

Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado

Jardel Henrique Kirchner¹, Adroaldo Dias Robaina², Marcia Xavier Peiter², Rogério Ricalde Torres³, Wellington Mezzomo², Luis Humberto Bahú Ben², Bruna Dalcin Pimenta², Anderson Crestani Pereira²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Ibirubá, RS, Brasil. E-mail: jardel.kirchner@ibiruba.ifrs.edu.br (ORCID: 0000-0003-2126-4593)

² Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Engenharia Rural, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: diasrobaina@gmail.com (ORCID: 0000-0001-6553-7878); mpeiter@gmail.com (ORCID: 0000-0001-8945-5412); wmezzomo@hotmail.com (ORCID: 0000-0002-1169-0620); luishumbertoben@gmail.com (ORCID: 0000-0003-4284-3789); bruhpimenta@gmail.com (ORCID: 0000-0003-2895-9419); acrestanipereira@gmail.com (ORCID: 0000-0002-4971-478X)

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Vacaria, Vacaria, RS, Brasil. E-mail: rogerio.torres@vacaria.ifrs.edu.br (ORCID: 0000-0002-4590-1473)

RESUMO: As pastagens são amplamente utilizadas por caracterizarem uma forma prática e econômica de alimentação aos animais. Na primavera-verão, a disponibilidade e a qualidade das pastagens naturais decaem devido à irregularidade das precipitações pluviométricas, tornando essencial a utilização de pastagens cultivadas e irrigadas. Assim, o sorgo forrageiro caracteriza-se como uma das melhores opções de cultivo, para corte e ensilagem, porém, necessita da adequada disponibilidade hídrica para atingir o seu potencial de produção. O objetivo com esse trabalho foi avaliar a produtividade do sorgo forrageiro em diferentes lâminas de irrigação, e também, a eficiência no uso da água, em dois anos agrícolas (2015/2016 e 2016/2017). O experimento foi conduzido em Santa Maria-RS, sob o delineamento experimental de blocos casualizados com 6 tratamentos (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência) e 4 repetições, totalizando 24 unidades experimentais. As semeaduras foram realizadas em novembro de 2015 e de 2016 com a utilização da cultivar AG2501. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas para a produtividade entre os distintos tratamentos e também, entre os anos agrícolas, bem como, para a eficiência no uso da água.

Palavras-chave: irrigação de pastagem; manejo da irrigação; *Sorghum bicolor* L. (Moench)

Production function and efficiency in water use in irrigated forage sorghum

ABSTRACT: Pastures are widely used due to characterizing a practical and economical way of feeding animals. In spring-summer, the availability and quality of natural pastures decline due to uneven precipitation, making cultivated and irrigated pastures essential. Thus, forage sorghum is characterized as one of the best cultivation options, to cut and silage however, it needs adequate water availability to reach its production potential. The objective with this work was to evaluate the yield of forage sorghum in different irrigation depths, as well as the water use efficiency, in two agricultural years (2015/2016 and 2016/2017). The experiment was carried out in Santa Maria-RS, Brazil, with 6 treatments (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of reference evapotranspiration) and 4 replicates, totaling 24 experimental units. The experimental design was a randomized blocks. Seeds were harvested in November 2015 and 2016 with the cultivar AG2501. Statistically significant differences were found for productivity between the different treatments and also, among the agricultural years, as well as for water use efficiency.

Key words: pasture irrigation; irrigation management; *Sorghum bicolor* L. (Moench)

Introdução

Na América-Latina, o clima temperado se faz presente em diversos países, tais como, Brasil, Argentina, Uruguai, Paraguai e Chile, onde, de maneira geral, a utilização de pastagens cultivadas tem se caracterizado como a principal fonte de alimentação para rebanhos animais devido à adaptabilidade das espécies vegetais ao clima (Sbrissia et al., 2017).

O Brasil é considerado um dos principais produtores agropecuários, possuindo cerca de 170 milhões de hectares sob pastagens, onde aproximadamente, 100 milhões são de pastagens cultivadas e o restante de pastagens nativas. A forma de produção da pecuária nacional é quase que na totalidade com rebanhos mantidos a pasto, com 99% da dieta dos bovinos sendo realizadas desta maneira (Moreira et al., 2014). As pastagens cultivadas são muito utilizadas dentro de sistemas de produção no Brasil devido ao baixo custo de produção, ao alto potencial produtivo e adequação a distintas regiões climáticas do país (Oliveira et al., 2016).

Dentre as pastagens cultivadas, o sorgo forrageiro, pertencente à família *Poaceae*, é uma das principais culturas utilizadas para a alimentação animal nos maiores centros produtores de bovinos, ou seja, Estados Unidos, Austrália e América do Sul (Andrade et al., 2011). A escolha da cultura se dá em função da sua adaptabilidade ao clima, resistência a elevadas temperaturas e elevada produção de biomassa (Avelino et al., 2011).

No Rio Grande do Sul, o sorgo forrageiro vem sendo amplamente utilizado e apresenta grande potencial de produção, onde o principal fator limitante é a ocorrência de irregularidade nas precipitações. Contudo, com o incremento de tecnologias de reposição da demanda evapotranspirativa no sistema de produção, tais como a irrigação, possibilita alimento de boa qualidade nutritiva e produção elevada de massa verde e seca (Cunha & Lima, 2010).

As gramíneas tropicais pertencentes ao grupo de metabolismo fotossintético C4, dentre elas o sorgo forrageiro, necessitam de cerca de 250 a 350 gramas de água para cada grama de matéria seca produzida (Pedreira et al., 1998). Dessa maneira, a distribuição da água ao longo do ciclo é essencial para que a produção seja satisfatória com a expectativa previamente estabelecida, fato este, que normalmente não ocorre de maneira natural através das precipitações. Assim, torna-se necessário o complemento hídrico através da irrigação, eliminando o fator água das limitações de produção de forragem (Azevedo & Saad, 2009).

A evolução da pecuária brasileira nos últimos anos tem ampliado a participação da irrigação dentro do agronegócio, tornando a irrigação uma estratégia cada vez mais importante para o aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade rural (Bertossi et al., 2013). Nesse contexto, a irrigação de pastagem tem se caracterizado como alternativa para suprir o déficit hídrico, maximizando o potencial produtivo das forragens utilizadas nos sistemas de pastejo e intensificando a produção animal (Alencar et al., 2009; Antoniel et al., 2016a).

Contudo, é necessária a avaliação do manejo da irrigação e de seus incrementos em produtividade, fato este, que torna a avaliação da eficiência no uso da água (EUA) imprescindível na agricultura irrigada. A determinação da EUA visa à análise financeira da operação, e, sobretudo, a utilização racional dos recursos hídricos, evitando que ocorram desperdícios e perdas de um bem cada vez mais escasso (Ali et al., 2007).

Alguns cultivares de sorgo forrageiro, segundo Rodrigues (2000), apresentam alto potencial de rendimento chegando a produzir até 90 t de matéria verde por hectare, em torno de 14 t de matéria seca por hectare, em três cortes.

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação na produção de massa seca e na eficiência no uso da água na cultura do sorgo forrageiro submetido a três cortes.

Material e Métodos

O experimento de campo foi conduzido nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017 em área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul.

Foi utilizada a cultivar de sorgo forrageiro Agroceres 2501, sendo escolhida pelo fato de ser uma das adequadas para as condições climáticas do Rio Grande do Sul e por ser a mais utilizada pelos produtores agropecuários da região. As sementeiras do sorgo forrageiro foram realizadas nos dias 24 de novembro de 2015 e 29 de novembro de 2016.

A densidade de sementeira consistiu de aproximadamente 15 sementes por metro linear, visando uma população final de 400 mil plantas.ha⁻¹. Para a realização das sementeiras foi utilizada uma semeadora-adubadora mecânica com espaçamento de 0,36 m entre linhas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais.

O tratamento consistiu de aplicação de seis diferentes lâminas de irrigação, sendo elas: 0, 25, 50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração de referência (ET_o). Para a determinação da ET_o foi utilizada a equação de Penman-Monteith/FAO (Allen et al., 2006). O manejo da irrigação foi estabelecido com turno de rega fixo de sete dias, sendo que as irrigações eram realizadas sempre que a precipitação efetiva ocorrida durante o intervalo do turno de rega não satisfazia a demanda evapotranspirativa da cultura.

Para a determinação da precipitação efetiva foi adotada metodologia proposta por Millar (1978). Esta fração da precipitação perdida é estimada de acordo com o tipo de solo, declividade do terreno e a condição de cultivo. Para o local de realização do trabalho, a fração da precipitação perdida por escoamento superficial utilizada foi 30% do total precipitado.

O sistema de irrigação utilizado foi de aspersão convencional, constituído por uma linha principal e vinte e quatro linhas laterais fixas, com canos do sistema de Policloreto de Vinila (PVC) e espaçamentos das linhas laterais de 4 m. Os aspersores foram conectados nas linhas laterais, com espaçamento de 4 m e elevação de 1,5 m em relação

ao solo. Os aspersores utilizados foram da marca AgroJet, modelo P5^{1/2}.

Para a definição e calibração da lâmina de irrigação aplicada por hora pelo sistema, foi realizada com o teste de uniformidade de Christiansen (CUC), sendo determinada uma taxa de aplicação de água de 12,2 milímetros por hora. O volume de água infiltrada em relação ao tempo foi determinado através de infiltrômetros de anéis concêntricos sendo realizadas avaliações em quatro locais distintos da área experimental (Cauduro & Dorfman, 1986).

A diferenciação das lâminas de irrigação foi realizada através da variação do tempo de aplicação de água das diferentes parcelas, onde eram ligados cada tratamento de forma individual até atingir a necessidade hídrica necessária.

O clima predominante na região, segundo a escala de Koopen (Moreno, 1961), é caracterizado como subtropical úmido (Cfa), apresenta temperaturas médias de 19,3 °C durante o ano. A média de precipitações ocorridas, durante os anos, é de 1688 mm. Contudo, a distribuição das precipitações durante o período de verão normalmente é irregular, causando períodos de estresse hídrico para as culturas, pois a demanda evaporativa da atmosfera é elevada no período, e, as precipitações normalmente não são suficientes para suprir as necessidades das culturas (Nied et al., 2005).

O solo utilizado para a realização do experimento é classificado como Argissolo Vermelho Distrífico Típico. Estes solos apresentam tipicamente um perfil com um gradiente textural, onde o horizonte B é significativamente mais argiloso do que os horizontes A e E; a condição de drenagem varia desde imperfeitamente drenado a bem drenado, dependendo da posição que esses solos ocupam na paisagem (Streck et al., 2008).

A adubação de base da cultura foi realizada tendo por referência a interpretação dos resultados de análise química do solo para um sistema de plantio direto já consolidado. A aplicação do fertilizante ocorreu conjuntamente com a semeadura através de uma semeadora-adubadora, obedecendo à recomendação técnica para adubação. Foram aplicados 250 kg ha⁻¹ de adubo com formulação comercial de 5-20-20 de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente (Comissão de Química e Fertilidade dos Solos, 2004). A aplicação de defensivos agrícolas (fungicidas, herbicidas e inseticidas) foi realizada de forma abrangente e homogênea em toda área experimental, quando houve necessidade.

O sorgo forrageiro apresenta na sua composição níveis elevados de tanino e de ácido cianídrico em estágios iniciais de desenvolvimento, não sendo recomendado nem corte para oferta aos animais e nem o pastejo neste intervalo. Assim, o primeiro corte teve um intervalo maior de dias em relação aos demais cortes realizados sendo esse de 50 dias após a semeadura, devido ao fato de a cultura do sorgo forrageiro poder desencadear toxidez aos animais, e os demais cortes em intervalos de 30 dias por não haver problemas de toxidez após o primeiro corte.

Realizaram-se três avaliações de produtividade de massa seca (MS) através de cortes aos 50, 80 e 110 dias após a semeadura (DAS). Salienta-se que os cortes foram determinados de acordo com as recomendações da cultivar.

Foram coletadas três amostras de 0,5 m linear por parcela, totalizando 72 amostras por corte. Os cortes foram realizados 15 cm de altura em relação ao solo, com auxílio de foice. Foram separadas manualmente, e avaliadas individualmente em duas frações da amostra: folha (lâmina foliar) e colmo (bainha da folha + colmo). Todas as amostras foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas e verificadas sua massa em balança de precisão. A partir disto, foi calculada a participação percentual e a massa de cada componente, em kg ha⁻¹ de matéria seca.

A eficiência no uso da água foi determinada através da relação entre a quantidade total de água (somatório entre a precipitação efetiva ocorrida e as diferentes lâminas de irrigação aplicadas em cada um dos tratamentos) e a produção de massa seca em cada um dos cortes no somatório dos três cortes realizados, conforme metodologia utilizada por Oliveira et al., (2011).

Os dados obtidos referentes à produção de massa seca ao longo dos dias após a semeadura (DAS) foram avaliados estatisticamente através da análise de variância-ANOVA e, posteriormente, os efeitos individuais dos tratamentos foram avaliados através da análise de regressão com a utilização do software SISVAR 5.3 (Ferreira, 1998) considerando os testes estatísticos ao nível de 5% de probabilidade de erro e para a elaboração das imagens gráficas foi utilizado o Sigmaplot (Systat Software, 2008).

Resultados e Discussão

A distribuição da precipitação durante o período de primavera-verão no Rio Grande do Sul tem ocorrido de maneira muito irregular ao longo dos últimos anos, com períodos de elevados volumes e outros de escassez hídrica, o que caracteriza insegurança na produção das pastagens cultivadas. Neste período do ano, a demanda evapotranspirativa é alta e as precipitações em determinados momentos não são suficientes ou são mal distribuídas ao longo do tempo para atender as necessidades das culturas (Nied et al., 2005). Na Tabela 1, estão representadas as precipitações (total e efetiva) ocorridas nos dois anos de experimentos e a complementação hídrica aplicada nas lâminas de irrigação.

A demanda hídrica necessária para a obtenção de boas produtividades na cultura do sorgo é de 380 a 600 mm (Von Pinho et al., 2007), portanto, as precipitações efetivas de 458 e 593 mm ocorridas nos dois anos avaliados seriam suficientes para suprir as necessidades hídricas da cultura, porém a distribuição das chuvas foram irregulares, sendo necessário a reposição da demanda evapotranspirativa através da irrigação.

O comportamento pluviométrico seguiu a mesma tendência nos dois anos avaliados, e, consequentemente, a produtividade de massa seca também apresentou variação

Tabela 1. Lâminas de irrigação (individuais e acumuladas), precipitação total e efetiva de acordo com os diferentes tratamentos nos anos agrícolas de 2015/2016 e 2016/2017.

Tratamento (%Eto)	Precipitação total	Precipitação efetiva	Lâmina de irrigação	Lâmina total
	(mm)			
2015/2016				
125	655,20	458,04	146,82	604,86
100			117,46	575,50
75			88,09	546,13
50			58,73	516,77
25			29,36	487,40
0			0,00	458,04
2016/2017				
125	847,40	593,18	161,87	755,05
100			92,50	685,68
75			69,37	662,55
50			46,25	639,43
25			23,12	616,30
0			0,00	593,18

para as distintas lâminas de irrigação. De acordo com Santos & Carlesso (1998), a ocorrência de ano bastante chuvoso promove o crescimento de raízes pouco profundas e que, mesmo em pequenos intervalos de tempo com ausência ou insuficiência de precipitações, determinam queda de produtividade.

Conforme se pode observar na Tabela 1, houve necessidades de irrigações consideráveis durante o ciclo da cultura para os dois anos avaliados. O regime pluviométrico, as necessidades de irrigação e a demanda evapotranspirativa estão representados na Figura 1.

No experimento 2015/2016 (Experimento 1) foram necessárias irrigações em seis semanas durante o transcorrer do período para complementação das perdas por evapotranspiração, totalizando um volume de irrigação de 117,4 mm na lâmina de 100 % da Eto. Já no experimento 2016/2017 (Experimento 2) foram realizadas seis irrigações ao longo da condução da cultura, totalizando um volume de irrigação de 92,5 mm na lâmina de 100 % da Eto.

Como pode ser observado na Figura 1, no Experimento 1 (2015/2016), foi realizada uma irrigação na primeira semana após a semeadura e depois, somente transcorridas 6 semanas foi necessária a segunda irrigação. No Experimento 2 (2016/2017) foram necessárias 4 irrigações consecutivas nas primeiras semanas de desenvolvimento da cultura.

Na Figura 2 estão representadas as produtividades totais de massa seca encontradas para as diferentes lâminas de irrigação, no somatório das produtividades dos cortes para cada um dos experimentos, 2015/2016 e 2016/2017, assim como os pontos de máxima eficiência técnica.

Os resultados apresentados na Figura 2 mostram que os pontos de máxima eficiência técnica divergiram entre os experimentos, sendo no primeiro experimento (2015/2016) obtido no tratamento com a lâmina de irrigação correspondente a 153% da ETo, com uma expectativa de produção de 13.709 kg ha⁻¹ de MS.

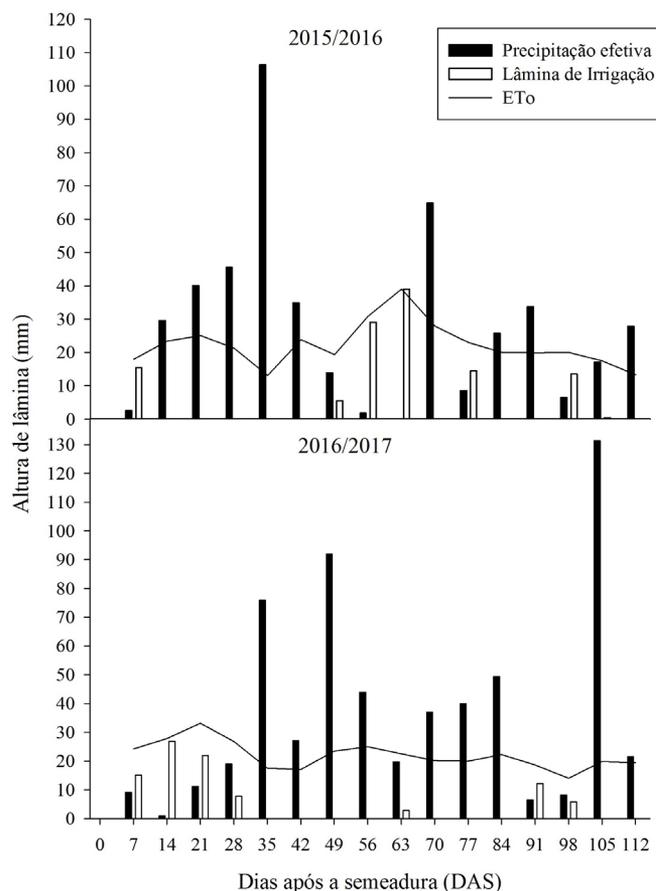


Figura 1. Precipitação efetiva, lâmina de irrigação e evapotranspiração de referência ocorridas durante o transcorrer dos 2 experimentos.

Para o segundo experimento (2016/2017) o ponto de máxima eficiência técnica foi encontrado no tratamento com a lâmina de irrigação corresponde a 114% da ETo, apresentando uma expectativa de rendimento de 13377 kg ha⁻¹ de MS.

Esta amplitude de variação entre os pontos de máxima EUA entre os anos agrícolas avaliados é atribuída às diferentes disponibilidades hídricas e condições climáticas ocorridas. Houve diferença na precipitação total ocorrida entre os anos e, também, de radiação solar e temperatura, sendo estes fatores responsáveis diretos nos valores da evapotranspiração, e, conseqüentemente, na máxima EUA. Contudo, é possível observar ainda que a amplitude de variação da expectativa de produção entre os anos foi de apenas 332 kg ha⁻¹ de MS.

Os resultados apresentados na Figura 2 mostram que foram ajustadas equações parabólicas para ambos os anos, apresentando r² de 0,97 para ambos os experimentos. Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas através do teste F para os dois anos, estando os resultados da anova apresentados na Tabela 2.

Para ambos os experimentos (2015/2016 e 2016/2017) a lâmina com maior produtividade observada foi a de 100% da ETo com 13661 kg ha⁻¹ e 13134 kg ha⁻¹, ocorrendo aumento de produção do não irrigado até a lâmina de 100%, e após redução da produtividade com a lâmina de 125 %, respectivamente.

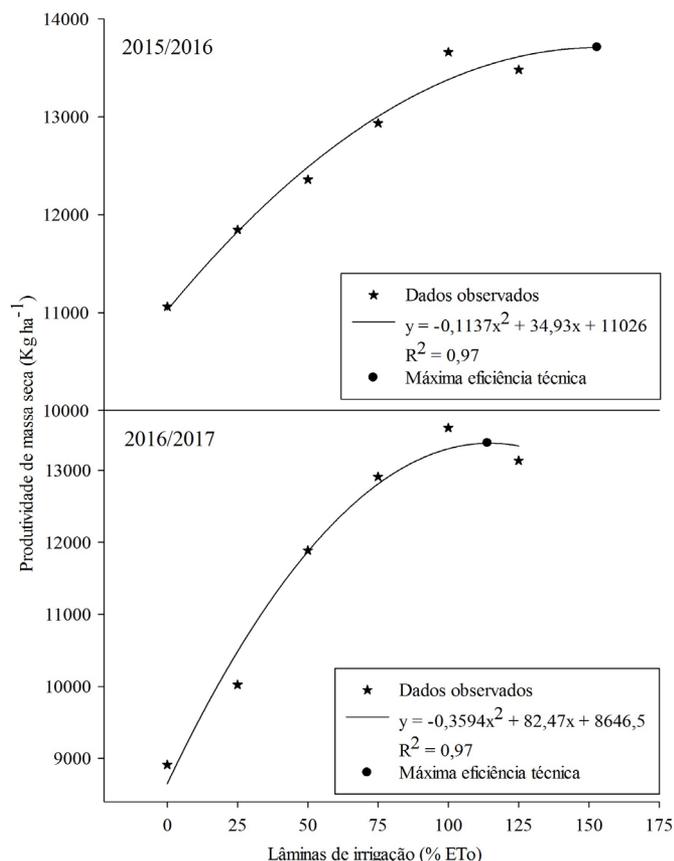


Figura 2. Produtividade total de massa seca em função das lâminas de irrigação aplicadas na cultura do sorgo forrageiro e os pontos de máxima eficiência técnica nos experimentos 2015/2016 e 2016/2017.

Tabela 2. Anova para a influência de diferentes lâminas de irrigação na produção de massa seca em sorgo forrageiro.

Experimento	Soma de quadrados	Quadrado médio do erro	Fc	Pr>Fc
2015/2016	1228220.77	1228220.77	41.88	0.00*
2016/2017	299273.36	299273.36	4.92	0.04*

Significativo a 5% de probabilidade de erro.

Assim, é possível concluir que o excesso hídrico é prejudicial ao sorgo forrageiro, e que, a calibração da lâmina de irrigação é imprescindível para a obtenção de produtividades próximas do teto produtivo.

Além disso, os resultados mostram que houve grande diferença de produção entre os tratamentos não irrigados entre os experimentos 1 e 2. A variabilidade e a irregularidade das precipitações nas primeiras semanas de crescimento no Experimento 2, causou deficiência hídrica no tratamento não irrigado, justificando os cerca de 2000 kg. ha⁻¹ a menos de massa seca produzida do Experimento 2(2016/2017) em relação ao Experimento 1 (2015/2016).

Por este motivo, o período inicial de crescimento e perfilhamento do sorgo forrageiro foi favorecido pelo suprimento hídrico adequado no Experimento 2 em todos os tratamentos, inclusive na parcela testemunha não irrigado, ao contrário do Experimento 1.

Os resultados encontrados seguem a mesma tendência dos obtidos por Vale & Azevedo (2013) que em avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo, irrigados com água do lençol freático e do rejeito dessanilizados, obtiveram produtividade de 14500 kg ha⁻¹ de massa seca no tratamento irrigado com lençol freático, valor este, um pouco acima dos obtidos na lâmina 100% nos 2 anos avaliados.

Outro trabalho em que a irrigação proporcionou elevação da produção em sorgo é o de Zwirtes (2013), que em avaliação das características morfofisiológicas e produtividade de plantas de sorgo submetidas à irrigação deficitária, encontrou maior produtividade de massa seca na lâmina de 100 % da ETc com 13785 kg ha⁻¹, ficando próximo dos 13661 kg ha⁻¹ encontrados no Experimento 1 e dos 13589 kg ha⁻¹ obtidos no Experimento 2 na lâmina de 100 % da ETo.

Em determinação da produção de massa seca em 23 genótipos de sorgo, Cunha & Lima (2010), obtiveram média de 15703 kg ha⁻¹ de produção de massa seca, com produtividade dos genótipos variando de 13467 a 26100 kg ha⁻¹, também dentro do intervalo encontrado para ambos os experimentos. Melo (2006), encontrou acréscimo de produção de 57,9 % através da irrigação com lâmina de 100 % da capacidade de campo em relação à lâmina de 25 %.

Através dos resultados encontrados nos experimentos e dos trabalhos citados na literatura, é possível caracterizar a água aplicada através da irrigação, como fator determinante para a oscilação das produtividades de massa seca.

A variação ocorrida na produtividade em cada uma das lâminas de irrigação para ambos os experimentos, com comportamento quadrático e teto de produção na lâmina de 100 % da ETo, tornam a irrigação uma alternativa viável para o aumento dos índices de produção das pastagens cultivadas com sorgo forrageiro e demonstram a importância do correto dimensionamento e manejo da irrigação.

Colaborando com os resultados encontrados, alguns autores enfatizam a necessidade e a importância de determinação da necessidade hídrica e das produtividades das culturas em tratamentos irrigados e não irrigados. De acordo com Antoniel et al. (2016b), o aumento da produção de massa seca em pastagens quando irrigado em relação às pastagens de sequeiro é inquestionável.

Além disso, a produção máxima de ambos os anos ficou próxima a 13000 kg ha⁻¹, sendo encontrada na lâmina de 100 % da ETo. Isto se justifica no fato de não ter ocorrido deficiência hídrica devido à reposição da demanda evapotranspirativa através da irrigação. Também é possível verificar que o excesso hídrico aplicado através da lâmina de 125% da ETo além de caracterizar a perda de água e o aumento do custo de produção ainda ocasiona perdas de produtividades no sorgo forrageiro.

A aplicação excessiva de água em irrigação de pastagens é o principal problema, segundo Alencar et al. (2009), pois resulta em prejuízos ao ambiente, desperdício de energia e água, lixiviação de nutrientes e maior compactação do solo. Para Wagner et al. (2013), o crescimento e desenvolvimento

de culturas agrícolas são influenciados por vários fatores, incluindo dinâmica solo-planta-atmosfera, disponibilidade de água no solo, evapotranspiração e utilização de água de plantas.

A água é caracterizada por Pimentel et al. (2016) como fator responsável pelo incremento de produção de forragem, onde o abastecimento adequado de água é um fator determinante para o desenvolvimento de folhas e caules em espécies forrageiras. Somente com a disponibilidade adequada de água no metabolismo vegetal, ocorrem as mudanças necessárias entre a planta e a atmosfera, atingindo altos níveis de fotossíntese, o que, conseqüentemente, leva ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

A ocorrência de deficiência hídrica provoca alterações no funcionamento das plantas, tais como, redução do potencial hídrico foliar, fechamento estomático, redução da taxa fotossintética, redução da parte aérea, aceleração da senescência, abscisão foliar, entre outras (Ferrari et al., 2015). Por outro lado, Ferraz et al. (2012) definem que através da maior disponibilidade de água, as plantas aumentam a troca de gases entre planta e atmosfera, causando a expansão do tecido vegetal e o desenvolvimento da parte aérea, principalmente folhas.

Contudo, além dos aspectos referentes à produtividade, a determinação da eficiência no uso da água (EUA) é extremamente importante na agricultura irrigada. A eficiência no uso da água para cada uma das lâminas nos dois anos agrícolas e os pontos de máxima eficiência técnica estão representada na Figura 3.

Conforme pode ser observado na Figura 3, houve variação na EUA entre os experimentos 1 e 2. Os pontos de máxima eficiência técnica (MET) foram encontrados nos tratamentos com as lâminas de irrigação de 22,5 % em 2015/2016 e 75 % da ETo em 2016/2017, com uma expectativa de rendimento de 24,2 kg.mm no primeiro ano e 19,02 no segundo ano experimental. Esta variação ocorrida na MET entre os anos avaliados ocorreu em função da amplitude de variação nos volumes de precipitação e irrigação distintos, além da variabilidade de produção de massa seca entre os experimentos e da frequência das irrigações.

Como pode ser observado na Figura 1, para o ano de 2015/2016 as irrigações foram necessárias em semanas espaçadas e distantes, fato este que diminuiu a MET em relação ao experimento 2016/2017, onde se fizeram necessárias três irrigações em semanas consecutivas nas primeiras semanas de crescimento e desenvolvimento da cultura, aumentando assim a MET.

Koetz et al. (2006) afirmam que o aumento do intervalo compreendido entre as irrigações há um aumento na eficiência do uso da água, pois uma maior fração da irrigação é aproveitada pela planta. Sousa et al. (2000) mencionam que a distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante o desenvolvimento da cultura, diminuem a ocorrência de perdas de água por drenagem, bem como, aumentam a eficiência no uso da água e seu ponto de máxima eficiência técnica.

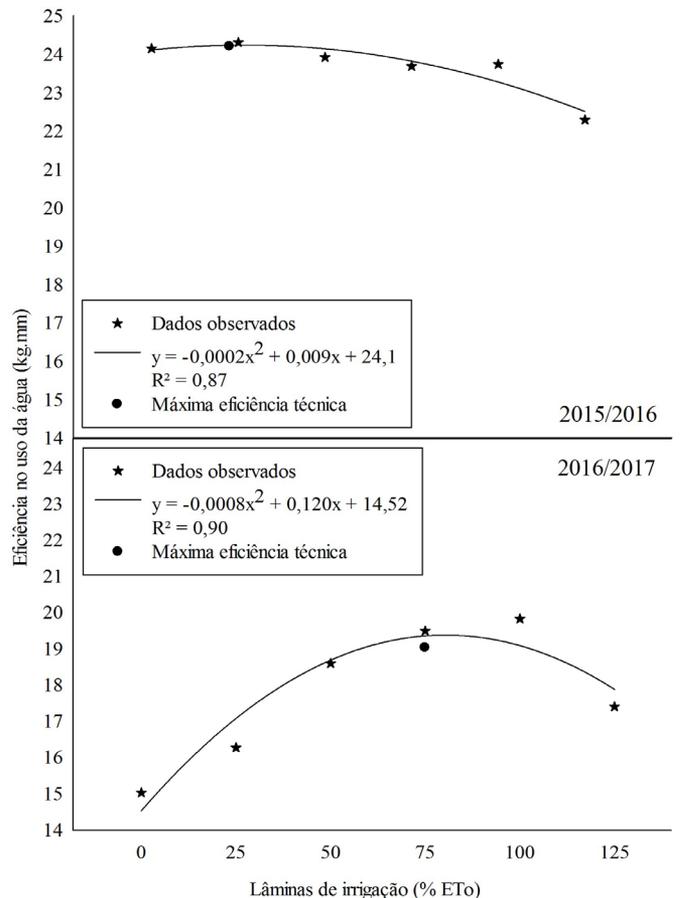


Figura 3. Eficiência no uso da água para cada lâmina de irrigação e os pontos de máxima eficiência técnica nos 2 anos avaliados.

Para o Experimento 1 (2015/2016), houve pequena variação entre as lâminas, com valores compreendidos entre 22,28 e 24,30 kg.mm⁻¹. Já para o Experimento 2, houve uma amplitude maior de variação na EUA entre as distintas lâminas, variando de 15,01 a 19,81 kg.mm⁻¹.

Este resultado pode ser atribuído ao fato de no Experimento 1 ter ocorrido um volume menor de precipitação pluvial em relação ao Experimento 2, além, de uma distribuição pluviométrica mais uniforme ao longo das primeiras 4 semanas. No Experimento 1 foi necessária apenas uma irrigação neste período, enquanto no Experimento 2 foram quatro irrigações.

Este fato ocasionou uma diferença expressiva de produção no tratamento não irrigado entre os anos agrícolas, pelo déficit hídrico ocorrido no Experimento 2 em um período crucial de crescimento e estabelecimento da cultura, que é o perfilhamento. Magalhães et al. (2008), contribuem afirmando que os perfilhos naturalmente são mais sensíveis ao déficit hídrico que a planta mãe, fato este, que causa a morte dos perfilhos e, conseqüentemente, quedas de produção, influenciando de maneira direta na EUA entre os experimentos.

Nota-se ainda que no experimento 1 a equação ajustada foi a de segundo grau, onde a maior EUA foi encontrada na lâmina de 25 % da ETo seguida pela testemunha não irrigada.

As menores EUA foram obtidas nas maiores lâminas de irrigação, ou seja, nas lâminas de 125 e de 100 % da ETo. Este resultado é atribuído à distribuição mais regular de precipitação e a menor amplitude de produtividade entre os tratamentos.

No Experimento 2 a equação ajustada também foi de segundo grau, onde a maior EUA foi encontrada na lâmina de 100 % da ETo e a menor no tratamento testemunha. O resultado é atribuído à má distribuição da precipitação nas primeiras semanas, provocando amplitude alta de produtividade entre os tratamentos, principalmente na baixa produtividade do tratamento testemunha quando comparado aos demais.

Os resultados encontrados para o Experimento 1 (2015/2016) estão de acordo com os obtidos por Melo (2006), que em trabalho com as culturas do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e milho (*Pennisetum glaucum* (L.), encontrou maior EUA para as menores lâminas de irrigação em sorgo, testando as seguintes lâminas: 0, 25, 50, 75 e 100% da capacidade de campo do solo. A maior eficiência foi encontrada na lâmina de 25% de capacidade de campo com 4,50 g kg⁻¹, enquanto que o menor valor da eficiência de uso da água foi obtido na lâmina de 100% de capacidade de campo com 3,00 g kg⁻¹.

A importância da determinação da eficiência do uso água é caracterizada por Ali & Talukder (2008), que afirmam que o aumento pode ser alcançado através de manejos de irrigação com reposição parcial da lâmina total necessária ou com a redução da frequência de irrigação.

Já os resultados obtidos com o Experimento 2 (2016/2017) estão de acordo com os obtidos por Parizi et al. (2009), que trabalhando com cinco estratégias de irrigação 0%, 60%, 80%, 100% e 120% da Eto, com a cultura do milho, observaram os maiores valores de EUA de 3,41 kg m⁻³.ha⁻¹ e 3,46 kg.m⁻³.ha⁻¹ nos tratamentos de 80% e 100% de ETo e o valor mais baixo, 3,0 kg.m⁻³.ha⁻¹ foi obtido na lâmina de 120% da ETo, ou seja, lâminas superiores a 100% diminuiriam a EUA.

Também podem ser encontrados resultados opostos aos encontrados nos experimentos, tais como, os de Souza et al. (2011), que em trabalho com cinco lâminas de irrigação diferentes: 0%, 50%, 75%, 100% e 125% de Eto, para o consórcio de milho e feijão-caupi na região de Petrolina-PE, encontraram comportamento linear para a eficiência no uso da água em semeadura exclusiva. Os valores encontrados para as lâminas citadas foram de 0,46 kg.m⁻³ a 0,77 kg. m⁻³ em função dos tratamentos citados, caracterizando assim, que o aumento da lâmina de irrigação proporcionou o aumento da EUA.

Conclusões

A cultura do sorgo forrageiro apresenta resposta de incremento de produção de massa seca ha⁻¹ quando irrigada para ambos os anos agrícolas, porém é afetada tanto pelo déficit quanto pelo excesso hídrico, sendo sua função de produção quadrática.

A eficiência de uso da água difere em relação as lâminas de irrigação aplicadas para os distintos anos avaliados, apresentam equações quadráticas contrárias em cada experimento, em função das condições climáticas e do regime de distribuição das precipitações pluviométricas.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo concedida.

Literatura Citada

- Alencar, C. A. B.; da Cunha, F. F.; Martins, C. E.; Cóser, A. C.; da Rocha, W. S. D.; Araújo, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n. spe., p.98-108, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300012>.
- Ali, M. H.; Hoque, M. R.; Hassan, A. A.; Khair, A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic returns of wheat. Agricultural Water Management, v.92, n.3, p.151-161, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.05.010>.
- Ali, M. H.; Talukder, M. S. U. Increasing water productivity in crop production—A synthesis. Agricultural Water Management, v. 95, n.11, p. 1201–1213, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.008>.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, J. Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006. 298 p.
- Andrade, A. R. S.; Machado, C. B.; Vilela, E. L.; Camêlo, D. L.; Silva, L. C. C. Desenvolvimento da cultura do sorgo em um latossolo amarelo submetido à adubação orgânica. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, v.4, n. 2, p. 137-151, 2011. <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/download/1332/1451>.
- Antonieli, L. S.; Prado, G.; Rocha, T.; Bombardelli, W. W. A.; Beltrame, G. A.; Bueno, J. I. Irrigação no teor de proteína bruta de duas espécies de pastagens. Revista Irriga, v.1, n.1, p. 248-259, 2016b. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p248-259>.
- Antonieli, L. S.; Prado, G.; Tinos, A. C.; Beltrame, G. A.; De Almeida, J. V.; Cuco, G. P. Pasture production under diferente irrigation depths. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016a. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p539-544>.
- Avelino, P. M.; Neiva, J. N. M.; Araujo, V. L.; Alexandrino, E.; Bomfim, M. A. D.; Restle, J. Composição bromatológica de silagens de híbridos de sorgo cultivados em diferentes densidades de plantas. Revista Ciência Agrônômica, v. 42, n. 1, p. 208-215, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000100026>.
- Azevedo, L. P. D.; Saad, J. C. C. Irrigação de pastagens via pivô central, na bovinocultura de corte. Revista Irriga, v. 14, n. 4, p. 492-503, 2009. <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n4p492-503>.
- Bertossi, A. P.; Milen, L. C., de Oliveira H, M., Rodrigues, R. R., dos Reis, E. F. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em malha em pastagem. Nucleus, v. 10, n. 1, p. 125-134, 2013. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.864>.

- Cauduro, F.; Dorfman, R. Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem. Porto Alegre: Proni/IPH-UFRGS, 1986. 216 p.
- Comissão de Química e Fertilidade do Solo. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: SBSC - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.
- Cunha, E. E.; Lima, J. M. P. D. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, n. 4, p. 701-706, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000400002>.
- Ferrari, E.; Paz, A.; Silva, A.C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato Grosso. Nativa, v.3, n. 1, p. 67-77, 2015. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a12>.
- Ferraz, R. D. S.; Melo, A. S.; Suassuna, J. F.; Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Nunes Júnior, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. Revista Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200010>.
- Ferreira, D. F. Sisvar - Sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.
- Koetz, M.; Coelho, G.; Costa, C. C. da; Lima, E. P.; Souza, R. J. de. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alfaca americana em ambiente protegido. Engenharia Agrícola, v. 26, n. 3, p. 730-737, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000300009>.
- Magalhães, P. C.; Durães, F. O. M.; Rodrigues, J. A. S. Cultivo do sorgo. ecofisiologia. In: Embrapa Milho e Sorgo (Ed.). Sistemas de produção, 2. 4.ed. Versão Eletrônica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2008. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27457/1/Ecofisiologia-Aspectos-gerais.pdf>. 29 Mar. 2018.
- Melo, D. Avaliação de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) B. R.) sob diferentes níveis de água no solo. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2006. 59 p. Dissertação Mestrado. http://www.cstr.ufcg.edu.br/zootecnia/dissertacoes/djair_dissert.pdf. 19 Mar. 2018.
- Millar, A. A. Drenagem de terras agrícolas: bases agrônômicas. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276 p.
- Moreira, C. D. A.; Pereira, D. H.; Coimbra, R. A.; Moreira, I. D. A. Germinação de gramíneas forrageiras em função da inoculação de bactérias diazotróficas. Scientific Electronic Archives, v. 6, p. 90-96, 2014. <http://www.revista.seas.inop.com.br/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=99>. 30 Mar. 2018.
- Moreno, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretária da Agricultura, 1961. 42p.
- Nied, A. H.; Heldwein, A. B.; Estefanel, V.; Silva, J. C.; Alberto, C. M. Épocas de sementeira do milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS Brasil. Ciência Rural, v. 35, n. 5, p. 995-1002, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000500003>.
- Oliveira, E. C. A.; Freire, F. J.; Oliveira, A. C.; Neto, D. E. S.; Rocha, A. T.; Carvalho, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, n.6, p.617-625, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000600007>.
- Oliveira, V. D. S.; Morais, J. A. D. S.; Fagundes, J. L.; Lima, I. G. S.; Santana, J. C. S.; Dos Santos, C. B. Efeito da irrigação na produção e qualidade de pastagens durante o período da seca. Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária, v.26, n. 1, p. 1-10, 2016. <http://revistas.bvs-vet.org.br/rcemv/article/view/35675/40086>. 10 Mar. 2018.
- Parizi, A. R. C.; Robaina, A. D.; Gomes, A. C. S.; Soares, F. C.; Ramao, C.; Calegari, I.; Peiter, M. X. Efeito de diferentes estratégias de irrigação sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. Irriga, v. 14, n.3, p. 254-269, 2009. <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n3p254-267>.
- Pedreira, C. G. S.; Nussio, L. G.; Silva, S. C. Condições edafoclimáticas para produção de *Cynodon* spp. In: Simpósio sobre Manejo da Pastagem, 15., 1998, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1998, p. 85-114.
- Pimentel, R. M.; Bayão, G. F. V.; Lelis, D. L.; Silva, A. J. C.; Saldarriaga, F. V.; Melo, C. C. V.; Miranda, D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. PUBVET, v. 10, n. 9, p. 666-679, 2016. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v10n9.666-679>.
- Rodrigues, J.A.S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: Simpósio de Forragicultura e Pastagens: temas em evidência, 2000, Lavras. Anais... Lavras: UFLA, 2000. p.179-201.
- Santos, R. F.; Carlesso, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológico das plantas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v2n3p287-294>.
- Sbrissia, A. F.; Duchini, P. G.; Echeverria, J. R.; Miqueloto, T.; Bernardon, A.; Américo, L. F. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, v. 25, n. 1-2, p. 47-60, 2017. http://www.ojs.alpa.org.ve/index.php/ojs_files/article/viewFile/2568/1007. 03 Mar. 2018.
- Sousa, V. F. de; Coelho, E. F.; Andrade Júnior, A. S. de; Folegatti, M. V.; Frizzone, J. A. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 2, p. 183-188, 2000. <https://doi.org/10.1590/S1415-4366200000200009>.
- Souza, L. S. B.; Moura, M. S. B.; Sediyaama, G. C.; Silva, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. Bragantia, v.70, n.3, p.715-721, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300030>.
- Strech, E. V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Klamt, E.; Nascimento, P. C.; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L. F. S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.
- Systat Software. Sigmaplot for Windows. Version 11.0. San Jose: Systat Software, 2008.
- Vale, M. B.; Azevedo, P. B. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. Holos, v.29, n.3. p. 181-195, 2013. <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/1383/688>. 28 Mar. 2018.
- Von Pinho, R. G.; Vasconcelos, R. C.; Borges, I. D.; Resende, A. V. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de sementeira. Bragantia, v. 66, n. 2, p. 235-245, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000200007>.

- Wagner, M.; Jadoski, S. O.; Maggi, M. F.; Saito, L. R.; Lima, A. S. Estimativa da produtividade do milho em função da disponibilidade hídrica em Guarapuava, PR, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.2, p. 170-179, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200008>.
- Zwirtes, A. L. Características morfofisiológicas e produtividade de plantas de sorgo submetidas à irrigação deficitária. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. 96 p. Dissertação Mestrado. <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/7569>. 22 Mar. 2018.