

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Tiago Tondolo Link

**PRODUTIVIDADE DE MILHO IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM
CACHOEIRA DO SUL – RS**

Cachoeira do Sul, RS
2019

Tiago Tondolo Link

**PRODUTIVIDADE DE MILHO IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM
CACHOEIRA DO SUL – RS**

Trabalho de conclusão do curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrícola**

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Zanandra Boff de Oliveira

Cachoeira do Sul, RS
2019

Tiago Tondolo Link

**PRODUTIVIDADE DE MILHO IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM
CACHOEIRA DO SUL – RS**

Trabalho de conclusão do curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em **Engenharia Agrícola**

Aprovado em 12 de julho de 2019:

Zanandra Boff de Oliveira, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Ezequiel Saretta, Dr. (UFSM)

Eduardo Leonel Bottega, Dr. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2019

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador do universo, toda honra e toda glória a ti.

Aos meus pais, Angelita e Ricardo, pelo amor, carinho e dedicação à mim durante todos os dias de minha vida. Vocês nunca me deixaram faltar nada.

Ao meu avô Ironi, por ser exemplo de homem que se dedica a sua família, com valores jamais ultrapassados no tempo e com caráter incomparável.

A minha avó Leda, por ter passados momentos especiais ao seu lado, que por mais simples, me remetem as minhas lembranças mais felizes.

A minha irmã Rafaela, por ter me ensinado a como lidar com as situações mais adversas da vida e seguir forte.

Ao meu sobrinho Arthur, por me mostrar que o amor mais puro vem de uma criança, e que ensina-lá do que é certo e o que é errado, é a maior gratificação de todas.

Ao meu país Brasil e a Universidade Federal de Santa Maria, por ter me proporcionado um ensino público de qualidade.

Ao curso de Engenharia Agrícola da UFSM – Campus Cachoeira do Sul, por ter me proporcionado grandes conhecimentos.

Ao meus professores Eduardo Leonel Bottega e Zanandra Boff de Oliveira, por me ensinarem muito mais que apenas matérias, e sim, ensinamentos para a vida.

Ao meus colegas e amigos, pelos bons momentos vividos, que ficarão na minha lembrança por toda vida.

Muito Obrigado !

“[...] e não tenha medo de pedir desculpa quando estiver errado, e sempre que puder perdoar, perdoe, sem se sentir derrotado. Pois feliz o homem que tal a grandeza cruzou por cima do pecado, não tem a vergonha de ter terra nas unhas, mas a alma limpa como a vertente de um lajeado [...].

(Mano Lima)

RESUMO

PRODUTIVIDADE DE MILHO IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL EM CACHOEIRA DO SUL – RS

AUTOR: TIAGO TONDOLO LINK

ORIENTADORA: ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA

As irrigações em culturas sensíveis ao déficit hídrico, aumentam as possibilidades de altas produtividades. Ainda, essas devem ser bem manejadas para que se obtenha o máximo aproveitamento da lâmina da água aplicada. O objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade de milho irrigado por pivô central, através da disponibilidade hídrica, das análises morfológicas das plantas e das análises dos componentes da produtividade. O estudo foi realizado em uma lavoura comercial localizada em Cachoeira do Sul - RS, no ano agrícola de 2018/2019. O híbrido de milho BG7318 YH foi semeado em sistema de plantio direto no dia 5 de agosto de 2018, com espaçamento entre linhas de 0,45 m e uma população de 78000 plantas hectare⁻¹. Para o monitoramento do conteúdo de água no solo foi utilizado sensores FDR, instalados na área irrigada pelo pivô e na área de sequeiro (borda do pivô). A lâmina total de irrigação suplementar aplicada pelo pivô central de 119,35mm contribuiu para um incremento no número de grãos fileira⁻¹ e no peso de mil grãos, que resultou em maior produtividade do milho irrigado atingindo 18000,7 kg ha⁻¹, enquanto a do milho de sequeiro foi significativamente menor de 12421,7 kg ha⁻¹. Isso evidencia que a produtividade de milho é afetada pela disponibilidade de água no solo e que a irrigação suplementar, mesmo para anos com bons volumes de chuva (1036 mm acumulados no ciclo) que superaram a evapotranspiração da cultura (acumulada no ciclo de 541,7mm), trazem incremento de produtividade que foi de 31%.

Palavras-chave: Déficit hídrico. Componentes do rendimento. Produtividade.

ABSTRACT

PRODUCTIVITY OF IRRIGATED CORN BY CENTER PIVOT IN CACHOEIRA DO SUL-RS

AUTHOR: TIAGO TONDOLO LINK
ADVISOR: ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA

Irrigations in crops sensitive to water deficit, increase the chances of high yield. However, these should be handled well to obtain maximum utilization of the applied water layer. The objective of this work was to evaluate the productivity of corn irrigated by center pivot, through the water availability, the morphological analysis of the plants and the analysis of the components of yields. The study was carried out in a commercial plantation in Cachoeira do Sul - RS, in the agricultural year of 2018/2019. The corn hybrid BG7318 YH was sown in a no-tillage system on August 5, 2018, with 0.45 m line spacing and a population of 78,000 hectare⁻¹ plants. For to monitor soil water content, FDR sensors were installed in the pivot irrigated area and in the rainfed area (pivot edge). The total amount of supplemental irrigation was applied by the center pivot of 119.35 mm for an increase in the number of grain row⁻¹ and weight of a thousand grains, which resulted in a higher yield of irrigated corn reaching 18000.7 kg ha⁻¹, while the dryland portion was significant less than 12421.7 kg ha (-1)..This evidence that corn productivity is affected by soil water availability and that supplemental irrigation, even for years with good rainfall volumes (1036 mm accumulated in the cycle) that surpassed crop evapotranspiration (accumulated in the cycle of 541.7 mm), bring productivity increase that was 31%.

Palavras-chave: Water deficit. Componentes of yield. Produtivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista geral da área de estudo.....	13
Figura 2 - Evapotranspiração da cultura, chuva e irrigações ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.....	15
Figura 3 – Esquema de alocação dos sensores de medição de umidade do solo.....	16
Figura 4 – Vista do sistema de coleta de dados de umidade do solo (A) e da medições das folhas expandidas para posterior cálculo da área foliar (B).....	17
Figura 5 – Balanço hídrico da cultura do milho em área irrigada por pivô central.....	19
Figura 6 – Balanço hídrico da cultura do milho em área de sequeiro.....	19
Figura 7 – Evolução do IAF e a IAF no estágio fenológico de VT.....	22
Figura 8 – Número de grãos por fileira (A) e número de fileira por espiga (B).....	23
Figura 9 – Peso de mil grãos (A) e produtividade (B) em área irrigada e sequeiro.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da caracterização físico-hídrica do solo em estudo.....	14
Tabela 2 – Indicadores estatísticos para as variáveis respostas obtidas ao longo do ciclo de desenvolvimento do milho em função dos tratamentos aplicados (I e S)	21
Tabela 3 – Resultado das diferentes variáveis indicativas do desempenho agrônômico da cultura do milho em função dos tratamentos aplicados (I e S).....	21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO.....	12
2 MATERIAL E MÉTODOS	13
2.1 ÁREA DE ESTUDO	13
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	14
2.3 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA	14
2.4 MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	15
2.4.1 Alocação dos sensores	16
2.5 COLETA DE DADOS	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
3.1 BALANÇO HÍDRICO DO SOLO.....	19
3.2 COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE	21
3.3 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF).....	22
3.4 ALTURA DE PLANTAS	22
3.5 NÚMERO DE GRÃOS FILEIRA E FILEIRA POR ESPIGA	23
3.6 PESO DE MIL GRÃOS E PRODUTIVIDADE	23
4 CONCLUSÃO	25

1 INTRODUÇÃO

O milho, atualmente o cereal mais produzido no mundo, é utilizado desde a produção animal, in natura ou em rações, até a indústria alimentícia, de cosméticos entre outras. Dentre estas, tem-se seu maior destino a cadeia produtiva de suínos e aves, onde são consumidos aproximadamente 70% do milho produzido no mundo e entre 70% e 80% do milho consumido no Brasil (DUARTE et al, 2010).

No cenário nacional de 2010 até 2019, teve-se um aumento da área cultivada e também da produtividade, que passou de 13.806 para 16.825 milhões de hectares, tendo aumento de 57.408 milhões toneladas para estimados 91.652,0 milhões de toneladas em 2019 (CONAB, 2019). Ao longo das últimas décadas, tem-se verificado um decréscimo na área plantada no período da primeira safra, devido à concorrência com a soja, mas que tem sido compensado pelo aumento dos plantios na "safrinha"(SOLOGUREN, 2015).

O Rio Grande do Sul, também apresentou uma diminuição da área plantada a partir de 2010, passando de 1.099,2 para 728,4 mil hectares (CONAB, 2019). Porém, mesmo nesse cenário, a produtividade apresentou crescimento. Entre os fatores que mais têm afetado a produtividade de milho, destacam-se o clima, manejo de nutrientes, fertilidade do solo, práticas culturais, potencial genético dos materiais e manejo de pragas e doenças (AMADO et al. 2002, FANCELLI E DOURADO NETO, 2003).

A cultura do milho, mesmo sendo cultivada em lugares adversos, obedece sempre a Lei do Mínimo, de Justus Von Liebig, onde esta se limitará sempre do que menos lhe for oferecido de nutrientes, e sua produção se dará em função do ambiente e sua genética. Segundo Bergamashi (2004), o milho pertence ao grupo de plantas com metabolismo fotossintético do tipo C4, que se caracteriza pelo elevado potencial produtivo e sua elevada produtividade ocorre quando a máxima área foliar coincide com a maior disponibilidade de radiação solar, desde que não haja déficit hídrico.

De toda a água que chega ao solo, parte é perdida através do escoamento, evaporação e drenagem profunda, e outra parte é absorvida pela planta através do sistema radicular. A produtividade do milho é afetada pela distribuição da disponibilidade de água ao longo do ciclo fenológico e a probabilidade média de redução de produção por deficiência hídrica é de aproximadamente 50% (WAGNER et al., 2013). Para obter a produtividade máxima, a cultura necessita aproximadamente 650 mm de água durante seu ciclo pode variar de 110 a 140 dias em híbridos com ciclo médio. Durante o florescimento a cultura demanda cerca de 7 mm diários

de água disponível no solo para as condições do estado do Rio Grande do Sul (BERGAMASCHI et al., 2001).

As regiões Sul e Sudeste, por apresentarem estiagens frequentes, têm grande variabilidade na produção agrícola. Sendo sensível ao déficit hídrico, o milho é uma das culturas mais afetadas pela variabilidade no regime pluviométrico (RESENDE et al, 2003). A maior parte do Rio Grande do Sul apresenta restrições ao cultivo do milho em decorrência do déficit hídrico, que abrange toda a metade sul e o extremo oeste do Estado (MATZENAUER et al, 2002). Quando o déficit hídrico ocorre durante o período crítico da cultura, a produtividade de grãos é afetada, reduzindo, principalmente, o número de grãos por espiga (MATZENAUER, 1994; BERGONCI et al., 2001).

Nos últimos anos, o cenário do Rio Grande do Sul foi de incapacidade de produção de milho para o seu próprio mercado de aves e suíno, necessitando a importação de milho da Argentina (SEVERO, 2017). Essa falta de produto, mostra a importância do aumento da produtividade do milho no Estado. Assim, pode-se notar a importância da irrigação na cultura do milho para minimizar os efeitos do déficit hídrico que ocorre no Estado do RS e que pode trazer prejuízos a essa cultura.

De acordo com Martins et al. (2016), o Rio Grande do Sul possui 1753 sistemas de irrigação por pivô central, que ocupam uma área de 111,12 mil hectares, distribuídos nas principais regiões produtoras de grãos. A maior concentração de destes sistemas ocorre nas regiões fisiográficas do Planalto Médio, Alto Uruguai e Missões, regiões tradicionais no cultivo de milho e soja.

Nesse sentido, estudos que avaliem a resposta da cultura a irrigação são importantes para a tomada de decisão de produtores rurais e técnicos no município de Cachoeira do Sul, haja vista a mudança no perfil produtivo da região em que lavouras de coxilha passaram a ter mais expressão nos últimos anos.

1.1 OBJETIVO

O presente estudo objetivou avaliar a produtividade de milho irrigado por pivô central, por meio de análises morfológicas das plantas, pela análise dos componentes do rendimento e da produtividade de grãos da cultura cultivada em lavoura comercial irrigada e não irrigada, no município de Cachoeira do Sul – RS.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma lavoura comercial localizada no distrito de Três Vendas, em cachoeira do Sul - RS, no ano agrícola de 2018/2019. A área está situada em Latitude de 29°52'26,9"S, Longitude de 53°00'53,9"W e 101 m de altitude, na região da depressão central do estado do Rio Grande do Sul. O clima da região é classificado por Köppen's como subtropical úmido, predominante na região Sul (ALVARES et al., 2013). A precipitação média anual da região varia de 1.322 a 1.769 mm. O solo da lavoura foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2013).

Da área cultivada com milho, 80 ha são irrigadas por pivô central e 20 ha de área de borda (sequeiro), denominadas a partir de agora de I (irrigado) e S (sequeiro). Na figura 1 está representada a área de estudo e os pontos de coleta de dados. O ponto I possui latitude 29°52'22.51"S e longitude 53° 0'46.31"O, e o ponto de coleta S possui latitude 29°52'26.83"S e longitude 53° 0'34.67"O.

Figura 1- Vista geral da área de estudo. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Google Earth.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A caracterização físico-hídrica do solo da área foi realizada utilizando amostras de solo deformadas e indeformadas. As coletas, foram realizadas nas camadas de 0-20 cm, 20-40, 40-70cm de profundidade do perfil do solo, em ambas as áreas (I e S). Para as coletas indeformadas do solo, foi utilizado anéis coletores, extratificador e um martelo de borracha, retirando frações do solo respectivas a cada camada em estudo. Já para as coletas deformadas, retirou-se frações dos solos das mesmas camadas, e armazenadas em sacos identificados. Realizou-se análise granulométrica e curva característica de água no solo, para isso as amostras foram encaminhadas ao laboratório do Sistema Irriga – Departamento de Engenharia Rural da UFSM, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da caracterização físico-hídrica do solo em estudo.

Camadas (cm)	Granulometria (%)			Unidade Volumétrica (cm ³ /cm ³)		Total de agua armazenada (mm)
	Areia	Silte	Argila	CC ¹	PMP ²	
0-20	57,2	32,1	10,7	0,309	0,098	42,21
20-40	47,5	39,5	13,0	0,334	0,120	42,79
40-70	42,8	41,7	15,5	0,347	0,139	83,23

¹ Capacidade de Campo. ² Ponto de Murcha Permanente.

Fonte: Sistema irriga. 2019.

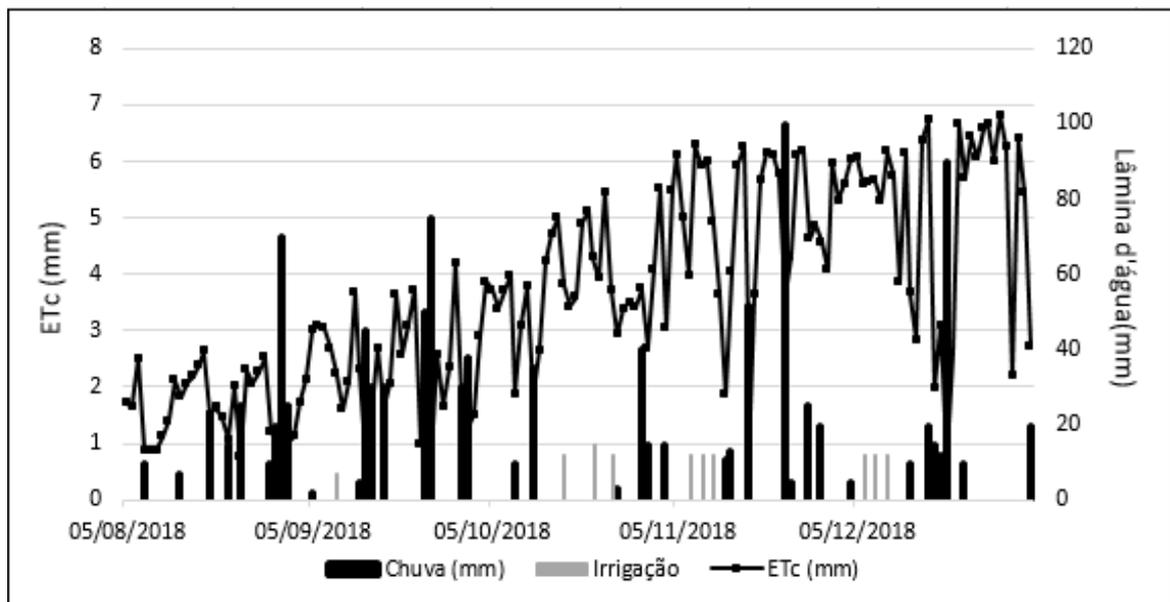
2.3 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA

O híbrido de milho BG7318 YH foi semeado através de um conjunto trator/semeadora em sistema de plantio direto no dia 5 de agosto de 2018, com espaçamento entre linhas de 0,45 m e uma população de 78000 plantas hectare⁻¹. No dia 1 de agosto, antecedendo a semeadura, foi realizada aplicação de 153 kg de cloreto de potássio (KCl) por hectare,. Na semeadura, a adubação de base foi de 430 kg ha⁻¹, da formulação 07-34-12 (N-P-K), e outras 2 outras aplicações de cobertura foram realizadas: 100 kg ha⁻¹ de uréia aos 38 dias após a semeadura (DAS) (18 de setembro) e 250 kg ha⁻¹ de uréia 60 DAS (1 de outubro).

2.4 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O manejo da irrigação foi realizado pelo Sistema irriga[®], tecnologia da UFSM. Para qual, utilizou-se um fator de depleção da água no solo de 0,4. Ou seja, o gatilho de irrigação era ativado sempre que a disponibilidade de água no solo baixasse 40% o total de água disponível (TAW). Para isso, considerou-se a camada de solo ocupado pelas raízes de 0 a 60 cm. Tal fração de água disponível será denominada RAW. A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi calculada a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura dual (K_cdual) conforme Allen et al (1998). A figura 3, demonstra a ET_c, as chuvas e as irrigações ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho.

Figura 2 – Evapotranspiração da cultura, chuvas e irrigações ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: autor.

Para o monitoramento do conteúdo de água no solo foi utilizando sensores FDR – Frequency Domain Reflectometer, modelo CS 616 (Water Content Reflectometer, Campbell Science) capaz de realizar medições do conteúdo volumétrico de água no solo, conforme descrito por Martins (2016). Para realizar as medições de umidade, os sensores foram conectados a um datalogger CR10X (Campbell Science), através de um cabo Serial. Neste sistema, o conteúdo de água do solo é calculado de acordo com o período de propagação da onda pelas hastes do sensor, por meio da Equação:

$$U = -0,0663 - 0,0063P + 0,0007P^2 \quad (1)$$

Em que,

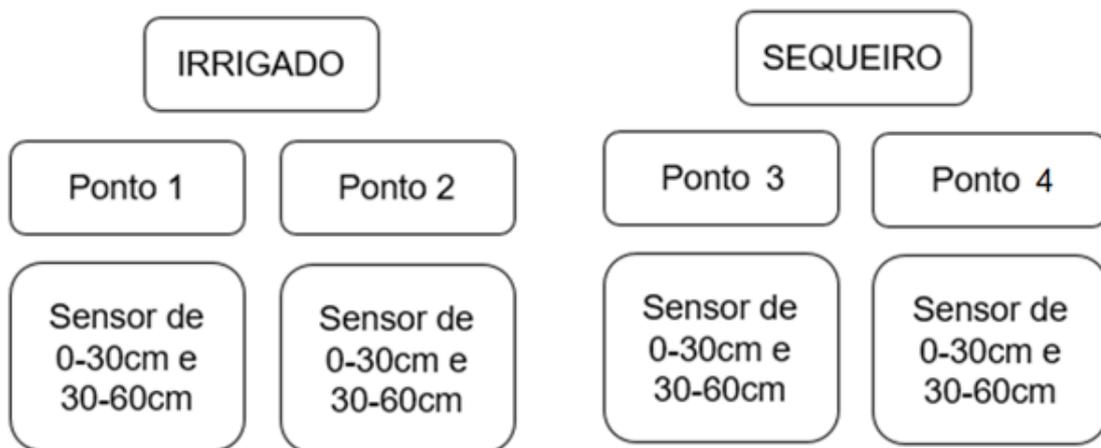
U = umidade do solo lida pelo sensor.

P = período de propagação da onda em microssegundos.

2.4.1 Alocação dos sensores

Em cada areas I e S, teve-se a instalação de 2 conjuntos de sensores, e estes foram alocados em duas profundidades do perfil do solo: de 0-30 cm e de 30-60 cm, totalizando 4 conjuntos de sensores, simplificado na figura 2.

Figura 3 – Esquema de alocação dos sensores de medição de umidade do solo.



Fonte: Autor. Cachoeira do Sul, 2019.

2.5 COLETA DE DADOS

A partir dos dados de umidade volumétrica do solo, obtidos por meio dos sensores FDR, realizou-se o cálculo da disponibilidade de água no solo naquele dia de medida (ASW). Para isso, utilizou-se o valor medido subtraído do valor de umidade volumétrica no PMP daquela camada (Tabela 1) e multiplicou-se pela camada (mm).

Próximo a cada sensor de medição de umidade do solo (Figura 1), realizou-se a marcação de 2 plantas de forma aleatória que representassem a condição de desenvolvimento

do híbrido, para as seguintes determinações: área foliar, altura de plantas e fenologia. A escala Fenológica utilizada nas análises foi a de Ritchie et al (1992).

Para medição da altura, foi utilizada uma trena, onde media-se da base da planta até a folha expandida. Para a determinação da área foliar, a cada nova folha expandida media-se sua largura e seu comprimento, com uma régua. Para o cálculo da área foliar utilizou-se a equação de Stickler et al (1961) (Equação 2).

$$AF = L C 0,747 \quad (2)$$

Em que,

AF= área foliar (cm²).

.L= largura (cm).

C= comprimento (cm).

O índice de área foliar (IAF) foi calculado pela razão entre a área foliar da planta e área ocupada de solo. Tais avaliações foram realizadas semanalmente a partir de 30 DAS, estando toda a cultura em estágio fenológico de V2 e seguiram até o dia 10 de dezembro, quando a cultura atingiu no estágio fenológico de grão pastoso (R4). As figuras abaixo ilustram tais avaliações. Na figura 4 abaixo, é apresentada uma vista do sistema automatizado de coleta de dados e a realização de avaliações.

Figura 4 –Vista do sistema de coleta de dados de umidade do solo (A) e da medição das folhas expandidas para posterior cálculo da área foliar (B). Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: autor.

A colheita foi realizada manualmente no dia 3 de janeiro de 2019, em três pontos de coleta na área I e três pontos da área S. Em cada ponto, foram coletadas quatro linhas de 2 metros de comprimento. Os seguintes componentes do rendimento foram analisados: nº de grão por fileira e nº de fileiras por espiga, determinadas de três espigas por linha, e peso de mil grãos, determinados a partir da contagem de quatro amostras de 100 grãos por linhas. A debulha das espigas foi realizada manualmente. A determinação da produtividade foi por meio da pesagem dos grãos coletados em toda a área de coleta. A umidade dos grãos foi determinada em estufa a 105° C por 24 horas. Para a estimativa da produtividade extrapolada para kg ha^{-1} e para o peso de mil grãos a umidade dos grãos medida foi corrigida para a umidade de armazenamento de 13%

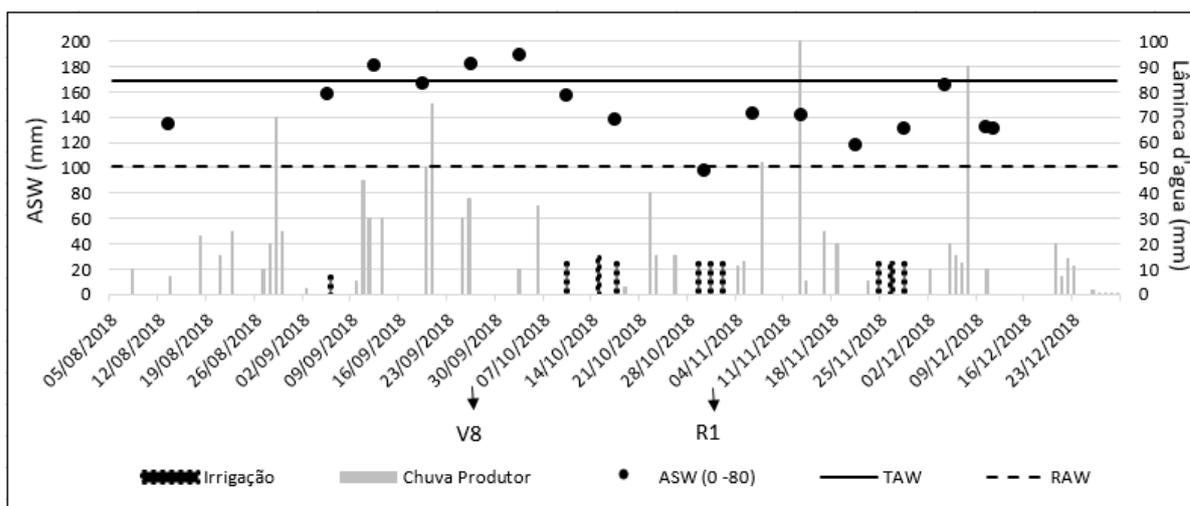
A análise estatística foi realizada considerando dois tratamentos: (i) irrigado (ii) sequeiro e doze repetições (que representam as linhas de colheita: 4 linhas em 3 pontos). A análise da variância (teste F) e o teste de médias (Tukey) foram realizados com a auxílio do software Sisvar, em nível de 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 BALANÇO HÍDRICO DO SOLO

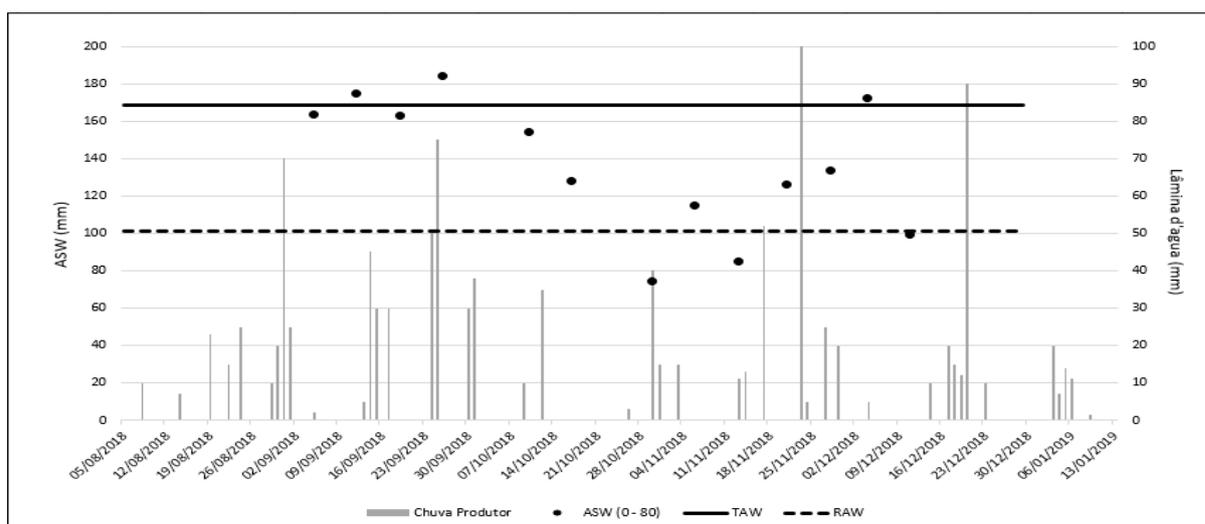
Os resultados do balanço hídrico do milho I e S estão representados na Figura 5 e 6, respectivamente.

Figura 5 – Balanço hídrico da cultura do milho em área irrigada por pivô central. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Autor.

Figura 6 – Balanço hídrico da cultura do milho em área de sequeiro. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: Autor.

Em que,

ASW: água disponível no dia da medição.

TAW: máximo de água disponível.

RAW: limite mínimo de depleção de água .

Pode-se notar na área irrigada, que a ASW permaneceu próximo ou superior ao TAW no estágio de desenvolvimento inicial da cultura, até o dia 7/10, onde a cultura de estava no estágio fenológico de V7-V8. Isso ocorreu em função da regularidade das chuvas neste período, que somaram 510 mm, enquanto a ETc acumulada no período foi de 132,53mm.

Na fase intermediária do ciclo, do dia 7/10 até 13/11, dos estádios V9 até R1, a ETc calculada foi de 154mm e as chuvas não foram bem distribuídas, somando apenas 128mm, período em que foram necessárias 6 irrigações suplementares, que somaram 75,5mm (Figura 3). Nesse período, observa-se que a ASW se manteve acima da RAW até o dia 30/10, onde até então havia chovido 87mm e a ETc acumulada foi de 90,01mm. Após houve um decréscimo da ASW a valores inferiores a RAW, em função da elevada demanda evapotranspiométrica e redução do volume de chuvas (Figura 3).

Na parte final do ciclo, que vai de do dia 13/11 até a 03/01, ou seja, de R1 até a maturação fisiológica, os valores de ASW analisados se mantiveram entre TAW e RAW (Figura 5). As chuvas neste período somaram 408mm e a ETc acumulada foi de 260,14 mm. Assim, foram necessárias apenas 3 irrigações suplementares em função da irregularidade das chuvas. As irrigações foram realizadas nos dias 7,9 e 11 de dezembro, de 12,2 mm cada, que somaram 36,6mm (Figura 3). Depois desse período até a colheita, as chuvas foram suficientes para suprir a demanda hídrica da cultura e manter o armazenamento de água no solo em níveis desejáveis.

Enquanto na área irrigada em apenas uma medição identificou-se ASW abaixo da RAW (Figura 5), na área de sequeiro identificou-se em três medições ASW abaixo da RAW, mesmo com um volume de chuvas de 1036 mm e uma demanda hídrica baseada na ETc de 541mm acumulados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Tais resultados, demonstram que a distribuição irregular das chuvas foi responsável pelo não atendimento da demanda de água pela cultura, embora o volume tenha sido adequado, não foram suficientes para repor o armazenamento de água no solo em níveis desejados (Figura 3).

Os valores de ASW para área de sequeiro ficaram abaixo da RAW nos dias 30/10, 13/11 e 11/12, respectivamente nos estádios de V14, VT (R1), R4 (grão pastoso). Essa redução na disponibilidade de água no solo na área de sequeiro, impactou negativamente nos componentes do rendimento e no rendimento de grãos do milho conforme tabelas 3 e 4. Corroborando com

Bergonci (2001) e Resende et al. (2003), os quais constataram que pode haver redução de rendimento de grãos de milho mesmo em anos climaticamente favoráveis se o déficit hídrico ocorrer no período crítico.

3.2 COMPONENTES DE PRODUTIVIDADE

Nas tabelas 2 e 3 estão aprestados os resultados dos indicadores estatísticos para as diferentes variáveis repostas analisadas.

Tabela 2 - Indicadores estatísticos para as variáveis respostas obtidas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho em função dos tratamentos aplicados (I e S). Cachoeira do Sul, 2019.

Variável Resposta	CV (%)	DMS	Pr>Fc
Fileiras espiga ⁻¹	4,1	0,7	0,3100
Grãos fileira ⁻¹	8,1	3,1	0,0036
Peso de mil grãos (g)	4,3	16,1	0,0010
Produtividade (kg ha ⁻¹)	14,8	2445,1	0,0008
IAF estágio de VT	6,7	0,9	0,6985
Altura de planta no estágio VT	4,6	23,2	0,3930

Fonte: Autor.

Tabela 3 - Resultado das diferentes variáveis indicativas do desempenho agrônômico da cultura do milho em função dos tratamentos aplicados (I e S). Cachoeira do Sul, 2019.

Variável Resposta	Irrigado		Sequeiro	
Fileiras espiga ⁻¹	14,74	a	15,05	a
Grãos fileira ⁻¹	37,75	a	32,28	b
Peso de mil grãos (g)	374,55	a	322,31	b
Produtividade (kg ha ⁻¹)	18,00	a	12,420	b
IAF estágio de VT	6,12	a	6,00	a
Altura de planta no estágio VT	232,25	a	225,00	a

*Médias seguidas da mesma letra, na linha, não apresentaram diferença estatística no teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor.

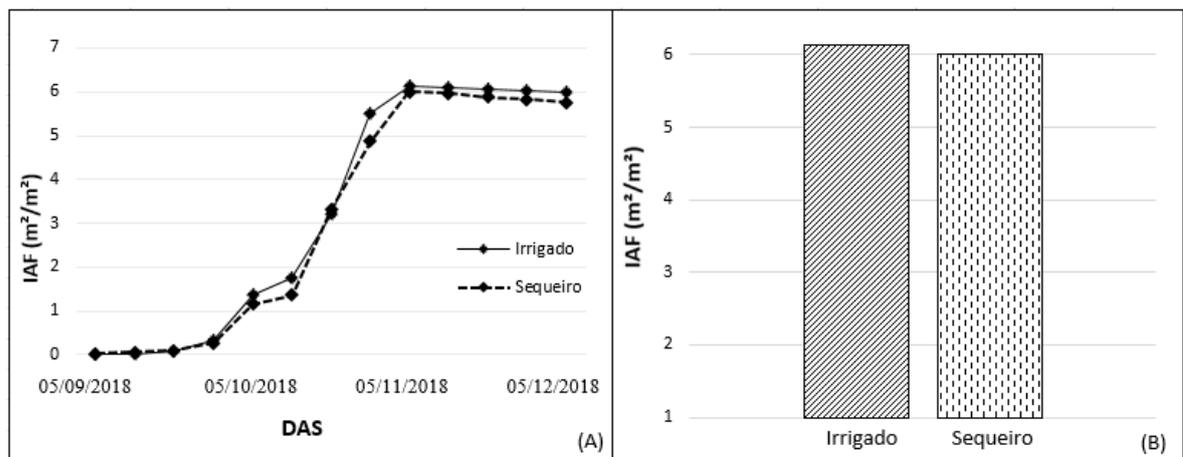
Observa-se que a maioria das variáveis respostas analisadas tiveram melhores desempenhos na área I em comparação a área S, com exceção ao índice de área foliar e ao n° de fileiras espiga⁻¹, que não diferiram estatisticamente. Resultados parecidos foram encontrados

por Ben (2018), onde a irrigação proporcionou aumento dos componentes de rendimento e acréscimo de produtividade de grãos em até 41%.

3.3 INDICE DE AREA FOLIAR (IAF)

O IAF do I (Figura 7) foi superior em certos estádios do ciclo de desenvolvimento da cultura, como de 26/09 até 14/10 (V6 a V9) e de 18/10 até 13/11 (V10 a VT). Neste período ocorreu apenas uma medição no I que indicou ASW abaixo da RAW, haja vista a uma suplementação hídrica via irrigação de 63,35mm. Enquanto, no S teve-se duas medições que indicaram ASW abaixo da RAW (Figuras 5 e 6). Tais resultados, podem ter impacto em menor IAF no S em comparação ao I. Segundo Bergamaschi e Matzenauer (2014), quando a população de plantas está em deficiência hídrica, diminui a área foliar exposta à radiação solar.

Figura 7 – Evolução do IAF e IAF no estágio fenológico de VT para o milho de sequeiro e irrigado. Cachoeira do Sul, 2019.



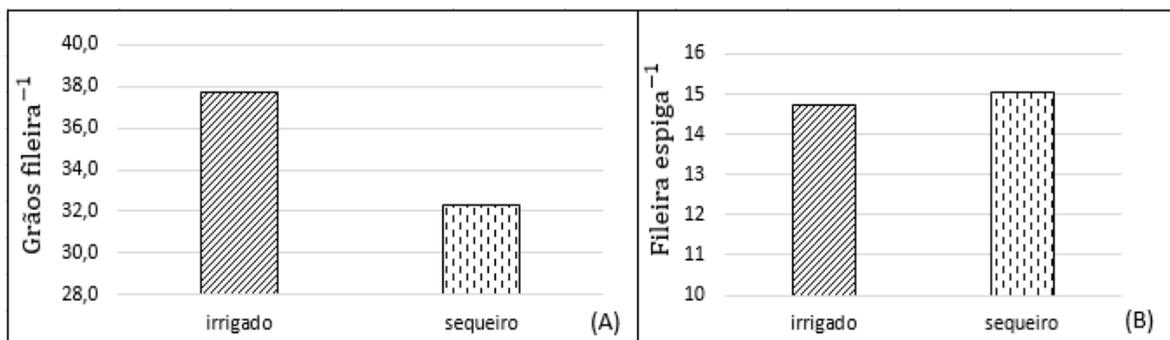
Fonte: autor.

O IAF analisado em VT não diferiu estatisticamente entre I e S (Tabelas 2 e 3), em ambos foi superior a 5, valores ideais para altas produtividades, como cita Lauer et al. (2004), onde o milho deve alcançar valores de IAF entre 4 e 5, no florescimento, para otimizar seu desempenho agrônômico. Além disso, Bergamaschi e Matzenauer (2014) citam que a máxima eficiência de interceptação (em torno de 0,98) é alcançada com IAF entre 5 e 6 .

3.5 NÚMERO DE GRÃOS FILEIRA E FILEIRA POR ESPIGA

A Figura 9 ilustra o número de grãos por fileira e de fileira por espiga. Diferença estatística significativa foi observada para o número de grãos por fileira (Tabelas 2 e 3) em que o milho irrigado apresentou em média 5,5 grãos por fileira a mais que o milho de sequeiro. Porém, o número de fileira por espiga não diferiu estatisticamente, apresentando valores médios de 14,89.

Figura 8 – Número de Grãos por fileira (A) e número de fileira por espiga (B). Cachoeira do Sul, 2019



Fonte: autor.

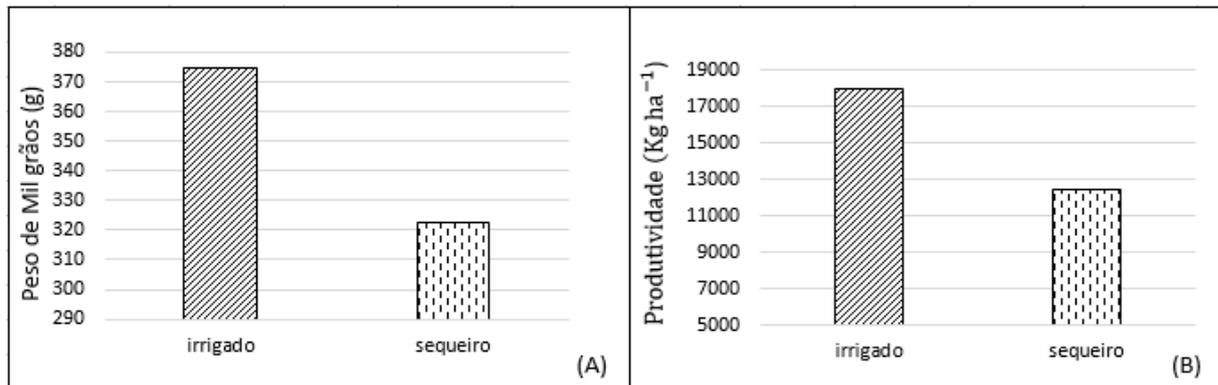
Os valores encontrados estão de acordo com Bergamaschi et al (2004), onde este cita que o número de grãos por espiga e o número de espigas por planta são os componentes da produção de grãos mais afetados pelo déficit hídrico, quando este ocorre durante o período crítico do milho, que vai do pré-florescimento ao enchimento de grãos. Segundo Westgate e Boyer (1985), o déficit hídrico induz à redução no fluxo de assimilados, causando acentuada diminuição no número de grãos por fileira.

3.6 PESO DE MIL GRÃOS E PRODUTIVIDADE

A menor disponibilidade de água no solo no S em relação ao I (Figuras 5 e 6) além de reduzir o número de grãos por fileira, reduziu em média de 52 g o PMG (Figura 10) que resultou em uma redução significativa de produtividade de 31% a menos no sequeiro em comparação ao irrigado. Aginsky (1991), fez uma ampla análise da relação entre o rendimento de grãos de milho e a precipitação efetiva, para diversas localidades do Rio Grande do Sul, concluindo que

o rendimento do milho é linearmente dependente do volume de água disponível e que a distribuição da precipitação é mais importante do que o total precipitado.

Figura 9 – Peso de mil grãos (A) e produtividade (B) em área irrigada e de sequeiro. Cachoeira do Sul, 2019.



Fonte: autor.

A ASW abaixo da RAW pode reduzir a expressão do potencial genético de produção que pode ser alcançado no híbrido. Santos & Calesso (1998), citam que o milho é relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porém demonstra extrema sensibilidade, com decréscimo na produtividade de grãos, se esse déficit ocorrer na fase reprodutiva. Bergonci et al. (2001) e Bergamaschi et al. (2004), constataram que uma dose intermediária de irrigação, a partir de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados de milho.

Assim, justifica-se os resultados de rendimento de grãos 31% superiores na área I (18000,7 kg ha⁻¹) em comparação a área S (12421,7 kg ha⁻¹). Resultado parecido foram encontrados por Ben (2018), onde cita que a irrigação proporcionou aumento dos componentes de rendimento e acréscimo de produtividade de grãos, variando em até 41 % de produtividade. Esses resultados são semelhantes também aos de Bergamaschi et al. (2004), onde cita que as irrigações durante o período que vai do pendoamento ao início de enchimento de grãos permitem elevada produtividade de grãos de milho, mesmo que a umidade do solo seja mantida abaixo da capacidade de campo.

4 CONCLUSÃO

A lâmina total de irrigação suplementar aplicada pelo pivô central ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho foi de 119,35mm e ocasionou um incremento no número de grãos fileira⁻¹ e no peso de mil grãos, que resultou em maior produtividade do milho irrigado atingindo 18000,7 kg ha⁻¹, enquanto a do milho de sequeiro foi significativamente menor de 12421,7 kg ha⁻¹.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que a produtividade de milho é afetada pela disponibilidade de água no solo e que a irrigação suplementar, mesmo para anos com bons volumes de chuva (1036 mm acumulados no ciclo) que superaram a evapotranspiração da cultura (acumulada no ciclo de 541,7mm), trazem incremento de produtividade que foi de 31%.

REFERÊNCIAS

- AGUINSKY, S. D. **Prognóstico e otimização do rendimento do milho (*Zea mays* L.) no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1991. 196 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)– Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991.
- ALLEN et al. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVARES, C.A. et al.. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 22,. 711-728 p. 2013.
- AMADO, T. J. C. et al. **Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo**, sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.
- BEN, L. H. B. **Análise da viabilidade técnica e econômica da irrigação em milhos de híbrido**. 2018. 106 pg. Tese de Doutorado (Programa de Pós graduação em engenharia agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.
- BERGAMASCHI, H. et al. **Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, V.39, p.831-839, 2004.
- BERGAMASCHI, H. et al. **Estimating maize water requirements using agrometeorological data**. Revista Argentina de Agrometeorologia, v.1, p.23-27, 2001.
- BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Emater-Ascar, Porto Alegre, 84 p. 2014.
- BERGONCI et al. **Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, p.949-956, 2001.
- CONAB. **Análise mensal do milho**.Fev 2019. Disponível em:< <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-milho>>. Acessado em:18 jun,2019.
- DUARTE, J. O et al. **Economia da produção**. 2010. In: Embrapa milho e sorgo. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html>. Acesso em 18 de jun, 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 3ed. Brasília, 2013.353p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Milho: estratégias de manejo para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2003
- MATZENAUER, R. **Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul**. 172p. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1994.

MATZENAUER, R. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (Boletim Fepagro, 10).

PIONEER. **Estresse na cultura do milho**. 2004. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/42/estresse-na-cultura-do-milho>>. Acesso em 18 de jun, 2019.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P.E.P.;COUTO,L. **A cultura do milho irrigado**. Embrapa milho e sorgo. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J. **How a corn plant develops**. Ames : Iowa State University of Science and Technology, 1992. 26p.

SANTOS, R.F. & CARLESSO, R. **Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas**. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 2:287-294, 1998.

SEVERO, K. **Brasil Registra maior importação de milho da história em 2016**. 2017. Disponível em:<<https://blogs.canalrural.uol.com.br/kellensevero/2017/01/11/brasil-registra-maior-importacao-de-milho-da-historia-em-2016/>>. Acesso em 18 de jun, 2019.

SOLOGUREN, J.S. **Demanda mundial cresce e Brasil tem espaço para expandir produção**. Revista visão agrícola. São Paulo. Ano 9. Pg 8-11. Dez 2015.

STICKLER, F.C.. WEARDEN, S.. PAULI, A.W. **Leaf área determination in grain sorghum**. Agronomy Journal, Madison, v. 53, p.187-188, 1961.

WAGNER, M.V. et alhc,. **Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.17, n.2, p.170–179, 2013.

WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. **Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize**. Crop Science, v.25, p.762-769, 1985.