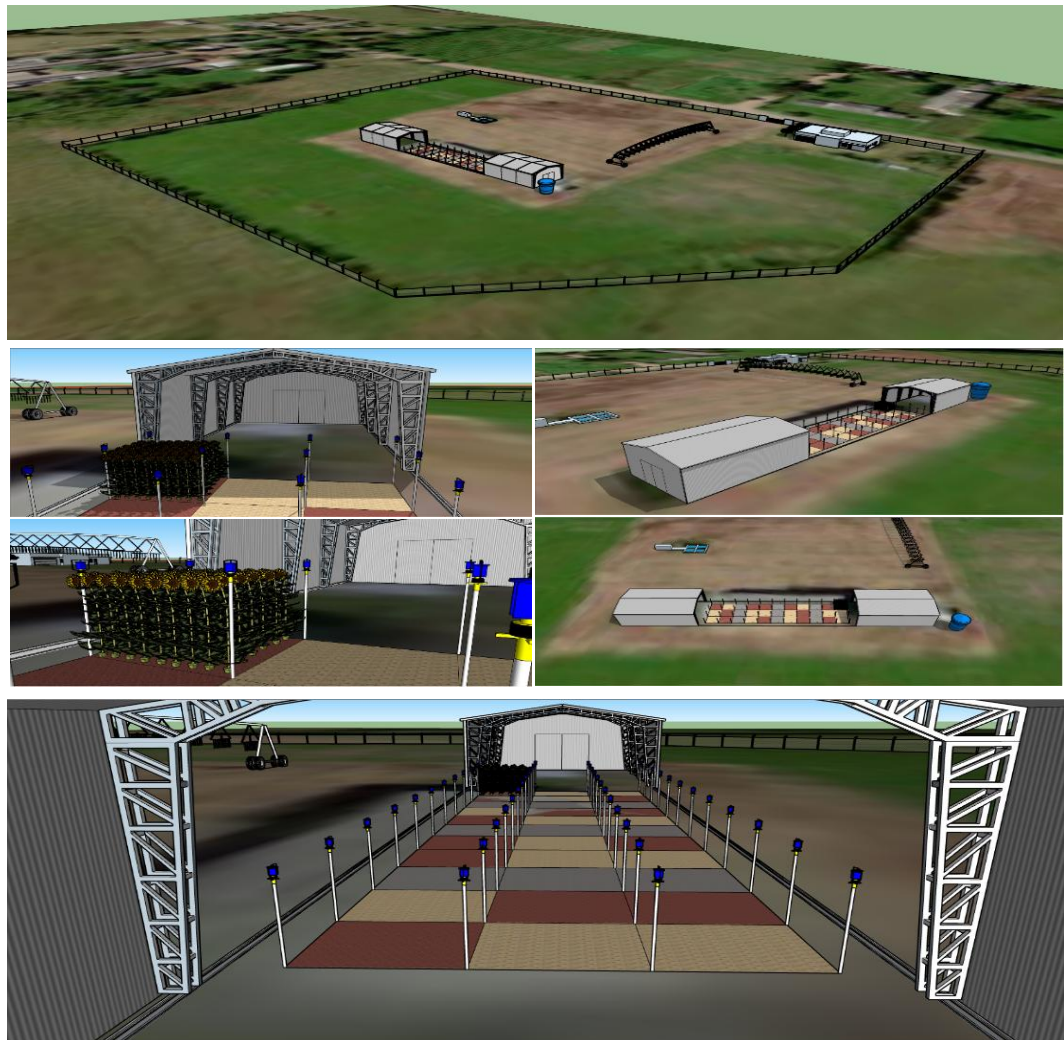
ZHANG, C; LI, L; DAVID, L. A physically based surface resistance model for evaporation from-bare soils. **Water Resources Research**, v.51, p. 1084-1111, 2015. doi.org/10.1002/2014WR015490

ZRIBI, W. et al. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation. **Soil & Tillage Research**. v.148: p. 40-45, 2015.

## 7 ANEXOS

### ANEXO A

Ilustração da área experimental do Sistema Irriga-UFSM, com detalhes da estrutura móvel tipo Rainolt Shelter e as parcelas experimentais em seu interior.



## ANEXO B

Análise de variância da evaporação de água do solo (Es), no primeiro dia de secagem, medida a partir de microlisímetros. (Estudo I).

DAS		Quadrado médio		CV (%)
		Tratamento	Erro	
19	Cultivo	3.397*		6.51
	Palha	4.166*	0.059	
	Interação	1.543*		
25	Cultivo	0.331 <sup>ns</sup>		7.61
	Palha	24.990*	0.107	
	Interação	0.754*		
47	Cultivo	71.449*		10.32
	Palha	3.651*	0.004	
	Interação	0.147 <sup>ns</sup>		
53	Cultivo	16.434*		9.95
	Palha	6.450*	0.185	
	Interação	0.445 <sup>ns</sup>		
75	Cultivo	47.799*		10.52
	Palha	0.883*	0.048	
	Interação	0.138 <sup>ns</sup>		
82	Cultivo	57.041*		10.25
	Palha	0.584*	0.049	
	Interação	0.066 <sup>ns</sup>		
87	Cultivo	64.222*		13.01
	Palha	1.016*	0.097	
	Interação	0.103 <sup>ns</sup>		
102	Cultivo	20.888*		20.63
	Palha	0.056*	0.089	
	Interação	0.122 <sup>ns</sup>		
115	Cultivo	45.073*		12.83
	Palha	0.700*	0.143	
	Interação	1.004*		

\*: Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: não significativo

## ANEXO C

Análise de variância da relação Es/ETo, no primeiro dia de secagem.(Estudo I).

DAS		Quadrado médio		CV (%)
		Tratamento	Erro	
19	Cultivo	0.071*	0.001	6.52
	Palha	0.084*		
	Interação	0.032*		
25	Cultivo	0.009 <sup>ns</sup>	0.003	7.60
	Palha	0.745*		
	Interação	0.023*		
47	Cultivo	2.444*	0.004	10.64
	Palha	0.126*		
	Interação	0.005 <sup>ns</sup>		
53	Cultivo	0.567*	0.006	10.04
	Palha	0.222*		
	Interação	0.014 <sup>ns</sup>		
75	Cultivo	2.788*	0.002	10.43
	Palha	0.051*		
	Interação	0.008 <sup>ns</sup>		
82	Cultivo	3.103*	0.002	10.12
	Palha	0.029*		
	Interação	0.003 <sup>ns</sup>		
87	Cultivo	3.840*	0.006	12.90
	Palha	0.063*		
	Interação	0.006 <sup>ns</sup>		
102	Cultivo	2.700*	0.011	20.72
	Palha	0.007*		
	Interação	0.016 <sup>ns</sup>		
115	Cultivo	2.509*	0.008	12.78
	Palha	0.039*		
	Interação	0.007*		

\*: Significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: não significativo

**ANEXO D**

Efeito do dossel de plantas na evaporação da água do solo (Es). (Estudo I).

DAS	ET <sub>o</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )	Cultivo	Es (mm)	Es/ET <sub>o</sub>
47	5.40	COM	1.53 b	0.28 b
		SEM	4.98 a	0.92 a
53	5.37	COM	3.50 b	0.65 b
		SEM	5.16 a	0.96 a
75	4.14	COM	0.69 b	0.16 b
		SEM	3.51 a	0.84 a
82	4.30	COM	0.62 b	0.16 b
		SEM	3.70 a	0.84 a
87	4.09	COM	0.76 b	0.18 b
		SEM	4.03 a	0.98 a
102	2.78	COM	0.52 b	0.18 b
		SEM	2.38 a	0.86 a

Letras minúsculas comparam as médias na mesma coluna.