

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

Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira

**VIABILIDADE DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA
PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL**

**Santa Maria, RS
2016**

Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira

**VIABILIDADE DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA PARA A
PRODUÇÃO DE ETANOL**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Agrícola.**

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marcia Xavier Peiter

Santa Maria, RS
2016

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

Nogueira , Helena Maria Camilo de Moraes
Viabilidade do cultivo da cana-de-açúcar irrigada para a produção de etanol / Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira .- 2016.
139 p.; 30 cm

Orientadora: Marcia Xavier Peiter
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2016

1. Saccharum officinarum L. 2. Uso eficiente da água
3. Lâminas de irrigação 4. Análise econômica 5. Região Central do Rio Grande do Sul I. Peiter, Marcia Xavier II. Título.

© 2016

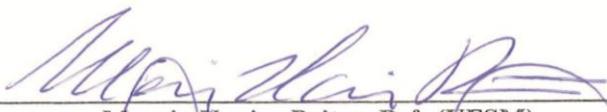
Todos os direitos autorais reservados a Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira. A reprodução de partes ou de todo o trabalho poderá ser feita mediante a citação da fonte.
Endereço: Rua Cruz e Souza, 155, Bairro Camobi, Santa Maria, RS. CEP. 97110-220
Fone: (0xx)55 32261776/96311142. E-mail: hcm.camilo@mail.ufsm.br

Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira

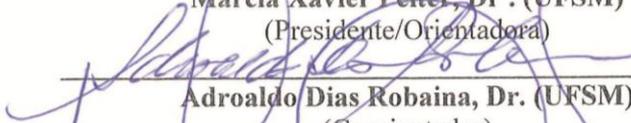
**VIABILIDADE DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA PARA A
PRODUÇÃO DE ETANOL**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Engenharia Agrícola.**

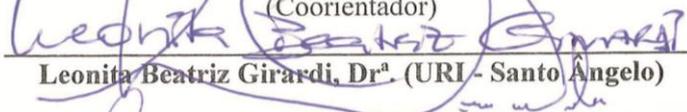
Aprovado em 07 de outubro de 2016:



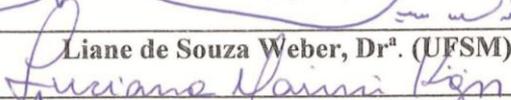
Marcia Xavier Peiter, Dr.^a (UFSM)
(Presidente/Orientadora)



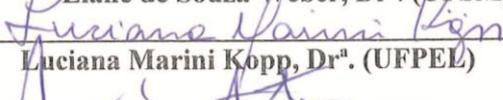
Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)
(Coorientador)



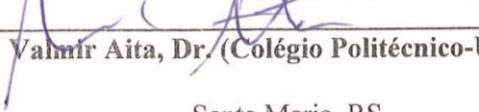
Leonita Beatriz Girardi, Dr.^a (URI - Santo Angelo)



Liane de Souza Weber, Dr.^a (UFSM)



Luciana Marini Kopp, Dr.^a (UFPEL)



Valmir Aita, Dr. (Colégio Politécnico-UFSM)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

*Pelo amor incondicional dos meus queridos pais, Antonio Pereira de Moraes Sobrinho e
Vilma Camilo de Moraes, que muito batalharam para que eu até aqui chegasse.*

*Ao meu querido esposo Cicero Urbanetto Nogueira, que de maneira muito especial, foi
amigo, companheiro e, sendo meu porto-seguro nos momentos difíceis.*

*Aos meus amados filhos Thiciano e Tharsilo, pelo carinho e por entenderem e colaborarem
para a realização de mais esse sonho.*

Os amo.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua Graça, que nos ilumina todo dia e nos dá esperança.

À Universidade Federal de Santa Maria, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade oferecida.

À professora orientadora Marcia Xavier Peiter que com sabedoria, carinho, amizade, amor, ensinamento e paciência me orientou para mais esta oportunidade.

Ao professor coorientador Adroaldo Dias Robaina, pelos ensinamentos, atenção, amizade e profissionalismo.

À direção e aos colegas do Colégio Politécnico da UFSM, que contribuíram muito para a realização deste trabalho.

A grande contribuição da Cooperativa Escola dos estudantes do Colégio Politécnico da UFSM Ltda (CESPOL).

A toda a equipe do Laboratório de Energias Alternativas, da Usina Piloto de Álcool e do Setor de Mecanização do Colégio Politécnico da UFSM.

A toda a equipe de trabalho da área experimental, pela ajuda e amizade, meu carinho e gratidão.

Aos colegas do Laboratório de Hidráulica da UFSM, pela ajuda, carinho e amizade.

Pelo incentivo e apoio dos familiares, principalmente do meu marido Cicero Urbanetto Nogueira pela incansável ajuda e pelos filhos Thiciano Camilo de Moraes Nogueira e Tharsilo Camilo de Moraes Nogueira pela compreensão, o amor e colaborarem para a realização desse sonho.

A família do colega Richard Alberto Rodríguez Padrón, pela ajuda, amizade e carinho.

A amiga e presença constante nas horas difíceis Carla Beatriz Martins.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram no início, meio ou fim desta etapa vencida.

A todos, meu muito obrigada!

RESUMO

VIABILIDADE DO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

AUTORA: Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira
ORIENTADORA: Dr^a. Marcia Xavier Peiter

O potencial de produção do mercado sucroalcooleiro e o aumento na demanda por etanol fazem da cana-de-açúcar a mais importante fonte de biomassa energética para a agroindústria brasileira. Esse estudo teve como objetivo avaliar o desempenho técnico e econômico da cultura da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de manejo de irrigação suplementar para a produção de etanol na Região Central do RS. Desenvolvido na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria-RS nas safras agrícolas nos anos 2013-2014 e 2014-2015. Os tratamentos foram compostos por quatro lâminas de irrigação suplementar: 30, 60, 90 e 120% da ETc e com testemunha sem irrigação. A variedade utilizada foi de ciclo precoce RB93-5581, plantada em 14 de novembro de 2013. O desenho experimental foi blocos ao acaso, com seis repetições. Cada unidade experimental foi constituída por 4 linhas com espaçamento de 1 m e 5 m de comprimento, cada bloco com 20 m² e a área total de 600 m². O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura, conforme a metodologia proposta pela FAO. O sistema de irrigação utilizado foi localizado por gotejamento, com espaçamento entre cada emissor de 0,2 m e vazão de 0,8 L h⁻¹ e a frequência de irrigação foi a cada sete dias. Foi realizada a análise química e física do solo. O monitoramento da umidade do solo foi pela reflectômetria no domínio do tempo (TDR). Avaliaram-se os seguintes parâmetros: perfilhamento, altura das plantas, diâmetros, área foliar, massa total, massa seca, rendimento, os parâmetros tecnológicos e, também foi realizado a viabilidade econômica. O maior rendimento foi na cana soca, com 190 t ha⁻¹, no tratamento 60% da ETc e, o menor rendimento foi na cana planta, no tratamento de sequeiro, de 158,80 t ha⁻¹. A diferença entre o maior e o menor rendimento foi de aproximadamente 11% e 7%, na cana planta e soca, respectivamente. A taxa da máxima eficiência técnica foi no rendimento de 78% da ETc. A massa total e a massa seca obtiverem incremento de 20% e 25% em cana soca, respectivamente. Os maiores número de perfilhos, de área foliar e de número de folhas verdes foi no tratamento 120% da ETc. O deficit e o excesso de umidade afetaram o número de perfilhos, a altura da planta, os diâmetros do colmo, a área foliar, a massa total, a massa seca, o rendimento e os parâmetros tecnológicos para a produção de etanol. Na cana planta em sequeiro e sob irrigação, o custo variável representou 54,40% e 66,81% e o custo fixo de 45,60% e 33,19%, respectivamente. A diferença do custo de produção em sequeiro e sob irrigação foi de 27,23% e 57,20%, para a cana planta e soca, respectivamente. Apresentaram viabilidade econômica, a cana-de-açúcar cultivada em sequeiro e com 60% da ETc, apresentando diferença no custo de produção de 53,94% e do lucro líquido de 52,20%, com retorno financeiro no ano de implantação e com 4 anos e 4 meses, respectivamente.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L. Uso eficiente da água. Lâminas de irrigação. Análise econômica. Região Central do Rio Grande do Sul.

ABSTRACT

VIABILITY OF CULTIVATION OF CANE SUGAR IRRIGATED FOR ETHANOL PRODUCTION

AUTORA: Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira
ORIENTADORA: Dr^a. Marcia Xavier Peiter

The production potential of the sugar-alcohol market and increased demand for ethanol makes the sugarcane the most important source of energy biomass for Brazilian agribusiness. This study aimed to evaluate the technical and economic performance of the culture of sugarcane under different levels of supplemental irrigation management for the production of ethanol in the Central Region of RS. The test was developed in the experimental area at the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria-RS in agricultural crops in the years 2013-2014 and 2014-2015. The treatments consisted of four blades of supplemental irrigation: 30, 60, 90 and 120% with control without irrigation. The variety used was RB93-5581 early cycle, planted on November 14, 2013. The experimental design was a randomized block design with six replications. Each experimental unit consisted of 4 rows with a spacing of 1 m and 5 m in length, each block of 20 m² and a total area of 600 m². Irrigation management was based on crop evapotranspiration, according to the methodology proposed by FAO. The irrigation system used was located drip between spacing each emitter and 0.2 m flow of 0.8 L h⁻¹, and the frequency of irrigation was every seven days. It was carried out chemical analysis and physical soil. The monitoring of soil moisture was the time domain reflectometry (TDR). The following parameters were evaluated: tillering, plant height, diameter, leaf area, total weight, dry weight, yield, technological parameters, was also carried out the economic viability. The highest yield was in ratoon cane, with 190 t ha⁻¹ in treatment 60% of ETc and the lowest yield was in the plant cane in the treatment of to rainfed 158.80 t ha⁻¹. The difference between the highest and the lowest yield was approximately 11% and 7% in plant cane and tamp respectively. The rate of technical efficiency was maximum yield in 78% of ETc. The total mass and obtain dry mass increment of 20% to 25% by ratoon cane, respectively. The largest number of tillers, leaf area and the number of green leaves was in the treatment 120% of ETc. The deficit and excess moisture affected the number of tillers, plant height, the stalk diameter, leaf area, total mass, dry matter, yield and technological parameters for the production of ethanol. In sugarcane plant in rainfed and irrigated, the variable cost represented 54.40% and 66.81% and the fixed cost of 45.60% and 33.19%, respectively. The difference in the cost of production in rainfed and irrigated was 27.23% and 57.20% for the plant cane and tamp respectively. Presented economic viability, sugarcane grown in rainfed and 60% of ETc, with differences in the cost of production and net profit of 53.94% and 52.20%, with financial return in the year of implementation and 4 years and 4 months, respectively.

Keywords: *Saccharum officinarum* L. Efficient water use. Irrigation levels. Economic analysis. Central Region of Rio Grande do Sul.

LISTA DE TABELAS

APRESENTAÇÃO

Tabela 1 – Valores do coeficiente de cultura (Kc) para os diferentes estágios do desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar.	39
Tabela 2 – Valores de Kc para a cana planta nos diferentes estágios do desenvolvimento da cultura.	40
Tabela 3 – Evapotranspiração máxima (ETm) e lâmina de irrigação suplementar requerida simuladas para a cana-de-açúcar para quatro localidades.	42
Tabela 4 – Valores da umidade relativa média (%), insolação (h) e evaporação (mm) durante o período do ensaio.	54
Tabela 5 – Características química da área experimental.	55
Tabela 6 – Característica físico hídrica da área experimental.	56

ARTIGO 1

Table 1 - Monthly climatic data of the experimental area, relative humidity and insolation, evaporation cumulative during the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons.	71
Table 2 - Average soil attributes of the experimental area.	74
Table 3 - Evapotranspiration, effective rainfall, irrigation, and days of irrigation during the growing seasons.	76
Table 4 - Water productivity and irrigation water productivity the sugarcane with different irrigation depths.	78
Table 5 - Total mass, stem mass, and dry matter content of sugarcane submitted to different irrigation depths.	79

ARTIGO 2

Table 1 - Monthly climatic data of the experimental area with relative air humidity, insolation, and evaporation cumulative during the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons.	90
Table 2 - Average soil attributes of the experimental area.	93
Table 3 - Production costs of plant and ratoon cane under irrigation and rainfed.	96
Table 4 - Treatments, irrigation depths (ID), yield, gross profit and the total cost in the cultivation of sugarcane for five years of study.	96
Table 5 - Treatments, the net present value (NPV), internal rate of return (IRR), the equilibrium point (EP), benefit cost (B/C), <i>payback</i> (PB), and discounted <i>payback</i> (PBD) for sugarcane crop for five years of study.	98
Table 6 - Treatments, °brix, fiber, Pol% _{sugarcane juice} , Pol% _{sugarcane} , Purity, TRS% _{sugarcane} , RTS and Ethanol for plant and ratoon sugarcane subjected to different levels of irrigation management.	99

LISTA DE FIGURAS

APRESENTAÇÃO

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo do etanol de cana-de-açúcar da Usina Piloto de Etanol do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria-RS.	48
Figura 2 – Valores da precipitação (mm), temperatura mínima (°C), média (°C) e máxima (°C) no período do ensaio.	54
Figura 3 – Croqui da distribuição dos blocos com as parcelas.	57
Figura 4 – Esquema de distribuição da água na unidade experimental.	60
Figura 5 – Sistema de numeração de folhas no sistema estabelecido por Kuijper em Van Dillewijn (1952).	62

ARTIGO 1

Figure 1. Climograph of the experimental area, during the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons.	72
Figure 2. Sugarcane yield with irrigation rate applied as a fraction of crop evapotranspiration with different irrigation depths.	77
Figure 3. Plant height, and number of tillers with different irrigation depths.	80
Figure 4. Number of green leaves and leaf area the sugarcane with different irrigation depths.	82

ARTIGO 2

Figure 1. Climograph of the experimental area, during the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons.	91
Figure 2. Net profit in terms of irrigation for sugarcane crop for five years of analysis.	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVO GERAL.....	23
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	CONTEXTO HISTÓRICO SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR.....	25
2.2	CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO RIO GRANDE DO SUL.....	28
2.3	CARACTERÍSTICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	29
2.4	FATORES CLIMÁTICOS.....	31
2.5	A IRRIGAÇÃO.....	33
2.5.1	Precipitação efetiva	34
2.5.2	Métodos de irrigação da cana-de-açúcar	35
2.5.3	Necessidade hídrica da cana-de-açúcar	36
2.6	EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	39
2.7	FUNÇÃO DE PRODUÇÃO.....	40
2.8	CUSTO DE PRODUÇÃO.....	42
2.9	ANÁLISE ECONÔMICA EM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA.....	43
2.10	O ÁLCOOL ETÍLICO OU ETANOL.....	44
2.10.1	Etapas do processo produtivo do etanol	45
2.10.2	Produtividade e custo do etanol	49
3	MATERIAIS E MÉTODOS	53
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	53
3.2	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICO HÍDRICA DO SOLO.....	55
3.3	MANEJO DA CULTURA.....	56
3.4	A VARIEDADE E O DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	56
3.5	MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	58
3.6	COLETA E ANÁLISE DOS DADOS BIOMÉTRICOS E TECNOLÓGICOS.....	61
3.7	A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E DO LUCRO LÍQUIDO.....	66
3.8	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	66
4	ARTIGO 1 - IRRIGATION DEPTHS IN SUGARCANE CROP WITH DRIP IRRIGATION SYSTEM	69
4.1	ABSTRACT.....	69
4.2	INTRODUCTION.....	69
4.3	MATERIALS AND METHODS.....	71
4.4	RESULTS AND DISCUSSION.....	75
4.5	CONCLUSIONS.....	83
4.6	CONFLICT OF INTEREST.....	83
4.7	ACKNOWLEDGEMENTS.....	83
5	ARTIGO 2 – TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND ECONOMIC ANALYSIS OF SUGARCANE CULTIVATED UNDER IRRIGATION DEPTHS FOR ETHANOL PRODUCTION IN SANTA MARIA-RS, BRASIL	87
5.1	ABSTRACT.....	87
5.2	INTRODUCTION.....	87
5.3	MATERIALS AND METHODS.....	89
5.4	RESULTS AND DISCUSSION.....	95
5.5	CONCLUSIONS.....	101
5.6	CONFLICT OF INTEREST.....	102
5.7	ACKNOWLEDGEMENTS.....	102

6	DISCUSSÃO	107
6.1	DADOS BIOMÉTRICOS DA CULTURA	109
6.2	PARÂMETROS TECNOLÓGICOS	116
6.3	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	118
7	CONCLUSÃO	123
	REFERÊNCIAS	125

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar ocupa posição de destaque entre as principais culturas cultivadas no mundo, com importância social, econômica e ambiental, fornecendo matéria-prima à indústria sucroalcooleira para a produção de álcool (hidratado e anidro), açúcar, cachaça, bioplástico, papel, biodiesel, querosene, fertilizantes, na alimentação animal e, também, atuando como fonte de energia, por meio da palha e do bagaço, para a geração de eletricidade e a vinhaça, que serve de fertilizante (SOUZA; BERNARDO; CARVALHO, 1999).

Cultivada em mais de 100 países, representa importante atividade que utiliza a mão de obra no meio rural, com cerca de 80% da produção concentrados em dez países: Brasil, Índia, China, México, Tailândia, Paquistão, Colômbia, Austrália, Indonésia e Estados Unidos (FAO, 2008).

No Brasil, a cana-de-açúcar é a terceira cultura em termos de ocupação de área, com aproximadamente 9.004,50 mil hectares, onde 56,28% da cana são utilizadas na produção de álcool (28,66 bilhões de litros) e 43,72% na produção de açúcar (36,36 milhões de t de açúcar). São Paulo é o maior produtor, com 52% da área plantada e a produtividade média do País é 71,31 t ha⁻¹. A região Sul representa 7% da produção nacional, com 0,636 milhões de hectares e, da região Sul, o Estado do Rio Grande do Sul representa 2,2%, com 0,014 milhões de hectares, com rendimento médio de 55,22 t ha⁻¹ (CONAB, 2014).

No Estado destacam-se as regiões das Missões e Médio Alto Uruguai (Roque Gonzales com 74.067 t e Porto Xavier com 52.067 t), que juntas contribuem com um terço da produção gaúcha. Apesar de ter produção pouco significativa em nível nacional, a produção de cana-de-açúcar no Estado tem sua importância relativa, por estar associado às atividades desenvolvidas em áreas de pequena propriedade, relacionadas à criação de gado e ao processamento artesanal de subprodutos como o melado, a rapadura, o açúcar mascavo e a cachaça (SOARES, 2008).

Em 1984 foi estabelecido o “zoneamento edafoclimático para a cultura de cana-de-açúcar”, elaborado pela Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul. O Estado possui potencial para o cultivo, distribuído principalmente nas regiões do Litoral, Depressão Central, Missões e Alto Uruguai e, em 2009, foram identificados 182 municípios gaúchos aptos para produzir cana em grande escala e mais 34 localidades que poderiam fabricar cachaça e outros derivados (PEREIRA; MASSAU, 1984; MAPA, 2009).

O Estado do Rio Grande do Sul, atualmente, o maior produtor de biodiesel do país, precisa importar cerca de 98% de sua demanda interna de etanol de outros estados (São Paulo

produz 70% do total do etanol do País) e regiões do Brasil (COLUSSI, 2011). Do ponto de vista da economia de divisas e do melhor aproveitamento dos benefícios do uso do etanol, diferentemente do modelo hegemônico sucroalcooleiro do país, destaca-se o modelo de pequena escala (microdestilarias com 600 L dia⁻¹) onde as emissões de gases do efeito estufa estimadas para o sistema são cerca de 1/5 daquelas da produção convencional (grande escala). Com alguns ajustes tecnológicos e políticas governamentais específicas, a expansão deste modelo seria recomendada para que a renda média anual dos produtores se aproximasse daquela obtida com a venda de folhas de fumo, cultura desvantajosa para os produtores e para o meio ambiente (MAROUN, 2013).

Segundo a mesma autora, esse modelo estaria alinhado às características culturais e agrárias do Estado, possibilitando a inclusão de pequenos agricultores no desenvolvimento da cadeia de etanol, que poderiam ser integrados em redes de cooperativas para a produção conjunta de etanol hidratado e cachaça, por exemplo, gerando programa de autossuficiência energética rentável ao produtor e ao País e contribuindo para a preservação dos serviços ecossistêmicos, para o desenvolvimento rural, com benefícios sociais e ambientais.

A produtividade da cana-de-açúcar no Estado era muito baixa (34 t ha⁻¹), pela carência de variedades não adaptadas ao tipo de clima da região. No entanto, no período de 2010 a 2012, nos trabalhos de pesquisas realizados pela Embrapa, nos municípios gaúchos de Santa Rosa, Erechim, São Luiz Gonzaga, Jaguari, São Borja, Porto Xavier, Salto do Jacuí, Santa Maria, Pelotas, Viamão e Caxias do Sul, as variedades de cana-de-açúcar testadas nessas safras renderam produtividade média de 96 t ha⁻¹ (NOGUEIRA, 2011; NOGUEIRA et al., 2012, 2015; REVISTA RURAL, 2013).

O clima do Rio Grande do Sul apresenta grandes diferenças em relação ao Brasil, ele é temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido de acordo com a classificação de Köppen-Geiger (MORENO, 1961). As temperaturas apresentam grande variação sazonal, com verões quentes e invernos bastante rigorosos, com ocorrência de fortes geadas e, ocasionalmente, neve. As temperaturas médias variam entre 15°C e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 42°C. O volume de chuvas também é diferenciado, ao Sul do Estado, a precipitação média situa-se entre 1.299 mm e 1.500 mm e, ao norte, a média está entre 1.500 mm e 1.800 mm, com média pluviométrica anual de 1.643 mm, mas nos últimos anos, tem passado por períodos longos de déficit hídrico e a frequência de “veranicos” (ATLAS SOCIO ECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL, 2014).

A deficiência hídrica é um dos principais fatores de redução do crescimento, limitando a produtividade e a distribuição dos vegetais, apresentando influência negativa em mais de

10% das áreas agrícolas do globo terrestre (BARTELS; SUNKAR, 2005), principalmente em lavouras de espécies economicamente importantes como o arroz, o milho, o trigo e a cana-de-açúcar (GARG et al., 2002).

Segundo Inman-Bamber (2004), para a cana-de-açúcar o tempo de exposição à seca afeta negativamente o crescimento da parte aérea, sobretudo a produção de folhas, acelerando a senescência foliar da planta como um todo, podendo, ainda, levar à redução na interceptação da radiação, na eficiência do uso de água e na fotossíntese, bem como, no aumento da radiação transmitida para a superfície do solo. Além disso, o desenvolvimento morfofisiológico também tem sido afetado pelo regime hídrico, reduzindo 41,50% no perfilhamento e 37,70% no número de colmos industrializáveis, comparando o cultivo de sequeiro com o irrigado (FARIAS et al., 2008a).

Para Bernardo (2006), o consumo diário de água pela cana-de-açúcar depende da variedade, do estágio de desenvolvimento da cultura, da demanda evapotranspirométrica em função do mês e da região. Mesmo em regiões consideradas climaticamente úmidas, a distribuição irregular das chuvas pode, em alguns períodos, limitar o crescimento das plantas (OMETTO, 1980).

Diversos autores, tais como: Demétrio (1978), Matioli (1998), Bernardo (2006), Neto et al. (2006), Dalri e Cruz (2008), Dalri et al. (2008), Farias et al. (2008a), Farias et al. (2008b), Oliveira et al. (2009), Silva et al. (2011), Carvalho et al. (2014), Oliveira et al. (2014), Silva et al. (2014), Vieira et al. (2014) e Souza et al. (2015) mostraram que a resposta da cana para a irrigação é significativa e pode ser usada como fator decisivo para a implementação dessa tecnologia em canaviais. A irrigação garante as condições ideais de umidade no solo, proporcionando maior absorção de água e nutrientes, para maximizar: o rendimento, o crescimento, a densidade de colmo, a área foliar, o índice de área foliar, os valores de teor de açúcar, como consequências, o aumento da vida útil do canavial e do lucro ao produtor.

No entanto, tendo em conta a grande necessidade de água durante o ciclo de produção e a escassez dos recursos hídricos, as estratégias no manejo e o uso eficiente da água de irrigação são a chave para a sustentabilidade e rentabilidade dos cultivos. Também, é de fundamental importância para a obtenção de maiores rendimentos, qualidade, redução de custos e uso racional da água (PADRÓN et al., 2015a), tais como gotejamento, por exemplo (PARKES et al., 2010; BOAS et al., 2011; MARTINS et al., 2011).

A irrigação é um dos fatores mais influentes na produtividade e custo de produção da cana-de-açúcar (TEODORO et al., 2013), o uso desta técnica agrícola nos canaviais requer

investimentos consideráveis e muita atenção, uma vez que o agricultor deverá usá-la de forma a aplicar a lâmina ideal no momento recomendado (FERNANDES, 2003). Dessa forma, a irrigação localizada surge como meio de associar os ganhos de produtividade da irrigação, com maior economia de água e energia elétrica, se tornando técnica cada vez mais utilizada no Brasil e no mundo.

Analisar a viabilidade econômica da implementação deste método específico de irrigação, diante da atual conjuntura agrícola e econômica brasileira, passa a ser cada vez mais importante. A resposta da produção da cultura em relação a diferentes lâminas de irrigação é fundamental, pois nem sempre o sistema que proporciona a máxima eficiência técnica representa a condição economicamente viável, havendo a necessidade de se determinar o volume de água que forneça o melhor retorno econômico para viabilizar e difundir a exploração da cultura irrigada em uma região (FRIZZONE, 1993).

Por esse motivo, o conhecimento do requerimento hídrico da cana-de-açúcar se torna de suma importância, pois é influenciado por fatores inerentes às condições ambientais, técnicas agrícolas, período de plantio e variedades, normalmente reduzindo com a sucessão dos ciclos de cultivo (cana planta, cana soca e ressoça) e tende a apresentar grandes variações entre as regiões de produção (DOORENBOS; KASSAM, 1979; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; NETO et al., 2006; FARIAS et al., 2008b).

A literatura é abundante de informações dos resultados de pesquisa sobre a demanda de água da cana-de-açúcar em vários lugares do mundo e de outros estados produtores do Brasil, mas não há referências relativas às variedades utilizadas na Região Sul, onde o inverno caracteriza-se por temperaturas mais baixas em relação às demais regiões produtoras.

Diante do exposto e considerando-se, o lançamento de mais variedades resistentes ao frio e à seca, com capacidade produtiva para o mercado do etanol e o potencial de incremento da irrigação, principalmente em anos secos, torna-se necessário avaliar o crescimento e o desenvolvimento da cultura e, assim oferecer subsídios relacionados ao manejo de água, de forma a obter a produção economicamente viável para o Estado do Rio Grande do Sul, em especial, no município de Santa Maria-RS.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica e econômica do cultivo de cana-de-açúcar irrigada para a produção de etanol na Região Central do Rio Grande do Sul.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cana-de-açúcar sob diferentes lâminas suplementares de irrigação;
- Pesquisar e determinar os custos de produção da cultura da cana-de-açúcar envolvidos no projeto;
- Avaliar a eficiência técnica e econômica da cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação para a produção de etanol.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A fundamentação teórica é importante para que se possa relacionar a teoria com a prática. Neste capítulo apresenta-se a revisão de literatura sobre a cultura da cana-de-açúcar, através de um breve histórico diante da importância da cultura, da influência da irrigação, das pesquisas realizadas e as principais considerações existentes.

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR

As diferentes espécies de cana-de-açúcar, conhecidas em todo o mundo, são de várias origens, as canas “nobres” (*Saccharum officinarum* L.) ou tropicais são originárias da Oceania (particularmente da Nova Guiné), as “Indianas”, “Japonesas” e “Chinesas” seriam originárias do Continente Asiático. Expandiu-se da Índia para a Pércia e desta foi levada para a Arábia e Egito (PLANALSUCAR, 1986).

Historicamente, tudo indica que a descoberta do açúcar iniciou-se na Índia. Acredita-se que os hindus sabiam extrair o açúcar da cana e também fabricavam licores alcoólicos a partir da garapa ou caldo da cana há mais de 5 mil anos. Pela posição geográfica, Portugal era passagem obrigatória para o transporte de mercadorias. Isso estimulou a introdução da cana-de-açúcar na Ilha da Madeira, Cabo Verde e Canárias, no Oceano Atlântico. Provavelmente, foi de lá que se obtiveram as mudas que mais tarde se expandiram para o mundo todo. Após, foi transportada para a América Central, inicialmente na Ilha São Domingos, por Cristóvão Colombo (MIRANDA, 2008).

Conforme, o mesmo autor, no início do século XVI, no dia 22 de janeiro de 1532, a cana-de-açúcar chegou ao Brasil introduzida pelo Governador Martim Afonso de Souza, procedente da Ilha da Madeira. Tal introdução deu-se na Capitania de São Vicente, hoje Estado de São Paulo. Pela primeira vez, a produção estava sendo introduzida em grandes extensões de terra, condição muito distinta dos canteiros de 3 por 6 metros na Ilha da Madeira.

O cultivo da cana-de-açúcar encontrou condições favoráveis para o seu desenvolvimento, tais como: o clima quente e úmido; os solos férteis; a maior proximidade em relação a Portugal; a facilidade de transporte e a mão de obra escrava e indígena. Com a cana-de-açúcar era produzido o açúcar, produto que na época possuía grande valor comercial, principalmente na Europa. Por muito tempo, o açúcar foi especiaria rara e somente as pessoas ricas conseguiam comprá-lo. As pessoas com menor poder de compra usavam o mel de abelha como adoçante (PETRY et al., 2006).

No início do século XVII, as lavouras e as indústrias de cana-de-açúcar já haviam se tornado o investimento mais lucrativo do globo. O Brasil tornou-se o maior produtor de açúcar do mundo, posição que mantém até hoje. Em 1578, por dificuldades da relação entre Portugal e Holanda, a corte holandesa veio para o Brasil em 1630, os holandeses passaram 24 anos entre nós, adquirindo tecnologia e experiência nos engenhos e canaviais. Os Holandeses foram expulsos em 1654, mas levaram o conhecimento e as técnicas do cultivo da cana para as Antilhas e para a América Central. Essas terras, que ficavam mais próximas da Europa, substituíram o açúcar brasileiro no mercado e a agricultura brasileira recebeu um grande golpe, perdendo o monopólio do açúcar. Além disso, a descoberta do ouro no final do século XVII retira do açúcar o primeiro lugar na geração de riquezas do País. Mesmo assim, considera-se que no período do Brasil Colônia (1500-1822) a renda obtida pelo comércio do açúcar tenha atingido quase duas vezes a do ouro e quase cinco vezes a de todos os outros produtos agrícolas juntos (MIRANDA, 2008).

No ano de 1725, o cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido no Estado do Rio Grande do Sul, nos atuais municípios de Torres, Osório e Santo Antonio da Patrulha. Em 1914, com a Primeira Guerra Mundial, ocorreram à devastação da indústria de açúcar europeia. Essa situação acarretou grande aumento de preço do açúcar no mercado mundial e incentivou a construção de novas usinas no Brasil, principalmente em São Paulo, onde muitos produtores de café desejavam diversificar a produção agrícola. Após a abolição da escravatura, o governo brasileiro incentivou a vinda de imigrantes europeus para suprir à mão de obra necessária as fazendas de café no interior Paulista. A maioria dos imigrantes era de origem italiana e optou pela produção de aguardente a partir da cana-de-açúcar porque o comércio era fácil e com boa rentabilidade. Por volta de 1910, criou-se a tradicional Companhia União dos Refinadores, uma das primeiras refinarias de grande porte do Brasil. No Rio de Janeiro, em 1590, existiam seis engenhos de cana-de-açúcar. Em 1728, o número subiu para 32, em 1797 eram 120 engenhos e atualmente há cerca de 440 engenhos (MIRANDA, 2008).

A partir da década de 70, século XX, o desenvolvimento sustentável foi tratado em reuniões internacionais. A associação entre o meio ambiente e o desenvolvimento traz a experiência da produção e o uso do etanol no Brasil como maior exemplo. A ação local, com impacto global em termos ambientais, faz do álcool produto muito importante para a rápida resposta que o mundo deve dar às reduções de emissões dos gases do efeito estufa (NEGRÃO, 2005).

O País é reconhecido mundialmente como o país do etanol de cana-de-açúcar, pois nenhum país industrializado até hoje conseguiu substituir o uso de gasolina na escala em que

foi feito no Brasil, produzir praticamente metade da energia que consome a partir de fontes renováveis. No Estado de São Paulo, a vantagem é ainda mais marcante, 56% da energia consumida vêm de fontes renováveis, sendo 38% da cana-de-açúcar. O uso do etanol de cana permitiu que São Paulo reduzisse a participação do petróleo na matriz energética estadual de 60% para 33% nos últimos 30 anos (CRUZ, 2010).

Somente a partir dos anos 90, a produção de álcool hidratado consolidou-se no Estado gaúcho. Parte do Rio Grande do Sul, com potencial climático para o plantio, busca ampliar seu espaço investindo na melhora e ampliação dos cultivos, direcionando-os a produção de álcool (SEPLAG, 2007).

O cultivo da cana-de-açúcar ganhou força e foi motivada por questões relativas ao desempenho interno das tradicionais *commodities* e também pelo cenário macroeconômico de preços e demanda do açúcar e do álcool. O marco dos especialistas na área é o ano 2000, quando teve início a chamada fase de transição, com a expansão da área, a abertura do mercado mundial e a saída do governo do comando das exportações de álcool. Aliado à demanda mundial, o Brasil entrou na era dos carros bicombustíveis e fomentou ainda mais a produção e demanda do álcool. O apelo ao consumo do combustível renovável e menos poluente foi outro fator que também estimulou a expansão da cana-de-açúcar (OLIVEIRA, 2004).

O uso do álcool é fator decisivo na redefinição da matriz energética no âmbito da perspectiva econômica dos combustíveis renováveis e ambientalmente limpos. Já existe mobilização para consolidar o álcool como combustível renovável e limpo. Em âmbito internacional, a proposta brasileira é que todos os países tenham 10% de sua geração energética obtida por meio de fontes renováveis (NEGRÃO, 2005).

O açúcar alterou a dieta alimentar, tornando-a mais doce. O produto que era vendido em boticas como remédio, ou fazia parte de heranças reais, passou a ser utilizado em larga escala, e a sobremesa se transformou numa presença constante às refeições. Portanto, a cana-de-açúcar e o açúcar foram, no Brasil, os responsáveis diretos pelo processo da colonização sistemática e forneceram a base para a formação da sociedade brasileira (MIRANDA, 2008).

Conforme o mesmo autor, o potencial biotecnológico da cana-de-açúcar ainda poderá continuar crescendo. Depois que enriqueceu substancialmente a culinária mundial e serviu de matéria-prima para a produção de bebidas alcoólicas e combustíveis. No século XX, o etanol da cana-de-açúcar foi considerado como combustível limpo e renovável, para substituir os derivados do petróleo e contribuir na redução do dióxido de carbono atmosférico, um dos responsáveis pelo aquecimento global do planeta.

2.2 CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO RIO GRANDE DO SUL

No Estado, o cultivo da cana-de-açúcar é realizado principalmente em pequenas propriedades rurais, comparada com a produção nacional, a produção gaúcha é pouco significativa, ocasionada principalmente pela diferenciação climática, pelo tipo de relevo mais abrupto e o diferencial no processo histórico de colonização (SEPLAG, 2007).

Segundo Heidrich (2004), o Sul do Estado apresenta características de campanha onde predomina a atividade pastoril e a concentração da propriedade fundiária, coerentes com a dinâmica da estância que exige maiores extensões de terra e reduzida mão de obra. Já o norte, define-se pela economia de base agrícola que evolui para o predomínio de pequenos e médios estabelecimentos com vínculos estreitos com a indústria. O limite entre minifúndio e latifúndio varia de acordo com a região e, normalmente, as regiões da campanha e da fronteira oeste, onde os solos são mais frágeis, necessitam de áreas maiores para viabilizar a produção, conforme exposto no site da Secretaria do Planejamento e Gestão-RS (SEPLAG, 2007).

Atualmente, grande parte da produção está sendo destinada à produção de derivados de cana-de-açúcar como melado, açúcar mascavo, rapadura, cachaça e servindo também de apoio na alimentação animal (*in natura* ou na forma de silagem) nos períodos de escassez de alimentos, principalmente nos meses de inverno. A produção de cachaça é responsável pela maior demanda de matéria-prima nas agroindústrias do setor e o Estado do Rio Grande do Sul, é o segundo maior produtor do País, com 1.500 alambiques (SOARES, 2008).

Conforme o mesmo autor, a maioria dos municípios gaúchos não cultivam a cana-de-açúcar, sendo que os que cultivam, a área fica em torno de 500 hectares. Áreas entre 500 e 1.300 hectares estão distribuídos principalmente no Médio Alto Uruguai, Missões, Região Central, Vale do Rio Pardo e Vale do Rio dos Sinos. Regiões que englobam os municípios com maior produção em hectares plantados, dos quais Roque Gonzales, Porto Xavier e Irai são os que possuem mais de 800 hectares para o plantio.

A produtividade média no Estado é muito baixa, aproximadamente 55 toneladas por hectare, enquanto o Brasil produz, aproximadamente, 72 toneladas por hectare (CONAB, 2014). A causa principal é o tipo de clima (frio) e que ainda estudam-se variedades com maior tolerância à geada. Os melhores índices de produtividade estão nas regiões próximas aos empreendimentos usineiros, tais como a Cooperativa dos Produtores de Cana Porto Xavier Ltda (COOPERCANA), localizada em Porto Xavier, a Limana, na cidade de Jaguari e o projeto da Norobios em São Luiz Gonzaga. No entanto, os municípios de Salto do Jacuí e Camargo, são os únicos com rendimentos maiores que a média nacional, apesar de não se

localizarem próximos aos principais empreendimentos. “Mesmo sem a tradição canavieira, o Estado gaúcho parece despertar para a possibilidade de ampliação do cultivo nas suas pequenas e médias propriedades” (SOARES, 2008, p. 41).

As limitações técnicas, que impediam a expansão da cultura foram superadas com a multiplicação de variedades adaptadas ao clima e solo gaúchos e com alta produtividade. Nos experimentos de campo da EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural) e da FEPAGRO (Fundação de Pesquisas Agropecuária), algumas variedades chegaram a render 130 toneladas por hectare (SANTOS, 2009).

Em 2010, pesquisadores da Embrapa Clima Temperado, localizada em Pelotas (RS) lançaram mais variedades com capacidade produtiva para o mercado do etanol, resistentes ao frio e à seca, estresses que atingem grande parte do território gaúcho, adaptando formas de manejo e criando logística para fazer com que o Estado contasse com sistema de produção da planta, para incentivar cada vez mais esse cultivo e apostar também na cultura para a produção de etanol.

Nas safras da cana-de-açúcar de 2010 a 2012 foram realizadas pesquisas nos municípios gaúchos: Santa Rosa, Erechim, São Luiz Gonzaga, Jaguari, São Borja, Porto Xavier, Salto do Jacuí, Santa Maria, Pelotas, Viamão e Caxias do Sul. A Embrapa mostrou ainda comparativo de crescimento de produção entre as variedades já conhecidas (média de 34 t ha⁻¹) e as testadas demonstraram produção média de 96 t ha⁻¹ e média de 23 a 24° brix nos três anos de experimentação (NOGUEIRA, 2011; NOGUEIRA et al., 2012, 2015; REVISTA RURAL, 2013). Um fato positivo para as regiões mais frias é que ocorre maior acúmulo do açúcar e o outro elemento importante é a apresentação de períodos longos de horas luz, pois a luz favorece a conversão da biomassa das plantas e permiti que as variedades tenham boa tolerância às condições climáticas.

Desta forma, os gaúchos passarão a ser foco de atenção para inserir-se no mercado do etanol, visto que as condições climáticas foram enfatizadas como não sendo entraves para o cultivo, o que provocará grande mudança na vida de pequenos e médios produtores.

2.3 CARACTERÍSTICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é vegetal semiperene, pertence à família *Poaceae* (*Graminae*), é planta alógama, pode ser cultivada em áreas subtropicais, entre 15° e 30° de latitude. Ela é considerada planta C₄, por formar compostos orgânicos com quatro carbonos como produto primário do processo fotossintético, pela eficiência de conversão de energia

radiante em energia química e na utilização e resgate de CO₂ da atmosfera (SILVA; SILVA, 1997; SEGATO; MATTIUZ; MOZAMBANI, 2006).

O colmo da cana é cilindro, ereto, fibroso e constituído de nós e internódios; a altura varia de 1,0 a 5,0 m e o diâmetro pode variar desde menos de 1,0 até 5,0 cm. O fruto agrícola da cana-de-açúcar é o colmo em cujos vacúolos das células a sacarose se acumula no período de maturação (TAUPIER; RODRÍGUEZ, 1999).

Para Machado et al. (1982), o período de desenvolvimento da cana se processa em três fases: a fase inicial de crescimento lento; a fase de crescimento rápido e a fase final de crescimento lento. A análise de crescimento é considerada como o primeiro passo da análise de produção vegetal, pode-se verificar a quantidade de matéria seca contida na planta toda ou em suas partes (folhas, colmos, raízes, etc.) e ao tamanho do aparelho fotossintetizante (área foliar).

O período de crescimento vegetativo varia de 9 a 10 meses na Luziana-EUA, até 24 meses ou mais no Peru, África do Sul e Havaí (ALFONSI et al., 1987). No Centro-Sul do Brasil o ciclo da cultura é de 12 a 18 meses e no Nordeste Brasileiro é de 12 a 14 meses (SCARDUA; ROSENFELD, 1987).

As canas basicamente contêm dois tipos de açúcares, sacarose e os açúcares simples (glicose e frutose). Na cana verde, a glicose e a frutose encontram-se em quantidades iguais, à medida que vai amadurecendo, a frutose vai diminuindo, chegando até a desaparecer. Porém, ela reaparece nos méis, em virtude das trocas químicas (isomerismo), com a glicose em solução aquecida em presença de sais de metais alcalinos. Entretanto, em virtude da acidez e das enzimas do caldo, associadas à ação da temperatura, o teor de açúcares invertido (glicose e frutose) se eleva pela decomposição da sacarose, que aparece nos produtos finais (SILVA; CESAR; SILVA, 2003).

A maturação da cana-de-açúcar se inicia pelos internódios inferiores do colmo e pode ser influenciada por diversos fatores, tais como: clima, fotoperíodo, solo, tratos culturais e variedade e, é necessário que ocorra deficiência térmica ou hídrica para que a cana-de-açúcar entre em maturação, caso contrário ela permanece vegetando sem acumular sacarose. Os solos argilosos possuem maior capacidade de retenção hídrica podendo retardar a maturação e, nos solos arenosos, mais permeáveis, a maturação pode ser antecipada e acelerada (DELGADO; CÉSAR, 1977).

A indústria sucroalcooleira, principalmente no Estado de São Paulo, considera que para a cana ser industrializada deve ter, entre outras características, caldo que contenha no mínimo 18° brix, ou seja, 18% de sólidos solúveis, ou quando apresentar Pol_{%cana} (é a

porcentagem de sacarose existente na cana, caldo+fibra) variando de 14,40 (início da safra) a 15,30 (transcorrer da safra), sendo estes índices considerados o ponto de maturação ideal para a industrialização (FERNANDES, 2000; FRANCO, 2003).

Deuber (1988) afirmou que a cana-de-açúcar torna-se madura no momento em que apresentar teor mínimo de sacarose com $Pol_{\%cana}$ acima de 13 e que a maturação, na região Centro-Sul tem início nos meses de abril a maio.

Segundo Caputo et al. (2005), a fisiologia da maturação tem sido objeto de estudo há mais de 30 anos. A maturação natural, em início de safra, pode ser deficiente, mesmo em variedades precoces. Podem-se usar os maturadores, que podem atuar promovendo a diminuição do crescimento da planta, evitando o tombamento (facilita a operação de corte, reduz as perdas no campo e a quantidade de matéria estranha levada para a indústria), possibilitando incrementos no teor de sacarose, precocidade de maturação, aumento de produtividade e, também, atuar sobre as enzimas (invertases), que catalisam o acúmulo de sacarose nos colmos.

A aplicação dos maturadores no sistema de produção da cana-de-açúcar tem proporcionado maior flexibilidade no gerenciamento da colheita, altamente relevante para o planejamento da produtividade da cultura, além de propiciar à industrialização de matéria-prima de melhor qualidade. Portanto, a utilização de maturadores e inibidores de florescimento na cultura da cana-de-açúcar têm como objetivo aumentar a produtividade e antecipar o corte, permitindo, pois, o indispensável manejo da cultura em seu moderno sistema de produção (CAPUTO et al., 2005).

2.4 FATORES CLIMÁTICOS

A cultura da cana-de-açúcar é bastante influenciada pelas condições edafoclimáticas, sofre a influência de vários fatores, tais como: a precipitação pluviométrica; a temperatura; a luminosidade; o fotoperíodo; a umidade relativa e a insolação são condicionantes climáticos importantes na determinação da disponibilidade hídrica e térmica para a cultura. Essas características agem no comportamento fisiológico da cultura em relação ao metabolismo de crescimento e desenvolvimento dos colmos, florescimento, maturação e produtividade. Também, o relevo, a geologia e geomorfologia influenciam as características pedológicas estabelecendo implicações diretas sobre manejo da cultura, considerando a fertilidade do solo e todos os aspectos a ela relacionados (MELO et al., 1999).

O fotoperíodo é um dos principais fatores que atua no metabolismo de indução ao

florescimento da cultura (ALEXANDER, 1973). A cana-de-açúcar é planta que floresce somente quando submetida há dias com comprimentos inferiores a um fotoperíodo crítico, ela é planta de dia curto (planta que floresce no período do ano em que os dias são mais curtos que as noites) e o pendoamento é iniciado com a diminuição do comprimento do dia (SEGATO et al., 2006). As melhores condições para que o florescimento aconteça são encontradas nas regiões equatoriais do globo, com pequenas variações de temperatura. Nessas condições, o florescimento pode ser induzido em qualquer época do ano, sendo o fotoperíodo ideal de 12 a 12,50 horas para ocorrer à indução floral em cana-de-açúcar (ARCENEUX, 1967; CLEMENTS; AWADA, 1967).

Por outro lado, em latitudes maiores, o florescimento é sazonal, ocorrendo, principalmente, quando o fotoperíodo diminui, isto é, quando as plantas estão concluindo o período vegetativo (RODRIGUES, 1995). Na comparação de características climáticas essenciais para que ocorra o florescimento na cana-de-açúcar, verificaram que, na região Nordeste ocorre fotoperíodo favorável muito mais prolongado do que em outras regiões do Brasil (PIRES et al., 1984).

A cana-de-açúcar é planta tipicamente tropical, gostando do clima quente e úmido, com temperaturas oscilando entre 16 a 34°C. A temperatura basal está em torno de 20°C. A temperatura ideal situa-se entre 22 a 30°C, sendo que nestas condições a cultura apresenta seu máximo crescimento e acima de 38°C não há crescimento (DOOREMBOS; KASSAN, 1979; MAGALHÃES, 1987).

Na escala regional, o clima deverá ser o primeiro a ser considerado devido a sua condição de fator praticamente imutável (ALFONSI et al., 1987). No Brasil, a cana-de-açúcar tem sido cultivada em escala comercial desde a proximidade da linha do Equador, no Estado do Amazonas, até as regiões subtropicais, como no Estado do Rio Grande do Sul, resultando numa extrema diversidade de unidades edafoclimáticas, isso gera variabilidade na adaptação das variedades nas diversas regiões de cultivo de cana-de-açúcar (FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 2002).

Os períodos das temperaturas elevadas de verão, favoráveis ao crescimento da planta e, baixas de inverno, benéficas ao acúmulo de sacarose, devem ser alternados para possibilitar maior produção. Um bom desenvolvimento vegetativo, com alta produção de sacarose, é atingido nos períodos com alta radiação solar e umidade no solo. Diferentemente, para favorecer o acúmulo de sacarose nos colmos, a partir da redução da taxa de crescimento, será necessário um período com restrição de água ou de baixas temperaturas (WREGE, 2004).

Maluf et al. (2007) afirmaram que o cultivo de cana-de-açúcar é possível nas regiões

de clima subtropical de inverno ameno e com boa disponibilidade térmica desde que não ocorram geadas letais precoces, pois os efeitos da geada não se resumem apenas na morte dos tecidos, atingem diretamente a composição da própria cana à nível celular, onde destrói determinadas substâncias reconhecidamente bactericidas, mudando sua estrutura e composição, perdendo todo o seu efeito defensivo.

A distribuição espacial do risco de geadas auxilia na adequação das regiões e períodos de plantio canavieiro, descartando as áreas de maior risco. Nos casos de maior risco, programa-se o plantio para que a maturação fisiológica aconteça antes da primeira geada ou usam-se maturadores (WREGGE et al., 2005).

Dos resultados obtidos por vários autores, pode-se concluir que a temperatura, a luminosidade e o fotoperíodo são os principais fatores, pois eles exercem influência na produção da cana-de-açúcar, estimulando, reduzindo ou paralisando as atividades, em função da sua intensidade e da época de sua ocorrência e ela apresenta variabilidade genética suficiente para permitir sua adaptação a diversidade de ambientes térmicos (CRISPIM, 2000).

2.5 A IRRIGAÇÃO

A irrigação é a atividade agrícola que visa atender às exigências hídricas das culturas, a qual é dependente das condições climáticas, de planta e umidade do solo (SENTELHAS et al., 2001). A irrigação permite a suplementação de água nos períodos de estiagem possibilitando melhor utilização das áreas agrícolas (RESENDE; ALBUQUERQUE; COUTO, 2003).

Segundo a Agência Nacional de Águas-ANA, no Brasil, da água consumida, 72% é destinada à irrigação (BRASIL, 2012). Isso mostra a importância do uso eficiente do consumo de água. Para Brandão et al. (2006), a utilização desordenada e o mau gerenciamento dos recursos hídricos geram problemas sociais e ambientais de relevância, relativos tanto à disponibilidade quanto à qualidade da água.

Estratégias no manejo e uso eficiente da água de irrigação são a chave para a sustentabilidade e rentabilidade dos cultivos e também, são de fundamental importância para a obtenção de maiores rendimentos, qualidade, redução de custos e ao uso racional da água (PADRÓN et al., 2015a). Assim, um conhecimento adequado de como os vegetais respondem ao estresse abiótico é um dos pré-requisitos para escolher tanto a melhor variedade como as melhores práticas de manejo, visando, sobretudo, aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais (SMIT; SINGELS, 2006).

A escassez hídrica é um dos fatores mais importantes na limitação da produtividade das plantas em todo o mundo. O suprimento artificial de água via irrigação é importante instrumento para amenizar os impactos das oscilações climáticas sobre a produção agrícola (AMUDHA; BALASUBRAMANI, 2011).

No Estado do Rio Grande do Sul, a disponibilidade de água às plantas é o principal fator responsável pela frequente oscilação do rendimento das culturas (MATZENAUER et al., 1995). Períodos em que ocorre escassez hídrica (“veranicos”) causam a diminuição na produção e a magnitude dessa diminuição depende da duração e do número de “veranicos”. Tal ocorrência de irregularidade das chuvas normalmente acontece no período de primavera-verão, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

A produção das culturas não é dependente de qual método de irrigação será utilizado, e sim da quantidade (lâmina) e eficiência de aplicação de água de cada um. Existem métodos que se adaptam melhor às condições locais de solo, de topografia e de manejo da cultura a ser irrigada (MENDONÇA et al., 2007). Segundo Drumond e Aguiar (2005), estes são fatores que devem ser levados em conta na aquisição de sistemas de irrigação, pois existem diversas alternativas para projetos no mercado.

2.5.1 Precipitação efetiva

Nem toda a precipitação que ocorre é efetivamente infiltrada no solo e fica disponível às plantas, sendo assim, o manejo da irrigação, no que se refere ao fator quantidade de água a ser fornecida, depende da precipitação que ocorre na lavoura. Para a determinação desta precipitação efetiva pode ser utilizado o método proposto por Millar (1978), o qual leva em consideração a classe textural, a declividade da área (%) e a cobertura vegetal.

A textura do solo é referente à proporção relativa ao tamanho de partículas (areia, silte e argila), pode ser determinada através de ensaios granulométricos, e o solo é classificado na classe textural que auxilia nas interpretações para fins agrícolas (LEMOS; SANTOS, 1996; NASCIMENTO et al., 2003).

Já o modelo desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA), visa também o cálculo do deflúvio total gerado em bacia de contribuição, podendo ser utilizado para determinação das precipitações efetivas, é bastante útil para dimensionamento de terraços e escoamento em bacias de contenção, os quais necessitam do volume total escoado. Tal modelo leva em consideração a textura do solo, a utilização do solo, e ainda a condição de umidade do solo no momento da

precipitação. Para solos com alta capacidade de armazenamento, vegetado e com técnicas conservacionistas, pode-se utilizar os resultados obtidos levando em consideração 80% da precipitação total (SAMPAIO et al., 2000).

2.5.2 Métodos de irrigação da cana-de-açúcar

No estudo realizado com os diversos sistemas de irrigação (Pivot Linear, Pivot Central, Sulco Politubo, Sulco Convencional e Gotejamento), para a cultura da cana-de-açúcar, safras 2005/2006, em Juazeiro-BA (AMORIM; AMORIM; BRITTO, 2007), concluíram que o sistema de irrigação por Pivot Linear foi o mais elevado, atingindo custo de R\$ 1.906,16 ha⁻¹, em virtude de sua operacionalização ser movida por motor-bomba alimentado por óleo diesel. O Pivot Central, apesar de obter a melhor produção por hectare (110,18 t ha⁻¹) e eficiência na aplicação de água, não foi a opção mais viável devido ao seu consumo de energia elétrica, que foi em torno de R\$ 192.233,00 ha⁻¹, representando percentual de 78,96% do total da energia utilizada em todos os sistemas (R\$ 243.445,00 ha⁻¹).

O sistema que apresentou o menor custo por hectare foi o sistema por Sulco Convencional, obtendo um total de R\$ 918,35 ha⁻¹, porém acarretou baixa eficiência tanto na produção (84,17 t ha⁻¹) como na aplicação de água, que foi em torno de 60% e a sua taxa de renovação foi menor que os outros métodos, esse sistema, também ocasionou diferença negativa em percentual de 30,90% com relação ao Pivot Central e 20,61% ao Gotejamento. O melhor sistema foi o Gotejamento, mesmo ele não apresentando o menor custo, mas na análise geral (entre a produção e o menor custo) demonstrou superioridade entre os demais pesquisados, onde o seu custo por hectare foi de R\$ 998,88 e teve alta produção (101,52 t ha⁻¹). Apesar de esse método requerer alto investimento inicial, apresentou melhores números e a eficiência na distribuição de água, onde ficou em torno de 90% a 95% de aproveitamento (AMORIM; AMORIM; BRITTO, 2007).

Da área total de canaviais, nas safras 2011/2012, 42,95% receberam algum tipo de irrigação (vinhaça ou água pura) e 29,38% da irrigação total foi realizada com água pura. Os métodos e sistemas de irrigação mais utilizados na cana-de-açúcar foram: Aspersão (Aspersão por Pivot (Fixo, Linear e Rebocável - Ambos corresponderam por 0,6% da área total irrigada), Aspersão convencional com Carretel Enrolador (responsável por 92,10% da área total irrigada no Brasil), Aspersão Convencional com Alas Móveis (com 0,59% da área total irrigada) e Aspersão Convencional com Canhão Hidráulico, com 6,27% da área total irrigada); Superfície (Sulco de Infiltração, com 0,39% da área total irrigada) e Localizada

(Gotejamento Superficial e Gotejamento Subterrâneo - juntos responderam por 0,05% da área total irrigada) (ALCALDE; POLONI; PINHEIRO; HERNANDEZ, 2012).

Dentre os métodos de irrigação possíveis de utilização na cultura da cana-de-açúcar, tem-se destacado, a irrigação localizada, principalmente, o Gotejamento Subsuperficial. Esse sistema apresenta inúmeras vantagens comparativas em relação aos demais, dentre elas, a redução da evaporação da água, a redução de danos mecânicos ao sistema, a menor interferência com os tratos culturais e a melhor eficiência na aplicação dos fertilizantes dissolvidos na própria água de irrigação (fertirrigação), garantindo melhor desenvolvimento (FARIAS et al., 2008a, 2008b), maior produção (GAVA et al., 2011) e com produto de melhor qualidade (DALRI; CRUZ, 2008).

Portanto, existem basicamente três principais sistemas de irrigação para a cana-de-açúcar: Superfície, Aspersão e Localizada.

2.5.3 Necessidade hídrica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é a cultura com maior área irrigada no Brasil, dos 5,4 milhões de hectares irrigados no País, 1,7 milhões são com a cultura da cana. A irrigação na cana-de-açúcar, além de proporcionar incremento na produtividade, permite ampliar o tempo de exploração da planta e o número de colheitas, pois a disponibilidade de água para a planta é o principal fator climático causador da variabilidade e de sua produtividade anual (TERAMOTO, 2003).

O tempo de exposição à seca afeta negativamente o crescimento da parte aérea, sobretudo a produção de folhas, acelerando a senescência foliar da planta como um todo e na restrição ao surgimento de novas folhas, podendo, ainda, levar a redução na interceptação da radiação, na eficiência do uso de água e na fotossíntese, bem como, ao aumento da radiação transmitida para a superfície do solo (INMAN-BAMBER, 2004; MACHADO et al., 2009).

Também, Machado et al. (2009) constataram que para fins de irrigação, o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização de troca de gases com a atmosfera (PIRES; ARRUDA; SAKAI, 2008).

Para Bernardo (2006), o ciclo da cana-de-açúcar de doze meses pode ser dividido em quatro (04) estágios de desenvolvimento: I - germinação e emergência (1 mês); II - perfilhamento e estabelecimento da cultura (2 a 3 meses); III - desenvolvimento da cultura (6 a 7 meses) e IV - maturação (2 meses). Os dois primeiros estágios são os mais críticos ao

déficit hídrico. O terceiro estágio responde à lâmina aplicada, mas o déficit hídrico não causa tantos prejuízos à produtividade quanto aos dois primeiros. O quarto estágio responde positivamente ao déficit hídrico. Entretanto, o consumo diário de água é maior no terceiro estágio do que nos dois primeiros. Isso ocorre em função do maior índice de área foliar nesse estágio. O teor de açúcar costuma ser afetado adversamente pelo excesso de umidade no estágio de maturação.

O estresse hídrico durante as fases críticas (perfilhamento e início da alongação de colmos) pode resultar em reduções expressivas no rendimento de colmos e de açúcar, entretanto, quando bem aplicado (especificamente durante a fase de maturação), o estresse hídrico aumenta a concentração de sacarose nos colmos (ROBERTSON et al., 1999; INMAN-BAMBER, 2004).

Segundo, Doorembo e Kassan (1979, 1994), a demanda hídrica da cultura de cana-de-açúcar está entre 1.500 a 2.500 mm e o rendimento produzido em condições de sequeiro nos trópicos úmidos, varia entre 70 a 100 t ha⁻¹ e, nos trópicos e subtropicais secos, com irrigação, entre 100 a 150 t ha⁻¹.

Conforme Fernandes (1984), a cana-de-açúcar consome em média 5 mm de água por dia, no período de estiagem, consome cerca de 3 mm dia⁻¹ e, durante as chuvas, 9 mm dia⁻¹, e mesmo que chova, o mínimo necessário para a cultura é de 1.200 mm ano⁻¹, a distribuição das chuvas na região canavieira é irregular, podendo haver épocas de deficiência hídrica e, até mesmo, a ocorrência de “veranicos”, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro.

Utilizando sistema de irrigação por aspersão tipo canhão na Fazenda Boa Vista, pertencente à Usina Santa Cruz, em Campos dos Goytacazes-RJ, encontraram para as variedades RB72-454, RB76-418 e SP70-1011, máximas produtividades em colmos de 155,80, 126,90 e 141,90 t ha⁻¹, com lâminas totais de água de 1.568, 1.424 e 1.589 mm, respectivamente, em 13 meses de cultivo. Também, as máximas produtividades em açúcar estimadas para as mesmas variedades foram: 20,70; 17,10 e 19,30 t ha⁻¹, para as lâminas de 1.678, 1.874 e 1.602 mm, respectivamente, nos mesmos 13 meses de cultivo (SOUZA; BERNARDO; CARVALHO, 1999). Também, Gomes (1999), neste mesmo local, obteve com a cana planta, variedade RB72-454 e lâmina média de 1.195 mm, produtividade média de colmos e açúcar de 130 e 17 t ha⁻¹, respectivamente.

Farias (2001) encontrou diferença significativa de 28,26 t ha⁻¹ entre a cana irrigada e a cana de sequeiro cultivada na zona da Mata Paraibana. No Estado de São Paulo, para a variedade SP79-1011 encontraram produtividades médias de 149, 154 e 170 t ha⁻¹, respectivamente, para precipitações totais de 1.478 mm com 14 meses de cultivo, 1.695 mm

com 17 meses de cultivo e 1.829 mm com 19 meses de cultivo (MAULE; MAZZA; MARTHAR JÚNIOR, 2001); já Azevedo (2002) em experimento de campo realizado na Destilaria Miriri, nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, encontrou para a mesma variedade, com 12 meses de cultivo e doses de adubação de cobertura de 85 kg ha⁻¹ (44 kg de N e 41 kg de K₂O), 167 kg ha⁻¹ (86 kg de N e 81 kg de K₂O), 305 kg ha⁻¹ (157 kg de N e 148 kg de K₂O) e 458 kg ha⁻¹ (236 kg de N e 222 kg de K₂O) produtividade média de colmos de 82,78; 86,20; 92,78 e 95,93 t ha⁻¹, o que proporcionou rendimentos médios de açúcar de 13,65; 13,76; 15,61 e 15,33 t ha⁻¹, para precipitação efetiva mais irrigação de 609, 761, 905 e 1.043 mm, respectivamente.

Dalri (2004) obteve em três ciclos de cultivo (cana planta, 1^a e 2^a soca), cultivar RB72-454, na região de Botucatu-SP, produtividade média de 202 t ha⁻¹ para cana irrigada por gotejamento e produtividade média de 145 t ha⁻¹ para cana não irrigada e concluiu que o crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar são diretamente proporcionais à água evapotranspirada e a disponibilidade de água para essa cultura pode ser considerada como o principal causador da variabilidade da produtividade.

Almeida et al. (2008) trabalhando com a variedade (RB92-579), no ciclo de cana soca sob as condições irrigadas da região de Rio Largo-AL, encontraram evapotranspiração acumulada de 1.584 mm.

Em Jaú-SP, Gava et al. (2011) estudando três variedades (RB86-7515, RB85-5536 e SP80-3280) em sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo e de sequeiro, obtiveram no primeiro ciclo de cultivo (2006/2007), média de 132,20 t ha⁻¹ para o manejo irrigado e de 106,50 t ha⁻¹ para o manejo de sequeiro; no segundo ciclo (cana soca), a média foi de 126,20 e 90,80 t ha⁻¹, para os manejos irrigados e de sequeiro, respectivamente. Nesse experimento, a irrigação elevou a produtividade média em 20% no ciclo da cana planta e de 28% no ciclo da cana soca. Também afirmaram que o aumento da produtividade, no manejo de cana irrigada por gotejamento (1.797 mm) em comparação com o manejo de cana de sequeiro (1.437 mm), foi causado pela diminuição do estresse hídrico e para as condições de campo deste experimento, a cana-de-açúcar necessitou, em média, de 14,20 mm de água para produzir uma tonelada de colmos.

Segundo esses mesmos autores, a produtividade de açúcar também foi acrescida em função da irrigação. A média dos três genótipos no manejo irrigado foi de 17,50 e 23,60 t ha⁻¹ e sequeiro de 14,80 e 17,80 t ha⁻¹ para cana planta e soca, respectivamente. Para os somatórios de produtividade de colmos e produtividade de açúcar observaram incremento na ordem de 24 e 23% para os manejos irrigados e de sequeiro, respectivamente.

Silva et al. (2012), com o objetivo de determinar o requerimento hídrico e o

coeficiente de cultura (K_c) da cana-de-açúcar irrigada durante o ciclo de cana soca, variedade RB92-579, na região semiárida do Submédio do Vale do São Francisco no município de Juazeiro-BA encontraram os valores de ET_c correspondentes à Fase I em torno de $3,0 \text{ mm dia}^{-1}$; na Fase II de $3,8 \text{ mm dia}^{-1}$, especialmente em decorrência do incremento da radiação interceptada pela cana-de-açúcar; na Fase III, os valores da evapotranspiração atingiram, em média, $5,1 \text{ mm dia}^{-1}$, destacando-se como o mais elevado do ciclo produtivo da cana-de-açúcar. Na Fase I, quando a cultura apresentou área foliar reduzida, a demanda hídrica foi de 50 mm , na Fase II este requerimento foi igual a 299 mm ; na Fase III, um requerimento de 1.211 mm , enquanto na Fase IV em que ocorreu a suspensão da irrigação, a evapotranspiração acumulada foi de 147 mm , totalizando 1.710 mm durante todo o ciclo de produção.

2.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A estimativa da evapotranspiração pode ser obtida diretamente por meio das variações do armazenamento de água no solo durante os períodos secos e, indiretamente, utilizando-se modelos de contabilização diária da sua utilização em outros locais e condições climáticas (HARDING et al., 1992).

Segundo Doorembos e Pruitt (1975), a razão entre a evapotranspiração potencial, ótima ou máxima (ET_m) e a evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) denomina-se coeficiente de cultura (K_c).

Para os diferentes estádios do desenvolvimento da cana-de-açúcar, os coeficientes de cultura (K_c) foram definidos por Doorembos e Pruitt (1977) e Doorembos e Kassam (1979), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores do coeficiente de cultura (K_c) para os diferentes estágios do desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar

Idade da cultura (meses)		Estádio de desenvolvimento	Coeficiente (K_c)		
Cana planta	Cana soca		Mínimo	Médio	Máximo
0 – 2	0 – 1	Do plantio até 0,25 de cobertura	0,40	0,50	0,60
2 – 3	1 – 2	De 0,25 a 0,50 de cobertura	0,75	0,80	0,85
3 – 4	2 – 3	De 0,50 a 0,75 de cobertura	0,90	0,95	1,00
4 – 7	3 – 4	De 0,75 a cobertura completa	1,00	1,10	1,20
7 – 14	4 – 9	Utilização máxima	1,05	1,20	1,30
14 – 16	9 – 10	Início da maturação	0,80	0,95	1,05
16 – 18	10 – 12	Maturação	0,60	0,70	0,75

Fonte: Doorembos e Pruitt (1977) e Doorembos e Kassam (1979).

Também, Barbieri (1981), trabalhando com cana planta nas condições de Araras-SP, determinou os valores de Kc empregando três métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura de referência (ET_o). Os resultados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de Kc para a cana planta nos diferentes estágios do desenvolvimento da cultura

Idade da cana planta (meses)	Coeficiente da cultura (Kc)		
	Penman	Radiação	Tanque Classe “A”
0 – 2	0,10 – 0,20	0,10 – 0,20	0,12 – 0,25
2 – 3	0,20 – 0,40	0,20 – 0,40	0,25 – 0,53
3 – 4	0,40 – 0,60	0,40 – 0,55	0,53 – 0,75
4 – 7	0,60 – 1,50	0,55 – 0,96	0,75 – 1,47
7 – 14	1,50 – 0,96	0,96 – 0,77	1,47 – 0,87

Fonte: Barbieri (1981).

Os valores dos coeficientes de cultura (Kc) para a cana-de-açúcar sugeridos pela FAO 56 (ALLEN et al., 1998) foram citados por Soares et al. (2003), onde os valores de Kc médio para a cana-de-açúcar são 0,40; 0,75; 1,10; 1,25; 0,90; 0,70 referentes a 0 - 2; 2 - 3; 3 - 6; 6 - 12; 12 - 13 e 13 - 14 meses para a cana planta e 0 - 1; 1 - 2; 2 - 4; 4 - 10; 10 - 11 e 11 - 12 meses para a cana soca, respectivamente.

2.7 FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

Os fatores de produção são os recursos que podem ser mobilizados para a produção de bens e serviços (terra, capital, trabalho e tecnologia). A tecnologia será viável economicamente se o aumento na produção for maior que a elevação nos custos totais associados à utilização (ARBAGE, 2012).

Segundo Frizzone e Andrade Júnior (2005), existe relação funcional entre a produtividade das culturas agrícola e os fatores tecnológicos que interferem na sua produção. O fator tecnológico pode ser a quantidade (lâmina) de água aplicada durante o ciclo da cultura (variável independente). O autor cita a importância da análise da função de produção Água-Cultura, principalmente, quando há escassez de água e esta for suprida por irrigação.

Para os mesmos autores, a produtividade da cultura quando submetida a diferentes lâminas de irrigação, em experimento de campo, apresenta curva de resposta cujo modelo

normalmente é do tipo quadrático, podendo também apresentar comportamento linear. Seus parâmetros são determinados através da análise de regressão.

Para determinar a sustentabilidade técnica e econômica, necessita-se de análise dos níveis de produção em relação à quantidade do insumo a ser aplicado para alcançar aquele nível de produção almejado (GOMES et al., 2013).

A avaliação econômica da irrigação frequentemente envolve a quantificação da produtividade em resposta ao total de água aplicada. A caracterização da resposta da cultura à aplicação de água tem sido amplamente conhecida como função de produção Água-Cultura (SOUSA; BERNARDO; CARVALHO, 1999).

Leme (1991) aborda os métodos de função de produção que buscam relacionar a produtividade com o uso da água pela cultura, descrevendo sobre modelos fisiológicos, semi-empíricos e de otimização econômica. Ele destaca que os modelos semiempíricos são usualmente caracterizados pela relação entre a produtividade da cultura e o conteúdo de água no solo, a transpiração ou evapotranspiração e a quantidade de água aplicada pela irrigação.

Doorembos e Kassam (1979) propuseram um modelo semiempírico para a quantificação da relação entre a produtividade e a água, sob a forma da expressão:

$$1 - \frac{Y_r}{Y_m} = K_y \left(1 - \frac{ETr}{ETm} \right) \quad (1)$$

Em que:

Y_r - produtividade real ($t \text{ ha}^{-1}$);

Y_m - produtividade máxima ($t \text{ ha}^{-1}$);

ETr - evapotranspiração real (mm);

ETm - evapotranspiração máxima ou potencial (mm);

K_y - fator de sensibilidade da cultura à deficiência de água ou taxa de redução da produtividade.

O valor do K_y estabelecido por Doorembos e Kassan (1979) para o período total de crescimento da cana-de-açúcar é 1,20 e a ETm é a transferência de água na forma de vapor para a atmosfera, em condições de nenhuma restrição de água em qualquer estágio de desenvolvimento, visando ao máximo de produção e que depende dos dados climáticos da localidade em estudo. Nogueira et al. (2016) no estudo sobre a produção e demanda hídrica da cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação suplementar, utilizando o modelo de simulação

WinISAREG determinaram o balanço hídrico para quatro localidades, três municípios do Rio Grande do Sul (Bagé, Santa Maria e Uruguaiana) e Piracicaba do município de São Paulo (Tabela 3). Entre as quatro localidades estudadas, Piracicaba foi a que apresentou a maior ETm (1.534,40 mm), seguidos de Uruguaiana (1.416,35 mm), Bagé (1.359,53 mm) e Santa Maria (1.310,75 mm). Esses resultados se aproximaram de Doorembos e Kassam (1979), que afirmaram que o consumo anual de água pela cultura fica entre 1.500 e 2.500 mm, variando conforme a localização, clima, variedades e solo.

Tabela 3 – Evapotranspiração máxima (ETm) e lâmina de irrigação suplementar requerida simuladas para a cana-de-açúcar para quatro localidades

Localidade	ETm (mm)	Lâmina de irrigação (mm)			Desvio Padrão
		Mínima	Máxima	Média	
Bagé	1.359,53	422,30	976,20	760,90 ^{ab}	193,20
Santa Maria	1.310,75	404,40	1.021,70	645,00 ^b	166,50
Uruguaiana	1.416,35	419,60	1.254,20	824,20 ^a	242,25
Piracicaba	1.534,40	505,70	1.000,30	789,90 ^a	193,20
Médias	1.405,30	438,00	1063,10	755,50	

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1%.

Fonte: Nogueira et al. (2016).

2.8 CUSTO DE PRODUÇÃO

O custo de produção, conforme Richetti (2014) auxiliará o produtor a planejar futuras ações buscando a otimização do capital investido, maximizando o lucro, devendo para tanto maximizar a produtividade e minimizar os custos de produção.

De acordo com Menegatti e Barros (2007), o cálculo do custo de produção deve considerar os diferentes níveis tecnológicos abrangendo todas as condições de cultivo, sendo estes custos classificados como fixos ou variáveis.

Os custos fixos são aqueles em que as quantidades de insumos não são alteradas em função do aumento ou decréscimo da quantidade de produto (CONAB, 2010). Para Frizzone (2007), os custos fixos do sistema de irrigação são do tipo amortizáveis e não amortizáveis.

Os custos fixos amortizáveis compreendem a depreciação do sistema de irrigação e os juros sobre o volume de capital investido. O procedimento mais utilizado para calcular os

custos fixos amortizáveis (depreciação + juros do capital investido) consiste em determinar anuidade constante em cada ano de vida do projeto.

Os custos fixos não amortizáveis são os de manutenção, ou seja, os necessários para manter o sistema de irrigação em bom estado de funcionamento. Compreendem os gastos com conservação, reparação e renovação de elementos deteriorados. Esses gastos se estimam como percentagem média do investimento inicial.

Os custos variáveis são aqueles em que as quantidades de insumos acompanham a alteração do volume de produção (CONAB, 2010). Esses custos se referem à mão de obra, custo da energia utilizada para operar o sistema de irrigação, bem como em alguns casos o custo da água utilizada para a irrigação e outros (FRIZZONE, 2007).

2.9 ANÁLISE ECONÔMICA EM CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA

A produção das culturas em resposta a irrigação depende de vários fatores: quantidade e frequência de irrigação; método de aplicação; estágio de desenvolvimento da cultura; do tipo e a quantidade de fertilizantes aplicados; do manejo da espécie e variedade utilizada; da idade de corte; o método de colheita adotado; a variabilidade do solo; as climáticas; a ocorrência de pragas e doenças. Assim, faz-se necessário realizar análises que permitam averiguar a obtenção dos melhores resultados para a viabilidade econômica de projetos de produção de cana-de-açúcar. É interessante delimitar a região de produção racional que mostre as diversas combinações dos fatores e dos respectivos rendimentos (FRIZZONE, 1993).

Para obtenção da relação benefício/custo se faz necessária à determinação da possível produtividade a ser alcançada, e da referente lâmina a ser aplicada. O custo de produção em sistemas produtivos com maior nível tecnológico é bastante elevado quando comparado a sistemas mais arcaicos. A avaliação da relação benefício/custo dos sistemas produtivos é de importância para os produtores rurais. Devem ser determinados os benefícios, expressos pelo aumento da receita em virtude da adoção da tecnologia (irrigação), bem como os custos para a adoção da mesma, representados pelo acréscimo nas despesas necessárias para a adoção da tecnologia (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005).

De acordo com Fernandes (2012) o aumento na produtividade poderá não refletir em aumento na lucratividade do produtor rural, tendo em vista que, nem sempre haverá retorno financeiro satisfatório ao investimento executado. Decorre daí a necessidade da elaboração de estudos de viabilidade que disponibilizem informações relevantes para a correta tomada de

decisão dos produtores, diminuindo as condições de incertezas em relação ao retorno esperado de seu investimento.

As análises comumente adotadas para avaliar a viabilidade econômica pelas empresas são os critérios baseados no valor presente líquido (VPL), na taxa interna de retorno (TIR), na relação benefício custo (B/C), no ponto de equilíbrio (PE), no *payback* (PB) e *payback* descontado (PBD), isto é, no fluxo de caixa e no valor do dinheiro no tempo, tendo a exceção do PBD, que tem grande aceitação na prática (WOILER; MATHIAS, 1996).

A TIR torna o valor dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando a taxa de remuneração do capital investido (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005). O VPL referencia os benefícios e os custos ao presente, ou seja, traz os fluxos de caixa esperados durante a vida útil do projeto para o tempo zero a taxa de juros que representa o mínimo retorno para o capital. O período de recuperação do capital ou *Payback Period* é o tempo que o projeto leva para retornar o capital investido e a relação B/C atua como indicador que verifica se os benefícios são maiores que os custos (GITMAN, 1997).

2.10 O ÁLCOOL ETÍLICO OU ETANOL

Considera-se o álcool um dos mais antigos produtos obtidos através da destilação de produtos orgânicos fermentados de fontes biológicas não fósseis (cana-de-açúcar, sorgo sacarino, beterraba, frutas, mandioca, batata, batata-doce, arroz, trigo, triticale, aveia, milho, celulose, etc.) feitos pelo homem.

O álcool etílico ou etanol é função química, formado por carbono, oxigênio e hidrogênio, com fórmula molecular C_2H_5OH , derivado dos hidrocarbonetos pela substituição de um átomo de hidrogênio pelo grupo químico hidróxido. Apresenta as seguintes características: líquido incolor; límpido; cheiro cáustico e ardente; sabor picante; miscível em todas as proporções com a água e em diferentes líquidos orgânicos; peso específico = 790 kg m^{-3} a 15°C ; massa específica = $0,78930 \text{ g L}^{-1}$ a 20°C ; temperatura de ebulição = $78,35^\circ\text{C}$ (760 mm Hg); temperatura de solidificação = 135°C ; inflamável (queima com chama azul, pouco luminosa, porém muito quente); anti-séptico e bactericida (utilizado em higienização); solvente de diversos compostos orgânicos e inorgânicos; agente preservante e precipitador; dissolvente de nitrocelulose, resinol, sabão, óleos essenciais, perfumes, tintas, vernizes, drogas e ceras; na elaboração de bebidas alcoólicas; combustível e em muito outros produtos (MORRISON, 1990).

Conforme Rasovsky (1979), o álcool poderá ser classificado de acordo com o seu

grau, ou seja, o teor em álcool 100% na mistura álcool-água, podendo ser álcool bruto, álcool retificado e álcool desidratado.

Álcool bruto ou de segunda: é o álcool obtido a partir da extração do álcool contido no mostro fermentado junto com as suas impurezas voláteis. O álcool bruto, fraco ou flegma possui graduação alcoólica de 50°GL - 94°GL.

Álcool retificado ou hidratado: é o álcool obtido da concentração do chamado álcool fraco ou flegma junto com todas as impurezas e concentrado até 96°GL.

Álcool desidratado, absoluto ou anidro: é o álcool em que é retirada toda a água contida no álcool retificado pelo fracionamento, apropriado para mistura com carburantes, tendo graduação mínima de 99,95°GL.

2.10.1 Etapas do processo produtivo do etanol

No Brasil, o etanol ou álcool etílico é produzido principalmente da cana-de-açúcar. Essa produção pode ser viabilizada em alambiques ou micro destilarias, que segue as seguintes etapas:

Recebimento da cana-de-açúcar: A cana é transportada até o alambique ou micro destilaria utilizando-se carreta de boi, micro trator, reboque, caminhão ou outra forma.

Moagem: É a operação de extração do caldo existente nos colmos da cana-de-açúcar. Essa matéria-prima possui, aproximadamente, 85% a 92% de caldo e 8% a 15% de açúcares, sendo 16% a 23% de sacarose e em pouco menos de 2% de glicose e frutose. Nas fábricas artesanais utilizam-se geralmente moendas de apenas três rolos para passagem da cana (PAYNE, 1989). Após a moagem o caldo passa pelo decantador, que possui cinco estágios para que a garapa fique isenta do maior número de impurezas, que poderiam comprometer a fermentação (MICHEL JÚNIOR, 2010).

Preparo do mosto: Após a garapa passar pelo decantador, o caldo é recolhido em uma dorna, chamada dorna de diluição, onde o caldo é preparado. Segundo o INSTITUTO CULTURAL PADRE JOSIMO (2008), devem-se medir os sólidos totais (°brix) do caldo com a ajuda de um decímetro sacarímetro ou refratômetro, para ajustar o caldo para que a fermentação ocorra sem nenhuma contaminação e não prejudique a levedura que será adicionada (MICHEL JÚNIOR, 2010).

Fermentação: É a transformação química realizada por microorganismos. Para estes atuarem sobre o açúcar presente no processo, é necessário que encontrem condições ideais, as quais são criadas acrescentando-se água e um pouco de ácido. O produto assim obtido é

chamado mosto de fermentação (SILVA; SILVA, 1997).

Inicia-se nas dornas a fermentação alcoólica principal. A fermentação é realizada pela adição de fermento específico, normalmente utiliza-se a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, o controle de temperatura neste estágio torna-se importante, a faixa de temperatura recomendada para a fermentação alcoólica está entre 25 a 36°C. Temperaturas inferiores ao limite retardam a fermentação e temperaturas superiores ocasionam a evaporação do álcool e favorecem o aparecimento de contaminações. Nessa fase, os microorganismos, ao se alimentarem, produzem enzimas, que aceleram a transformação do açúcar, ou seja, que agem como catalisadores da reação que transforma o açúcar em álcool (MENEZES, 1980).

Costuma-se separar essa fermentação em três fases: preliminar, tumultuosa e final, sem haver, contudo, distinção absoluta entre elas.

O odor característico da fermentação semelhante ao de frutas maduras, ativo e penetrante, indicativo da fermentação normal, ao contrário do odor butírico ou sulfídrico, que é indício de várias anomalias. As variações na espuma, que normalmente é uniforme para determinado tipo de mosto, linhagem de levedura e temperatura, podem ser também manifestação de irregularidades na fermentação (MENEZES, 1980).

Antigamente esse processo durava em torno de 24 horas. Atualmente com novas linhagens de leveduras e o desenvolvimento da fermentação semi-contínua permitiu a redução do tempo de fermentação para até 5 horas (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Vinho ou mosto fermentado: Quando o mosto atingir (zero) 0° brix é porque houve total transformação em etanol, do açúcar presente no mosto, deixa-se em repouso em torno de 4 horas para que todo o fermento seja decantado na dorna, formando então o pé de cuba ou inóculo (são as células depositadas no fundo da dorna, ao final da fermentação, e que, após a retirada do vinho sobrenadante, recebem adição de caldo de cana para iniciar nova fermentação). A partir desse momento este vinho está apto a ser transferido para outra dorna denominada dorna volante, estando o vinho pronto para destilação. A ação de enzimas de leveduras sobre o caldo produz etanol, gás carbônico e produtos secundários tais como: aldeídos, ácidos, alcoóis, ésteres e outros.

Destilação: Com o vinho estando na dorna volante, com teor em torno de 9,5% em álcool o mesmo pode ser transferido para o destilador onde por intermédio de aquecimento a fogo direto, ou indiretamente por vapor, ocorrerá a separação do álcool presente na mistura. Neste momento pode-se optar entre obter a aguardente ou o álcool etílico. Na destilação do vinho ocorre a produção de um subproduto importante, a vinhaça ou vinhoto.

Vinhaça ou Vinhoto: É o resíduo que sobra da destilação, cada litro de álcool produz

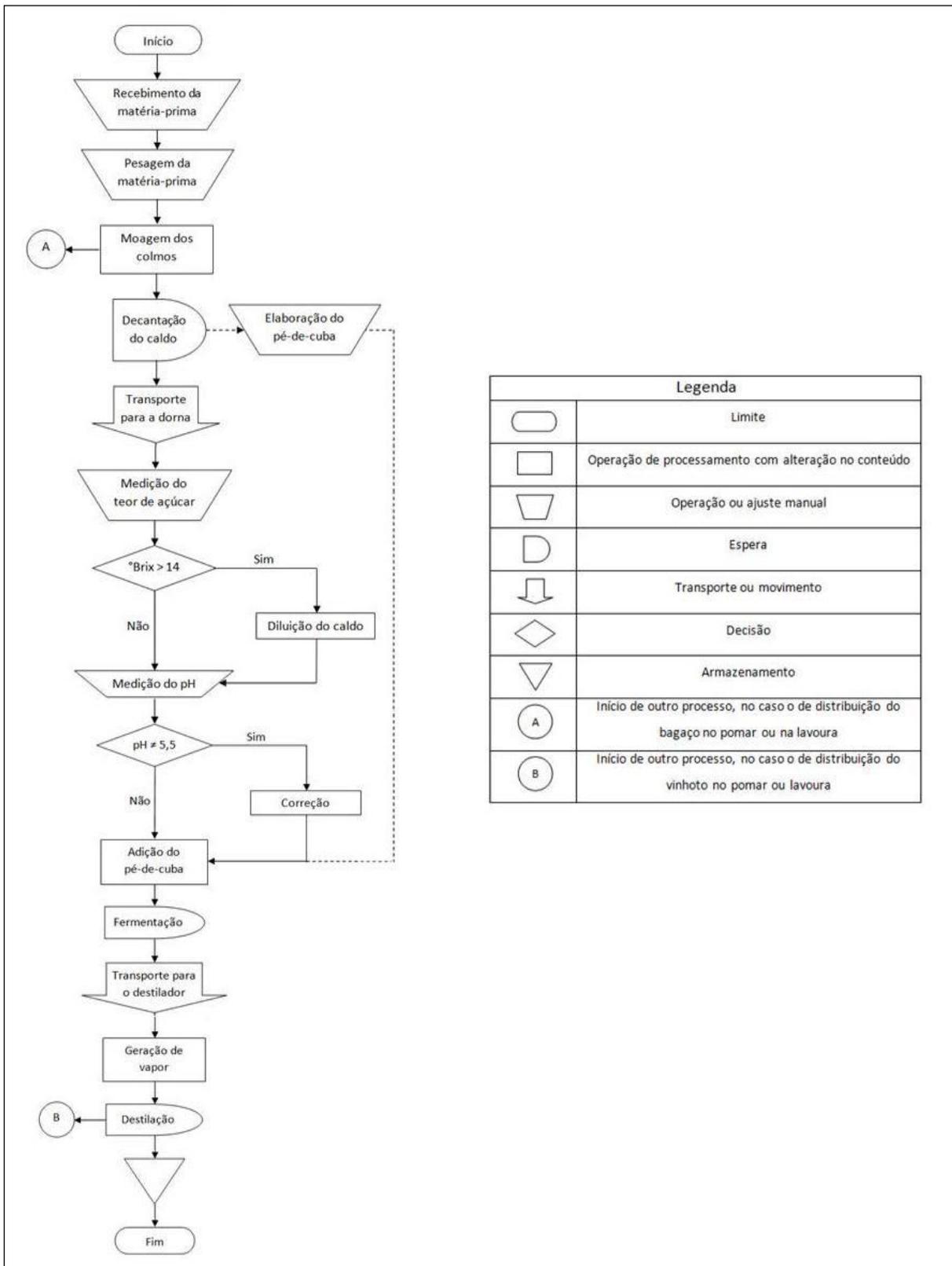
de 12 a 13 litros desse resíduo, frequentemente este produto é devolvido diretamente à lavoura para adubação, na fertirrigação (processo conjunto de irrigação e adubação), como complemento para alimentação de porcos e bovinos (SILVA; SILVA, 1997) e o vinhoto também poderá ser utilizado nos biodigestores, que consistem basicamente numa câmara de fermentação, onde é processada a biodigestão da matéria orgânica, numa campânula que armazena o gás produzido ou, simplesmente, numa saída para esse gás, numa entrada do substrato a ser fermentado e numa saída para o efluente produzido pelo processo, cuja principal função é a maturação das propriedades fermentativas da biomassa bacteriana.

Eles serão utilizados para o saneamento, o atendimento de demanda energética e a utilização do material biodegradado como fertilizante. O biodigestor deve ser concebido com o objetivo de proporcionar essas vantagens, embora seja reconhecidamente difícil atender as três de formas integrada e otimizada (LETTINGA, 1991).

Pode-se dividir o processo de obtenção de álcool em quatro fases: Preparação da matéria-prima; obtenção do substrato para a fermentação; fermentação e destilação (ANCIÃES, et al., 1981).

Na Figura 1 é possível visualizar o processo produtivo do etanol de cana-de-açúcar realizado na Usina Piloto de Etanol do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria-RS.

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo do etanol de cana-de-açúcar da Usina Piloto de Etanol do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria-RS



Fonte: Dagnese et al. (2012) e Ende et al. (2013).

2.10.2 Produtividade e custo do etanol

O setor sucroalcooleiro representou cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2008 (NEVES; TRONBIN; CONSÔLI, 2009) e, considerando os dados da Secretaria Geral da Presidência da República (2009), em todo o setor ha 1,26 milhões de trabalhadores distribuídos na proporção de 39,50% no cultivo da cana-de-açúcar, 45,40% na fabricação do açúcar (bruto e refinado) e 15,10% na fabricação de álcool.

Na Usina Piloto de Etanol do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria-RS, considerando a eficiência de extração pela moenda de 74,75%, a média de produção de 860,25 kg de colmos de cana-de-açúcar moídos gera aproximadamente, 741,88 kg de caldo (86,24%) e 118,37 kg em fibras (13,76%) e, com a destilação de 494,31 litros de mosto fermentado obtem-se 53,35 litros (10,80%) de etanol e 440,96 litros de vinhaça (89,20%) (DAGNESE et al., 2012; ENDE et al., 2013).

Segundo Crispim e Vieira (2009), para cada tonelada de colmo de cana-de-açúcar produzida é perfeitamente possível obter 600 litros de caldo ou mosto, que por sua vez podem resultar em 60 litros de etanol.

A produtividade média de biomassa por hectare de cana plantada varia de 60 a 120 t ha⁻¹ e rendimento de 5.400 a 10.800 L ha⁻¹ de etanol. Considerando a tecnologia brasileira, quando se utiliza apenas para a produção de etanol, uma tonelada de cana é capaz de produzir cerca de 90 litros deste biocombustível. Se utilizar apenas para a produção de açúcar, uma tonelada de cana produz 100 kg deste produto, além de gerar aproximadamente 20 litros de bioetanol a partir do melaço (BNDES; CGEE, 2008; MANOCHIO, 2014).

Oliveira et al. (2012) no estudo sobre a avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação, em Janaúba-MG, observaram valores mínimo de 90,21 L t⁻¹ de etanol na variedade SP80-1816, com 47 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura (14 kg ha⁻¹ de N e 33 kg ha⁻¹ de K₂O) e, máximo de 115,09 L t⁻¹ de etanol na variedade RB85-5453, com a aplicação de 237 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura (71 kg ha⁻¹ de N e 166 kg ha⁻¹ de K₂O), ambos com 918 mm de água aplicada por meio da irrigação e lâmina total de 1.791,80mm.

Neto et al. (2006), trabalhando com a resposta da cana-de-açúcar (SP79-1011), primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura no município de Capim-PB, constataram rendimento bruto mínimo de etanol de 5,67 m³ ha⁻¹, na adubação mínima de 85 kg ha⁻¹ de cobertura (44 kg ha⁻¹ de N e 41 kg ha⁻¹ de K₂O), com lâmina total de irrigação de 1.343 mm e o rendimento bruto máximo foi de 10,00 m³ ha⁻¹, na adubação máxima de 305 kg

ha⁻¹ (157 kg ha⁻¹ de N e 148 kg ha⁻¹ de K₂O), com lâmina total de 1.164 mm. O rendimento bruto médio de etanol foi de 6,25 m³ ha⁻¹ e 8,91 m³ ha⁻¹, na adubação mínima e máxima, respectivamente.

Também, no mesmo município, com a mesma variedade e na mesma parcela desse experimento, os autores Azevedo (2002), Moura (2003), Silva (2003) e Carvalho et al. (2009), em cana planta, soca, ressoça e ressoça, respectivamente, estudaram a produtividade de etanol de cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação de cobertura.

Azevedo (2002), com adubação de cobertura de 85 kg ha⁻¹ (44 kg de N e 41 kg de K₂O), 167 kg ha⁻¹ (86 kg de N e 81 kg de K₂O), 305 kg ha⁻¹ (157 kg de N e 148 kg de K₂O) e 458 kg ha⁻¹ (236 kg de N e 222 kg de K₂O) obteve rendimentos médios de álcool de 9,57; 9,66; 10,98 e 11,53 m³ ha⁻¹, para precipitação efetiva mais irrigação de 609, 761, 905 e 1.043 mm, respectivamente. O rendimento bruto mínimo foi de 4,80 m³ ha⁻¹ com total de água aplicada de 609 mm e adubação de cobertura de 85 kg ha⁻¹, com 12 meses de cultivo.

Moura (2003) obteve o rendimento bruto médio de etanol de 9,30 m³ ha⁻¹ com lâmina total de 955,10 mm. Silva (2003) obteve o rendimento bruto médio de etanol de 10,46 m³ ha⁻¹ com lâmina total de 1.065 mm. Verificaram que o aumento no rendimento bruto de álcool, assim como na produtividade dos colmos e no rendimento bruto de açúcar foram influenciados com o aumento do nível de irrigação e com a maior quantidade de adubação.

Carvalho et al. (2009), com adubação de cobertura de 72 kg ha⁻¹ (28 kg de N e 44 kg de K₂O ha⁻¹) e 276 kg ha⁻¹ (112 kg de N e 164 kg de K₂O ha⁻¹), obtiveram rendimento médio do etanol de 8,74 m³ ha⁻¹, o menor de 6,89 m³ ha⁻¹ no tratamento testemunha e, o maior de 10,88 m³ ha⁻¹ no tratamento com 276 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura e lâmina total de 1.168 mm. Também, Silva (2002) em cana planta (variedade SP71-6949) irrigada sob diferentes doses de adubação obteve rendimento bruto médio de etanol de 10,18 m³ ha⁻¹, com lâmina total de 955,10 mm.

Quanto aos custos de produção, Manochio (2014) fazendo comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos da produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba em Poços de Caldas-MG encontrou aproximadamente U\$ 0,25 por litro do etanol de cana, de U\$ 0,28 por litro do etanol de milho e U\$ 0,76 por litro do etanol de beterraba.

Weschenfelder (2011), no trabalho sobre a aplicação do custeio baseado em atividades na determinação do custo de produção de etanol a partir do sorgo sacarino e da cana-de-açúcar em pequena unidade de produção, localizada no município de São Vicente-RS, obteve o custo de R\$ 0,83 por litro do etanol de cana e R\$ 0,92 por litro do etanol de sorgo sacarino.

No ano de 2015, a COOPERCANA de Porto Xavier-RS comercializou com o valor médio de R\$ 1,74 por litro de etanol e para a safra desse ano (2016), tem expectativa de comercializar em torno de R\$ 2,40 por litro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão explicitados os materiais, os métodos e as técnicas utilizadas no trabalho, bem como, informações sobre a localização, características da área experimental, implantação, condução do experimento e manejo da irrigação. Além disso, os referenciais utilizados para a realização das atividades experimentais, coletas, análises e interpretação dos dados.

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EXPERIMENTAL

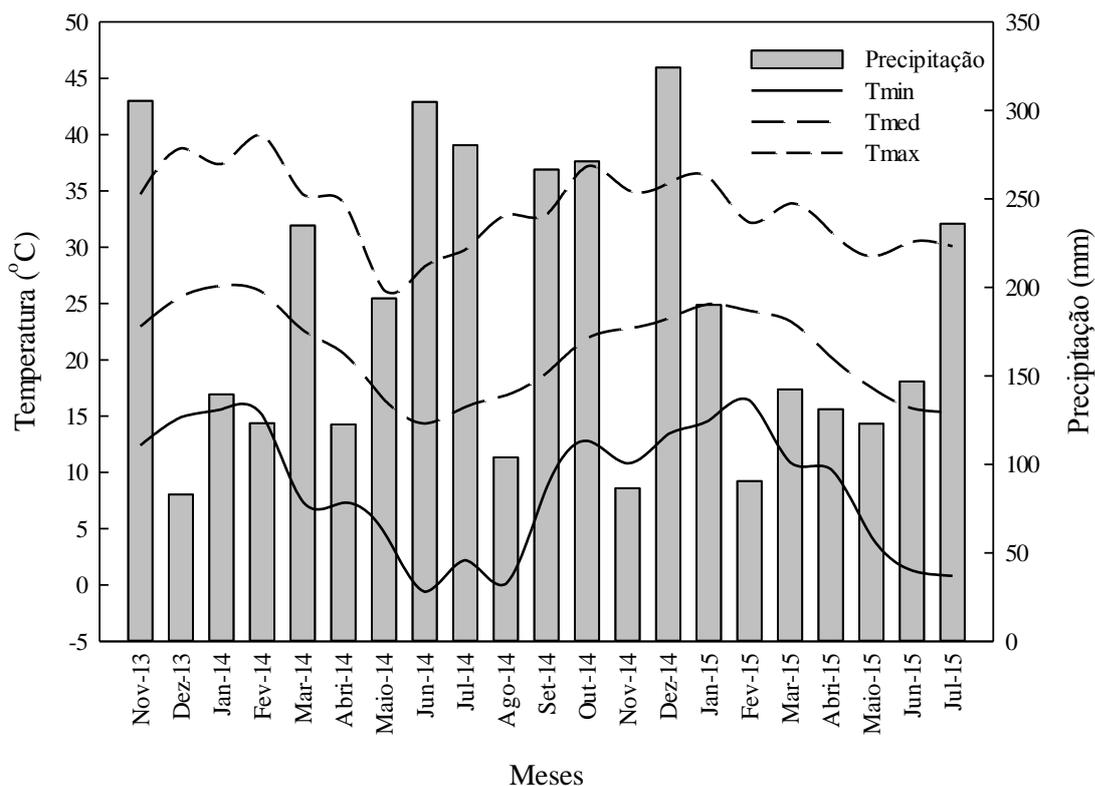
O estudo experimental foi conduzido nos anos de 2013-2014 e 2014-2015 no município de Santa Maria-RS, localizado na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, em área experimental pertencente ao Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), situada geograficamente nas coordenadas 29°41'25" S e 53°48'42" O e altitude de 110 m. O solo da área experimental caracteriza-se como Argissolos Amarelos Distrófico Típico, de textura franca, que conforme Streck et al. (2008) é um tipo de solo predominante da região.

O clima na região é temperado apresentando característica subtropical com inverno marcante caracterizado pela classificação de Köppen-Geiger, no tipo Cfa (Clima subtropical úmido). Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a média anual da evaporação, a temperatura e a precipitação é de 800-1.200 mm, 18-20°C e 1.450-1.650 mm, respectivamente. Os dados climáticos mensais médios durante o ensaio se mostram na Tabela 4. Nas temporadas de estudo, a média mensal da umidade relativa média oscilou de 69,50% a 86,80%, a insolação de 134 h a 286,20 h e a evaporação de 41,50 mm a 175,20 mm, mostrando os maiores valores na primeira temporada. A precipitação, a temperatura mínima, média e máxima se apresentam na Figura 2. Na safra de 2013-2014 e 2014-2015 a temperatura mínima, média e máxima foram de -0,6°C; 21,20°C; 40°C e 0,1°C; 20,50°C; 37,20°C, respectivamente, mostrando maior variação na primeira safra. A precipitação máxima em 2013-2014 ocorreu nos meses de novembro e junho e, a mínima em dezembro, já em 2014-2015, a máxima foi em dezembro e a mínima em novembro.

Tabela 4 – Valores da umidade relativa média (%), insolação (h) e evaporação (mm) durante o período do ensaio

Meses	Umidade relativa média (%)			Insolação (h)			Evaporação (mm)		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Jan.		73,10	78,30		219,20	235,80		158,50	148,70
Fev.		73,80	79,70		211,20	207,20		138,20	122,10
Mar.		76,80	77,60		212,60	229,40		113,70	118,60
Abr.		78,20	77,00		219,80	207,20		86,50	81,90
Mai.		83,40	82,50		142,80	146,90		49,10	52,50
Jun.		86,80	80,90		199,80	145,80		41,50	34,80
Jul.		80,60	86,20		176,40	89,60		53,20	41,70
Ago.		75,80			188,50			76,50	
Set.		76,40			134,00			101,20	
Out.		73,40			161,00			146,80	
Nov.	71,60	71,00		229,20	173,10		144,30	131,60	
Dez.	69,50	76,10		286,20	211,00		175,20	142,10	

Figura 2 – Valores da precipitação (mm), temperatura mínima (°C), média (°C) e máxima (°C) no período do ensaio



3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICO HÍDRICA DO SOLO

Para a análise química e físico hídrica do solo foram abertas três trincheiras até a profundidade de 120 cm na área experimental.

Para a obtenção das características químicas do solo foram retiradas amostras de solo em profundidades de 10 e 30 cm e as análises foram efetuadas com amostras deformadas de solo determinado em analisador elementar-combustão seca vinculado à Rolas-RS/SC no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Rurais-UFSM (Tabela 5).

Para as características físicas foram coletadas amostras nas profundidades de 20 a 100 cm, em intervalos de 20 cm e em número de três repetições por horizonte. Em cada um dos pontos de amostragem foram coletadas amostras deformadas para a determinação da densidade de partícula, e as amostras indeformadas para determinação da densidade do solo, microporosidade, porosidade total e curva característica de água no solo. Estas amostras foram analisadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Rurais-UFSM (Tabela 6).

Também, a capacidade de campo foi determinada pelo método direto e, a densidade aparente do solo foi realizada por meio do método do cilindro (EMBRAPA, 2011) e a infiltração foi avaliada diretamente na área, utilizando a técnica de Infiltrômetro de Anéis (CAUDURO; DORFMAN, 1988; GRASSI, 1998), com quatro repetições simultâneas (Tabela 6), os dados foram publicados em Padrón et al. (2015b).

Tabela 5 – Características química da área experimental

Prof. (m)	pH água	Ca	Mg	Al	(H+Al)	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP	MO (%)	S	P- Mehlich
							Al	Base				
				cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³			
0-0,1	5,8	9,7	3,5	0,2	3,9	13,8	1,6	76,1	6,2	3,3	11,0	14,2
0,1-0,3	5,2	8,5	2,4	0,8	6,6	12,0	7,9	63,4	5,8	2,5	7,1	11,5

Tabela 6 – Característica físico hídrica da área experimental

Profundidade (m)	Densidade aparente ($t\ m^{-3}$)	Capacidade de campo ($m^{-3}\ m^{-3}$)	Ponto de murcha ($m^{-3}\ m^{-3}$)	Taxa de infiltração ($mm\ h^{-1}$)	Textura
0-0,2	1,42	0,31	0,14		Franco
0,2-0,4	1,38	0,34	0,17		Franco argiloso
0,4-0,6	1,36	0,37	0,23	15	Argila
0,6-0,8	1,30	0,36	0,24		Argila
0,8-1,0	1,30	0,35	0,23		Franco siltoso

3.3 MANEJO DA CULTURA

O terreno da área experimental foi preparado com a aplicação de adubo de acordo com as exigências nutricionais da cultura e da análise química do solo para expectativa de produção de 80 a 100 $t\ ha^{-1}$ (161,25 $kg\ ha^{-1}$ de Ureia, 1.218 $kg\ ha^{-1}$ de superfosfato triplo 42% P e 358,33 $kg\ ha^{-1}$ de Cloreto de potássio) e a aplicação de calcário dolomítico baseado no índice pH-SMP (é método de análise e correção de acidez do solo) de 3,5 $t\ ha^{-1}$, distribuído a lanço e incorporado com grade.

Para que a cultura fosse mantida livre de plantas daninhas no período experimental foi aplicado herbicida (Callisto com óleo mineral a 5%) e por meio de capinas manuais. Também foi realizado o controle fitossanitário conforme as recomendações da cultura (PINTO, 2006; NOGUEIRA, 2011, 2012).

3.4 A VARIEDADE E O DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

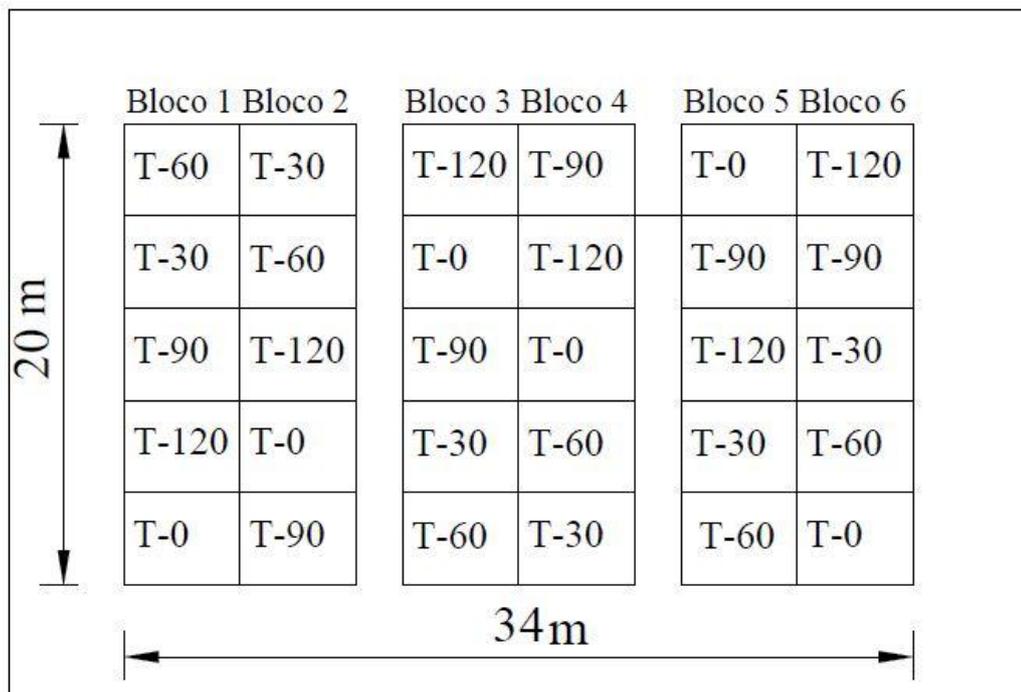
O ensaio iniciou em novembro de 2013 e terminou em julho de 2015. A área experimental foi constituída de um canavial de cana planta com a variedade RB93-5581 e da cana soca de primeiro ano com a mesma variedade no ano seguinte.

A variedade RB93-5581 apresenta as seguintes características: de rápido crescimento; ciclo precoce; sanidade; rusticidade; colmo longo e resistente à geada. Estas características foram descobertas pelo estudo da Embrapa Clima Temperado, acompanhadas pela ASCAR\EMATER-RS, nas safras de cada ano, no período de 2010/2014, com o objetivo de avaliar a adoção dos genótipos pelos agricultores familiares e o desempenho agrônômico de cana-de-açúcar em diferentes ambientes no Estado do Rio Grande do Sul. Avaliaram o

desempenho de 51 novas variedades, onde foram avaliadas as seguintes variáveis: ciclo de maturação; Toneladas de Colmo por Hectare (TCH) e Toneladas de Brix por Hectare (TBH). A variedade RB93-5581 foi avaliada em 11 propriedades, onde apresentou as características já citadas e médias de: 103,50 TCH; 19,90° brix e 20,60 de TBH e foi considerada dentre as melhores para o Estado (RUGERI, 2015).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso (Figura 3), com seis repetições (dois blocos com toletes de cada parte da planta: da base, meio e ponta, com o objetivo de evitar o erro experimental) e quatro tratamentos de irrigação, com 30%, 60%, 90% e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc) e o tratamento testemunha (sem irrigação). Cada parcela foi constituída por 4 linhas de 5 m, com espaçamento entre as linhas de 1m e com 20 m² de área, totalizando 600 m². O plantio foi efetuado em 14 de novembro de 2013, a distribuição das mudas no sulco foi contínua, colocando-se toletes de três a quatro gemas, transpassados entre si, aproximadamente, 18 gemas por metro. A cobertura foi efetuada colocando-se entre cinco a 10 cm de terra sobre as mudas. As colheitas foram no dia 20 de julho de 2014 e 8 de junho de 2015.

Figura 3 – Croqui da distribuição dos blocos com as parcelas



3.5 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O manejo da irrigação foi realizado com base na evapotranspiração da cultura (ETc), conforme a metodologia proposta pela FAO. A evapotranspiração da cultura de referência (ETo) foi calculada pela equação de Penman-Monteith/FAO (ALLEN et al., 1998). Os dados climáticos obtidos com frequência diária na estação automática da Universidade Federal de Santa Maria, vinculada ao Instituto Nacional de Meteorologia, localizada a 2.000 m da área experimental, foram: a precipitação pluvial (mm); a temperatura máxima e mínima (°C); a umidade relativa do ar máxima e mínima (%); a insolação (h) e a velocidade do vento ($m s^{-1}$). A equação de Penman-Monteith/FAO é definida como:

$$ET_o = \frac{0,4088 \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \left(\frac{900}{T + 273} \right) \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times U_2)} \quad (2)$$

Onde:

ETo - evapotranspiração da cultura de referência ($mm \text{ dia}^{-1}$);

Rn - radiação líquida na superfície da planta ($MJ m^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

G - densidade de fluxo de calor no solo ($MJ m^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

T - temperatura média do ar a 2,0 m de altura (°C);

u₂ - velocidade do vento a 2,0 m de altura ($m s^{-1}$);

e_s - pressão de saturação do vapor (kPa);

e_a - pressão atual de vapor (kPa);

Δ - declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$);

γ - constante psicrométrica ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$);

0,4088 - fator de conversão para o termo (Rn-G), de $MJ m^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para $mm \text{ dia}^{-1}$.

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi realizada pelo cálculo da evapotranspiração da cultura de referência (ETo) multiplicado pelo coeficiente da cultura (Kc): K_{cini}=0,40; K_{cmed}=1,25 e K_{cfim}=0,75, conforme as etapas fenológicas da cultura sugeridos pela FAO 56 (ALLEN et al., 1998), segundo equação:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (3)$$

Em que:

ETc - evapotranspiração da cultura ($mm \text{ dia}^{-1}$);

- K_c - coeficiente de cultura;
 K_{cini} - coeficiente inicial de cultura;
 K_{cmed} - coeficiente médio de cultura;
 K_{cfim} - coeficiente final de cultura;
 ET_o - evapotranspiração da cultura de referência (mm dia^{-1}).

Considerando que o aporte de água para a cultura é proveniente da precipitação e da irrigação, fez-se necessário descontar do volume total a ser aplicado na irrigação o valor referente à precipitação pluvial efetiva (considerando 80% da precipitação) ocorrida entre duas irrigações consecutivas, então para calcular essa necessidade hídrica foi utilizada a seguinte equação:

$$N_r = ET_c - P_e \quad (4)$$

Em que:

- N_r - necessidade de irrigação (mm);
 ET_c - evapotranspiração da cultura (mm);
 P_e - precipitação pluvial efetiva (mm).

O tempo de irrigação para aplicar a lâmina de água em cada tratamento, no turno de rega de 7 dias foi calculado pela equação:

$$T_r = \frac{A_t \times N_r \times P_h}{q \times E_f} \quad (5)$$

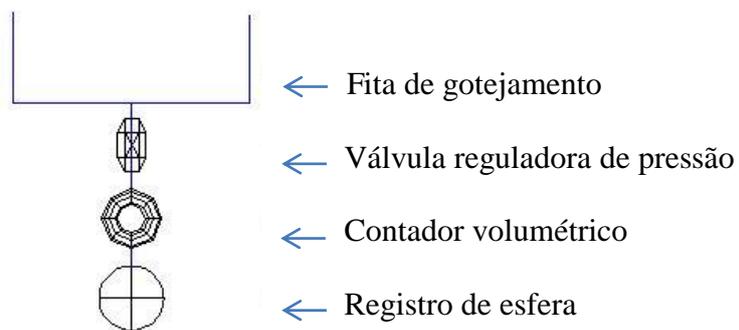
Onde:

- T_r - tempo de irrigação (h);
 A_t - área total da unidade experimental (m^2);
 P_h - porcentagem do umedecimento (%);
 q - vazão da unidade experimental (L h^{-1});
 E_f - eficiência de aplicação.

O sistema de irrigação utilizado foi localizado por gotejamento, com uma linha lateral em cada fileira de planta, com espaçamento entre gotejadores de 0,2 m e vazão do gotejador

de $0,8 \text{ L h}^{-1}$. Em cada unidade experimental foi instalado um registro de esfera, para regular os tempos de irrigação, um contador volumétrico para monitorar o volume da água e uma válvula reguladora de pressão para obter a uniformidade de pressão em cada unidade experimental (Figura 4). Realizou-se a avaliação da uniformidade de distribuição do sistema de irrigação pelo método de Christiansen e a determinação do bulbo molhado nos tempos de 5, 15, 30 e 60 minutos, dados publicados em Padrón et al. (2015b).

Figura 4 – Esquema de distribuição da água na unidade experimental



A umidade do solo ao longo do ensaio foi monitorada antes e após a irrigação com intervalo a cada dois dias (quatro leituras por parcela experimental), com reflectômetro no domínio do tempo portátil (Modelo: TDR-100), com duas hastes de sensores metálicos com 0,2 m, os quais eram inseridos verticalmente entre as plantas na linha. Foi realizada a calibração no local, a fim de obter maior confiabilidade nos valores de umidade do solo (método gravimétrico estufa), também publicados em Padrón et al. (2015b).

Como estratégia de irrigação, de 0 a 29 dias após o plantio (DAP) foi aplicado lâmina de irrigação de 100% da ETC para facilitar a brotação dos toletes e formação dos perfilhos, garantindo melhor uniformidade do canal. Aos 30 DAP, iniciaram-se os tratamentos.

O uso eficiente da água (UEA) e o uso eficiente da água de irrigação (UEAI) foram determinados pelas Equações 7 e 8 (MOLDEN et al., 2010; HEYDARI, 2014):

$$\text{UEA} = \frac{\text{Rendimento total (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Evapotranspiração (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}} \quad (6)$$

$$\text{UEAI} = \frac{\text{Rendimento total (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Água de irrigação aplicada (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}} \quad (7)$$

3.6 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS BIOMÉTRICOS E TECNOLÓGICOS

Para a avaliação do efeito das diferentes lâminas de irrigação suplementar no desenvolvimento e crescimento das plantas foram efetuadas as medidas das seguintes variáveis biométricas e tecnológicas:

a) Perfilhamento: O perfilhamento foi avaliado com frequência mensal, fazendo-se a contagem do número médio por metro linear. As amostras foram determinadas nas linhas centrais do plantio, avaliando-se dois metros por linha, em 3 linhas por parcela experimental, totalizando 6 m por parcela.

b) Altura das plantas: O valor da altura foi obtido medindo-se através de uma trena graduada cada colmo do nível do solo até a inserção da folha +1, avaliando-se mensalmente seis colmos marcados por parcela por todo o período.

c) Área foliar: A área foliar das plantas foi medida mensalmente em seis colmos marcados, calculada pela metodologia descrita por Hermann e Câmara (1999), que consiste por meio da contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições do comprimento e a largura da folha +3 (considerada adulta) na porção mediana. Essa numeração foi proposta por Kuijper em Van Dillewijn (1952), também utilizada na diagnose foliar, que consiste em designar como +1 a primeira folha de cima para baixo, que se apresenta inserida com a aurícula (colarinho), visível na Figura 5. Para determinar a área foliar, a equação é dada por:

$$AF = C \times L \times 0,75 \times (N+2) \quad (8)$$

Em que:

AF - área foliar (m²);

C - comprimento da folha +3 (m);

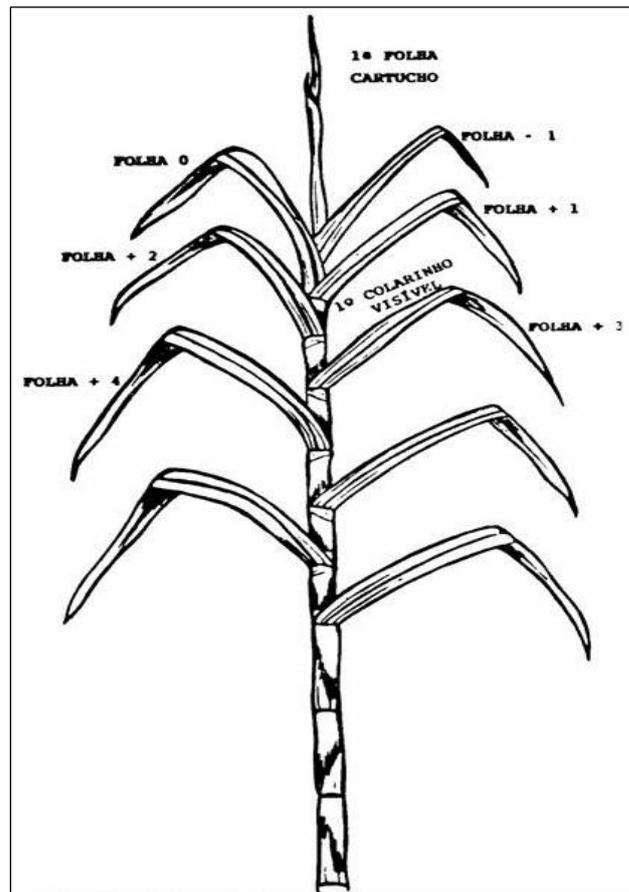
L - largura da folha +3 (m);

0,75 - fator de correção para área foliar da cultura;

N - número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde;

2 - fator de correção.

Figura 5 – Sistema de numeração de folhas no sistema estabelecido por Kuijper em Van Dillewijn (1952)



d) Diâmetro da base e o diâmetro da ponta do colmo: Mensurado com o auxílio de um paquímetro digital com graduação em mm. As leituras foram realizadas no centro do segundo colmo da base a partir do solo e o da ponta (último colmo que a bainha desprende-se facilmente do colmo, isto é, na altura da folha +1), mensalmente em seis colmos marcados.

e) Massa da amostra integral: Foi realizada na colheita, no final do ciclo da cultura nas seis plantas marcadas de cada tratamento, determinando-se a massa total das plantas (menos as raízes) em balança analítica.

f) Massa e volume do caldo: Os colmos das seis plantas marcadas de cada parcela foram moídos em uma moenda para determinar o volume do caldo em uma proveta e a massa do caldo em balança analítica.

g) Massa da matéria seca: A massa do bagaço das seis plantas marcadas de cada parcela foi medida e colocada em sacos de papel pardo com a massa indicada e identificada e, as massas das demais partes da planta (folhas e a ponta com o palmito), também foram medidas, trituradas e colocadas em sacos de papel pardo com as massas indicadas e identificadas. Os

sacos com essas massas foram colocados em estufa de 60°C durante 72 h para secar, até a massa constante, após a secagem foi medida a massa seca em balança analítica.

A determinação dos parâmetros tecnológicos avaliados foi obtida coletando-se os seis colmos industriais marcados por parcela no final de cada ciclo, utilizando-se a metodologia do Manual de Instruções do Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA, 2006), os quais foram:

h) Fibra da cana-de-açúcar: A fibra é a matéria seca, sendo insolúvel na água, corresponde à parte sólida da planta, formada por celulose, hemicelulose, ligninas, pectinas, pentosanas e outros componentes contidos na cana-de-açúcar, também é chamado de fibra “tanimoto”. A fibra foi determinada pela equação:

$$\text{Fibra} = (0,08 \times \text{MBU}) + 0,876 \quad (9)$$

Em que:

MBU - massa do bagaço úmido (Kg).

i) Brix do caldo ($\text{Brix}_{\text{caldo}}$) e da cana-de-açúcar ($\text{Brix}_{\% \text{cana}}$): Foi determinado o grau brix do caldo das seis canas por parcela com o auxílio do refratômetro de campo e para a determinação do grau brix da cana foi utilizado as equações:

$$\text{Brix}_{\% \text{cana}} = \text{Brix}_{\text{caldo}} \times (1 - 0,01) \times C \quad (10)$$

$$C = (1,0313 - 0,00575 \times \text{Fibra}) \quad (11)$$

Em que:

C - coeficiente transformação do caldo (representa a transformação do caldo extraído em todo o caldo absoluto, ou seja, é a extração de todo caldo proveniente da moenda ou prensa hidráulica).

j) Pol do caldo da cana-de-açúcar ($\text{Pol}_{\% \text{caldo}}$): A Pol do caldo é a porcentagem em massa de sacarose contida em solução açucarada de peso normal, determinada pela capacidade que os açúcares têm de desviar a luz polarizada em uma única direção, sendo determinada por métodos sacarimétricos. Através da equação:

$$\text{Pol}_{\% \text{caldo}} = (1,0078 \times \text{leit. Sacar.} + 0,0444) \times (0,2607 - 0,009882 \times \text{Brix}_{\text{caldo}}) \quad (12)$$

Em que:

leit. Sacar. - leitura do sacarímetro.

k) Pol da cana-de-açúcar ($\text{Pol}_{\% \text{cana}}$): A Pol na cana é obtida em função da Pol no caldo extraído multiplicado pela fibra e pelo coeficiente “C” que transforma a Pol no caldo extraído em $\text{Pol}_{\% \text{cana}}$, dado pela equação:

$$\text{Pol}_{\% \text{cana}} = \text{Pol}_{\% \text{caldo}} \times (1 - 0,01 \times \text{Fibra}) \times C \quad (13)$$

l) Pureza: A Pureza é a porcentagem de sacarose (Pol) contida nos sólidos solúveis (Brix), sendo o principal indicador de maturação da cana-de-açúcar. Segundo a equação:

$$\text{Pureza} = \text{Pol}_{\% \text{cana}} \div \text{Brix}_{\% \text{cana}} \times 100 \quad (14)$$

m) Açúcares redutores ($\text{AR}_{\% \text{caldo}}$ e $\text{AR}_{\% \text{cana}}$): Os açúcares redutores são açúcares encontrados na cana, principalmente glicose e frutose, que têm a propriedade de reduzir o óxido de cobre do estado cúprico a cuproso. Eles são os principais precursores da cor mais escura do açúcar no processo industrial. Foram determinados pelas equações:

$$\text{AR}_{\% \text{caldo}} = (3,641 - 0,0343 \times \text{Pureza}) \quad (15)$$

$$\text{AR}_{\% \text{cana}} = \text{AR}_{\% \text{caldo}} \times (1 - 0,01 \times \text{Fibra}) \times C \quad (16)$$

n) Açúcares redutores totais ($\text{ART}_{\% \text{caldo}}$ e $\text{ART}_{\% \text{cana}}$): Os açúcares redutores totais também chamados de açúcares totais representam todos os açúcares contidos na cana na forma redutora ou de açúcar invertido, foram determinados pelas equações:

$$\text{ART}_{\% \text{caldo}} = (\text{Pol}_{\% \text{caldo}} \div 0,95) + \text{AR}_{\% \text{caldo}} \quad (17)$$

$$\text{ART}_{\% \text{cana}} = \text{ART}_{\% \text{caldo}} \times (1 - 0,01 \times \text{Fibra}) \times C \quad (18)$$

o) Açúcares totais recuperáveis (ATR): Conhecendo-se a Pol da cana e os açúcares redutores da cana, foi calculado pela equação:

$$\text{ATR} = 10 \times \text{PC} \times 1,05263 \times 0,905 + 10 \times \text{ARC} \times 0,905 \quad (19)$$

Em que:

- $10 \times \text{PC}$ - pol por tonelada de cana-de-açúcar;
- $1,05263$ - coeficiente estequiométrico para a conversão da sacarose em açúcares redutores;
- $0,905$ - coeficiente de recuperação, para perda industrial de 9,5%;
- $10 \times \text{ARC}$ - açúcares redutores por tonelada de cana-de-açúcar.

p) O etanol: Através da Equação 20, determinou-se o valor para 100% de etanol, que posteriormente foi transformado para 85% de etanol, considerando a eficiência do processo fermentativo.

$$\text{Etanol} = \text{ART}_{\% \text{caldo}} \times 10 \times 0,6475 \quad (20)$$

q) A produção total (TCH): A partir dos dados foi determinada a produtividade expressa em toneladas de cana por hectare (t ha^{-1}) utilizando-se segundo Landell e Silva (2004), a expressão matemática:

$$\text{TCH} = \frac{D^2 \times C \times H \times (0,007854)}{E} \quad (21)$$

Onde:

- D - diâmetro de colmos medido na porção basal próximo ao solo (mm);
- C - número de colmos ou perfilhos por um metro linear;
- H - altura média de colmos ou perfilhos (m);
- E - espaçamento entre sulcos ou entre linhas de cultivo (m);
- 0,007854 - fator de correção apropriado.

A análise estatística foi realizada utilizando o pacote de software SPSS (SPSS V17.0). Os resultados foram submetidos à análise de regressão e para a análise dos resultados dos parâmetros tecnológicos, efetuou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey.

3.7 A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E DO LUCRO LÍQUIDO

Para a obtenção da função de produção e do lucro líquido, utilizou-se a análise de regressão do tipo polinomial do segundo grau (Equação 22) entre a variável dependente, a produtividade ou o lucro líquido e a variável independente, a lâmina de irrigação. Também, se determinou o ponto de máxima eficiência técnica (MET) e o ponto de máxima eficiência econômica (MEE), onde a lâmina de irrigação maximizou a produtividade ou o lucro líquido (Equação 23).

$$y = a + bx + cx^2 \quad (22)$$

Em que:

Y - produtividade ($t\ ha^{-1}$) ou o lucro líquido (R\$);

X - lâmina de água aplicada (mm);

a, b e c - parâmetros da equação.

$$X_{max} = -b/2c \quad (23)$$

Em que:

X_{max} - lâmina que resulta na máxima eficiência técnica ou econômica.

3.8 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise econômica foi utilizada a metodologia dos custos de produção e custo operacional total, proposto por Frizzone e Andrade Júnior (2005), que determina os benefícios, expressos pelo aumento da receita em virtude da adoção da tecnologia (irrigação), bem como os custos para a adoção da mesma, representados pelo acréscimo nas despesas necessárias para a adoção da tecnologia.

A análise econômica foi realizada para cada tratamento em estudo, considerando-se um período de cinco anos. O valor da produção comercial da cana-de-açúcar em cada período foi calculado pelo valor médio entre a localidade em estudo e da Cooperativa dos Produtores de Cana Porto Xavier Ltda (COOPERCANA), que é a principal cooperativa de processamento de cana do Rio Grande do Sul, estabelecendo-se como preço o valor de R\$ 55,00 t para os cinco anos de análise. Os custos do sistema produtivo (custos fixos e

variáveis) para cada período da cana de sequeiro (incluindo todas as operações envolvidas e os insumos necessários para a produção: número de horas-máquina, diárias de trator, número de homens dia⁻¹, preparo de solo, mudas, plantio, herbicidas, inseticidas, corte, carregamento, transporte e colheita manual), também foram calculados pelo valor médio entre a localidade e com o da COOPERCANA.

Para a cana irrigada, os custos foram do sistema de irrigação por gotejamento, considerando um investimento inicial de R\$ 10.000,00, e não se incluiu o valor da terra e o valor da água para irrigação, mas somando-se os custos da mão de obra empregada na irrigação e dos custos da energia elétrica, estipulou-se o custo unitário da lâmina de irrigação em R\$ 1,56 mm⁻¹ ha⁻¹. Cabe destacar que os valores médios das despesas foram determinados para os dois primeiros anos, sendo que nos períodos subsequentes, os valores foram projetados a partir da previsão do valor dos serviços mais o reajuste cumulativo do segundo ano, considerando-se a taxa de 7,2% ao ano (VIEIRA et al., 2014). De forma análoga, a produtividade foi determinada experimentalmente para os dois primeiros anos, e a partir do terceiro ano foi tomada como referência a produtividade do segundo ano. Sabe-se que há tendência de queda na produtividade com o decorrer do tempo, podendo variar de 12 a 15% ao ano, conforme sinaliza Pereira et al. (2015). Contudo, o preço da tonelada também apresenta incrementos anuais, que podem ser equiparados às perdas de produtividade. Neste sentido, no cenário deste estudo, ambos foram considerados constantes a partir do terceiro ano.

O lucro da produção foi obtido pela diferença entre o valor monetário total de produção, dos custos não relacionados à irrigação, dos custos fixos e variáveis relacionados à irrigação, dado pela equação:

$$L_{(x)} = P_y y - P_x x - c \quad (24)$$

Em que:

- $L_{(x)}$ - lucro (R\$ ha⁻¹);
- P_y - preço do produto (R\$ t⁻¹);
- Y - rendimento (t ha⁻¹);
- P_x - preço da água de irrigação (R\$ mm⁻¹);
- x - lâmina de irrigação (mm);
- c - custos do sistema de produção (R\$ ha⁻¹).

A partir da projeção dos fluxos de caixa associados a cada um dos sistemas de produção estudados, foi realizada a análise econômica por meio dos seguintes critérios: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), relação benefício custo (B/C), ponto de equilíbrio (PE), *payback* (PB) e *payback* descontado (PBD). É importante destacar a característica peculiar do tratamento de sequeiro em relação aos demais. Nessa condição, não houve necessidade da realização de investimento inicial em equipamentos de irrigação ou de qualquer outra natureza. Esse fato afetou diretamente a determinação da TIR, que pressupõe a relação entre o valor de investimento (saída de caixa) e o valor dos fluxos de caixa resultantes. Neste cenário, não foi possível determiná-la, pois todos os fluxos ao longo dos cinco anos de análise foram positivos. Neste sentido, para estabelecer uma base comparativa em relação aos demais tratamentos, foi realizado o cálculo da taxa de retorno dentro de cada ano (confrontando o resultado líquido com as despesas). Em seguida, determinou-se a taxa cumulativa do período de análise (cinco anos) e sua equivalente anual. As análises consideraram a taxa mínima de atratividade de 14,25%, considerando a taxa de juros básica da economia brasileira vigente e o projeto foi financiado pelo Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria.

4 ARTIGO 1 - IRRIGATION DEPTHS IN SUGARCANE CROP WITH DRIP IRRIGATION SYSTEM¹

4.1 ABSTRACT

This study aims to evaluate the growth and development of sugarcane under different supplemental irrigation depths. Irrigation treatments were 0.30, 0.60, 0.90 and 1.2 rate of crop evapotranspiration (ET_c) and the control (no irrigation). The experimental design was a randomized complete block with six replications. The highest yield was ratoon cane with 190 t ha⁻¹ in the treatment 0.6 of ET_c. The difference between the highest and lowest yield were 11 and 7% in plant cane and ratoon cane, respectively. The rate of maximum technical efficiency of yield was 0.78 of ET_c. Irrigation water productivity and water productivity was obtained in 35.8 to 146.0 kg m⁻³ and 18.0 to 70.9 kg m⁻³, respectively. The total mass and the dry mass showed increase of 20 and 25% in ratoon cane, respectively. The plant height showed no difference between treatments. The highest: number of tillers, leaf area and number of green leaves was treatment 1.2 of ET_c. The deficit and excess moisture affect plant development, plant height, leaf area, stem diameter, number of tillers per meter, full mass and dry mass, affects the yield of sugarcane.

Key words: *Saccharum*, drip irrigation, water deficit, strategies for efficient irrigation, sugarcane.

4.2 INTRODUCTION

The sugarcane is one of the most significant crop worldwide, cultivated over 100 countries, and it is considered an important source of jobs in rural areas. Brazil, India, China, Mexico, Thailand, Pakistan, Colombia, Austrália, Indonesia, and United States of America hold about 80% of sugarcane production (FAO, 2008). In Brazil, sugarcane is the third crop in terms of cultivated area (9.0045 million of hectares), with an average of production of 71.31 t ha⁻¹.

¹ Artigo publicado em 7 de julho de 2016 na Revista African Journal of Agricultural Research, volume 11, número 27, páginas 2423-2432, DOI: 10.5897/AJAR2016.11048.

The Southern region has cultivated sugarcane in 0.636 million of hectares (7% of national sugarcane area), and the Southern of Rio Grande do Sul state grows sugarcane in 0.014 million of hectares (2.2% of Brazil sugarcane area), with a production average of 55.22 t ha⁻¹ (CONAB, 2014). Moreover, sugarcane has great socioeconomic importance, provides feedstock to the sugarcane industry for the production of alcohol (hydrous and anhydrous), sugar, brandy, bioplastic, biodiesel, kerosene, fertilizers, paper, animal feeding, and the sugarcane bagasse has been used as an energy source (electricity) (Souza et al., 1999).

The water deficit is the main factor in yield decrease in most crops worldwide (Bray et al., 2000). Strategies for the management and efficient use of irrigation water are the keys for the sustainability and profitability of crops, yet it is the great importance to improve yield and quality, reduce costs, and maximize water use (Padrón et al., 2015a). Thereby, knowing how crops respond to abiotic stresses is a prerequisite to choose the best variety, management strategies, and the use of natural resources (Smit and Singels, 2006).

Sugarcane yield is limited by edaphoclimatic factors such as water and nitrogen deficiency (Gava et al., 2011). Moreover, sugarcane growth and development are directly related to evapotranspiration, and water availability is considered the main factor that causes production variability (Dalri, 2004). According to Inman-Bamber (2004), the duration of water deficit negatively affects leaf production and increases leaf senescence of whole plant, yet it may reduce light interception, water use efficiency, photosynthesis, as well as increase transmitted radiation to the soil surface. Furthermore, the amount of water consumed daily by sugarcane depends on the variety, growth stage, and evapotranspiration demand, which varies according to the region and season of the year (Bernardo, 2006). Although some regions have high precipitation rates, its irregular distribution may sometimes prevent plant growth (Ometto, 1980). Therefore, the management of irrigation water is essential to maximize yield, growth, stem density, leaf area index, increase sugar content, sugarcane life, and the farmer profits (Bernardo, 2006; Neto et al., 2006; Dalri et al., 2008; Farias et al., 2008a).

The evaluation of the phenology behavior provides knowledge and definition of the period that each vegetative phase occurs, and may help in the choice of management strategies, such as the best harvesting and planting time (Larcher, 2004). Sugarcane crop can tolerate some water deficit, however it highly responds to irrigation management (Singh et al., 2007). Effective management of water resources is the key to the sustainability and profitability of the crop, thus encouraging the development of new techniques for the analysis and efficient water management (Padrón et al., 2015b).

Thereby, the aim of this study was to evaluate the growth, development, and sugarcane

yield submitted to different irrigation levels as an additional source of water for efficient use of irrigation water.

4.3 MATERIALS AND METHODS

This field study was conducted at the experimental area of the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria (altitude of 110 m, and 29°41'25" S, and 53°48'42" W), during the Spring-Summer seasons of 2013 to 2014 and 2014 to 2015. The soil is classified as typical dystrophic yellow argissolo, with a loam texture. The climate of the region, according to the Köppen classification is subtropical humid (Cfa). During the both growing seasons, air relative humidity ranged (69.5 to 86.8%), insolation (134 to 286.2 h), and evapotranspiration (41.5 to 175.2 mm; Table 1). The precipitation, maximum, minimum, and average temperatures are shown in Figure 1. In the growing season 2013 to 2014 and 2014 to 2015, minimum, average, and maximum temperatures were 0.6, 21.2, 40.0, 0.1°C, 20.5 and 37.2°C respectively, with greater variation in the first growing season. Maximum and minimum precipitation occurred in November and June, and December, respectively in the 2013 to 2014 growing season. In the second growing season, maximum and minimum precipitation occurred in December and November, respectively.

Table 1. Monthly climatic data of the experimental area, relative humidity and insolation, evaporation cumulative during the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons.

Months	Relative humidity mean (%)			Insolation (hour)			Evaporation (mm)		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Jan.		73.1	78.3	219.2	235.8		158.5	148.7	
Feb.		73.8	79.7	211.2	207.2		138.2	122.1	
March.		76.8	77.6	212.6	229.4		113.7	118.6	
April.		78.2	77.0	219.8	207.2		86.5	81.9	
May.		83.4	82.5	142.8	146.9		49.1	52.5	
June.		86.8	80.9	199.8	145.8		41.5	34.8	
July.		80.6	86.2	176.4	89.6		53.2	41.7	
Aug.		75.8		188.5			76.5		
Sept.		76.4		134.0			101.2		
Oct.		73.4		161.0			146.8		
Nov.	71.6	71.0		229.2	173.1		144.3	131.6	
Dec.	69.5	76.1		286.2	211.0		175.2	142.1	

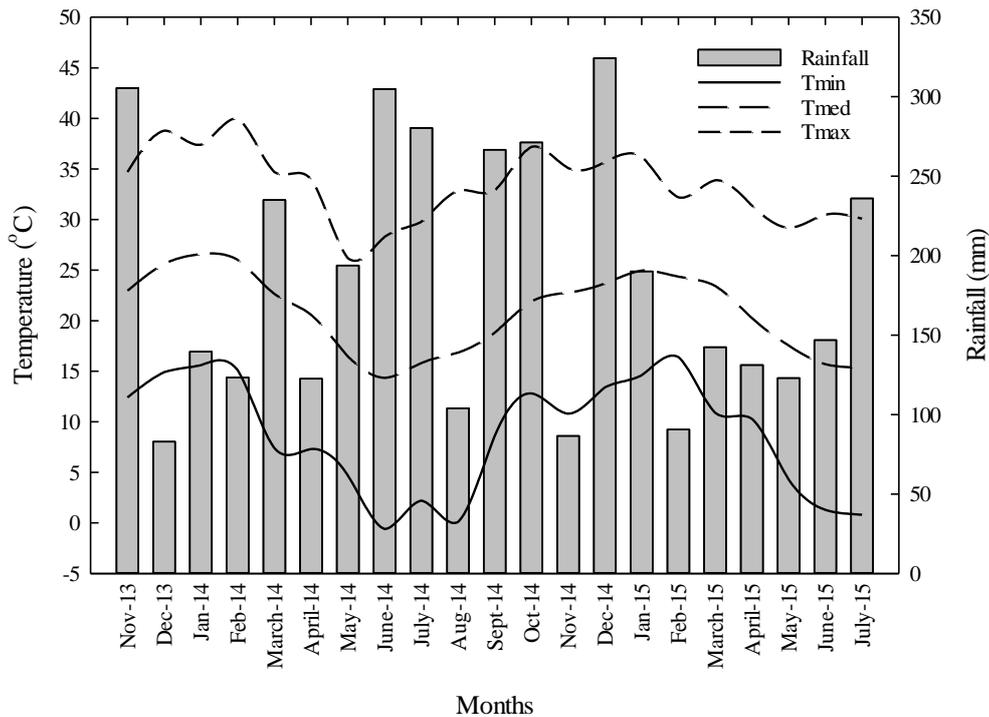


Figure 1. Climograph of the experimental area, during the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons.

Treatments (0.3, 0.6, 0.9 and 1.2 of crop evapotranspiration) and a control treatment (rainfed) were arranged in a randomized complete block design with six repetitions. Each experimental unit had 20 m² (4x5m), and 600 m² of total experiment area, with plants on the edge. We used the variety RB93-5581, planted on November 14, 2015, row space of 1 m, and continuous distributions of stems (3 to 4 buds per stem, totalizing 18 buds per meter) inside the furrow. The harvest occurred on 20 July 2014 and 8 June 2015 in the first and second growing season, respectively. In order to reduce experimental errors, sugarcane stems were divided into top, middle, and bottom parts, and each part was planted in two blocks.

Drip irrigation system was used, with drippers spaced 0.2 m and a flow rate of 0.8 L h⁻¹. In each experimental unit was installed a gate valve and a pressure control valve in order to control irrigation time and obtain regular pressure, respectively. Moreover, irrigation system uniformity and soil wetted volume tests were performed, following the results reported by (Padrón et al., 2015c). From day one up to 29 days after planting, water management was performed based on 1.0 of evapotranspiration for all treatments in order to have uniform emergence of the sugarcane. Subsequently, the irrigation treatments were started performed every seven days and irrigation was finished 30 days before harvest.

The reference evapotranspiration was calculated on a daily scale, based on this results, different percentages were applied to set the irrigation by the formula of Penman-Monteith/FAO (Equation 1), and the crop evapotranspiration at a standard condition (Equation 2) (Allen et al., 1998). Climate data were obtained from the weather station of the Federal University of Santa Maria, National Institute of Meteorology, localized approximately 2000 m from the experimental area. Precipitation (mm), maximum and minimum temperature (°C), maximum and minimum air relative humidity (%), insolation (hours) and wind speed (m s⁻¹) were collected daily.

$$ET_o = \frac{0.4088 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

here ET_o is the reference evapotranspiration (mm day⁻¹), R_n , G , and T are net radiation value at crop surface (MJ m⁻² day⁻¹), soil heat flux density (MJ m⁻² day⁻¹), and daily mean air temperature at 2 m height (°C), respectively. Also, u_2 , e_s , e_a , ($e_s - e_a$), Δ and γ represent wind speed at 2 m height (m s⁻¹), saturation vapor pressure (kPa), actual vapor pressure (kPa), saturation vapor pressure deficit (kPa), slope of the saturation vapor pressure curve (kPa °C⁻¹) and psychrometric constant (kPa °C⁻¹), respectively.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (2)$$

Where ET_c crop evapotranspiration (mm), K_c Single crop coefficient and ET_o reference crop evapotranspiration (mm). Single crop coefficient values used were: $K_{c_{ini}}=0.40-25$ day; $K_{c_{med}}=1.25-70$ day and $K_{c_{fim}}=0.75-50$ day (Allen et al., 1998).

Soils parameters such as chemical analysis, texture, the apparent density of soil, field capacity, and infiltration test were performed (Table 2) (Padrón et al., 2015c). Fertilizers were applied according to the chemical analysis of the soil and crop requirements to obtain a production of 80 to 100 t ha⁻¹. Moreover, 3.5 t ha⁻¹ of lime was applied (Broadcast on the soil surface and disked) to correct soil pH.

Table 2. Average soil attributes of the experimental area.

Soil layers (m)	Bulk density (g cm ⁻³)	Field capacity (m ³ m ⁻³)	Wilting point (m ³ m ⁻³)	Water content (m ³ m ⁻³)	Infiltration (mm h ⁻¹)	Texture
0-0.2	1.42	0.31	0.14	0.18		Loam
0.2-0.4	1.38	0.34	0.17	0.17	15.0	Clay-loam
0.4-0.6	1.36	0.37	0.23	0.13		Clay

The number of tillers was evaluated monthly, by counting in a linear meter. Samplings were performed in the central rows, evaluating 2 meters per row and three rows per experimental unit (six meters per plot). Plant height, number of green leaves, and leaf area were evaluated monthly on six randomized plants per plot, marked along the experiment. Plant height was measured from the base of soil up to leaf A+1, with a measuring tape. The number of green leaves was determined by counting fully expanded leaves, with a minimum of 20% of green area, counted from the leaf A+1. The leaf area was calculated using the methodology determined by Hermann and Câmara (1999) (Equation 3), numbering the leaves of each plant according to Kuijper at Van Dillewijn (1952). Measurements were performed by counting green leaves and with the long and width of the leaf+3, at the mid part. In each plot, leaf area was determined by the multiplication of the number of tillers in a linear meter.

$$LA = C \times L \times 0.75 \times (N+2) \quad (3)$$

where: LA – Leaf area; C – Length of +3 leaf (m); L – Width of +3 leaf (m); 0.75 – correction factor for crop leaf area; N – number of open leaves with at least 20% of green area; 2 – correction factor. The total mass and dry matter content were determined in both harvests by selecting six randomized plants in each experimental unit. To determine total mass, plants were divided into top, leaves, and stem parts, measured individually using an analytical scale. Subsequently, each stem was identified; juice extraction performed with a sugarcane mill machine, and the juice volume of each stem was measured using a graduated cylinder of 1000 ml. The bagasse mass, top, and plant leaves were oven dried at 75°C for 72 h, or until they reached a constant mass. Ten randomized plants per plot were used to determine sugarcane yield by measuring the base diameter (between first and second node from bottom) and stem height, with a graduated ruler and a Pocotest micrometer, respectively. The total yield of each experimental unit was determined according to Landell and Silva (2004) (Equation 4).

$$\text{TSH} = \frac{D^2 \times C \times H \times (0.007854)}{E} \quad (4)$$

where: TSH – Tons of sugarcane per hectare (t ha⁻¹); D – Base stem diameter (mm); C – Number of stem per linear meter; H – Stem height (m); E – Row space (m); 0.007854 – Correction factor.

Water productivity (WP) and irrigation water productivity (IWP) were calculated with the fresh total yield (kg ha⁻¹) divided by crop evapotranspiration (ETc) Equation (5) and total irrigation water applied Equation 6, respectively (Padrón et al., 2015c).

$$\text{WP} = \frac{\text{Total yield (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{evapotranspiration (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}} \quad (5)$$

$$\text{IWP} = \frac{\text{Total yield (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Irrigation water applied (m}^3\text{ha}^{-1}\text{)}} \quad (6)$$

Weeds were controlled either by herbicides application or by manual pulling. Moreover, insecticides and fungicides were used to control insect pests and diseases, respectively. Statistical analysis were performed using the SPSS software package (SPSS V17.0).

4.4 RESULTS AND DISCUSSION

Evapotranspiration, effective rainfall, irrigation applications and days of irrigation are shown in Table 3. The cycle of sugarcane in the growing season 2013 to 2014 and 2014 to 2015 was 237 and 323 days, respectively, with a difference of 86 days. The evapotranspiration, precipitation, and days of irrigation were greater in the 2014 to 2015 growing season, with a difference of 312 mm, 147 mm, and 7 days, respectively. These differences might be attributed to the climate conditions of the region and crop cycle of the crop, once the irrigation levels were similar.

Dalri and Cruz (2008) studying ratoon cane reported that 26 irrigations were necessary, with a level of 520 mm for the growth period of the crop, performed on an average of 13.1 days. Yet, for the second ratoon cane 37 irrigations (740 mm for the life cycle), performed every 13.1 (average) days were necessary.

The study results are similar to those found by Nogueira et al. (2016), who determined

the water demand for sugarcane production for a historic period of 20 years, using supplementary irrigation in Santa Maria-RS, (average of 645 mm and evapotranspiration of 1,310.75 mm). Several studies have demonstrated similar values of water demand in sugarcane: Neto et al. (2006) 1,164.0 mm; Almeida et al. (2008) 1,584.0 mm; Alves et al. (2008), 1,105.7 mm; Gava et al. (2011) for plant cane (1,095.0 mm) and ratoon cane (1,121.0 mm) and Silva et al. (2011), 1,710.0 mm for the whole cycle of production.

Table 3. Evapotranspiration, effective rainfall, irrigation, and days of irrigation during the growing seasons.

Treatment	2013-2014				2014-2015			
	Rainfall ^Z (mm)	ETc (mm)	Irrigation ^Y (mm)	Days irrigation	Rainfall ^Z (mm)	ETc (mm)	Irrigation ^Y (mm)	Days irrigation
0		869.9	-			1129.7	-	
0.3		261.0	126.6			338.9	125.7	
0.6	1362.6	521.9	253.2	17	1508.8	677.8	251.5	24
0.9		782.9	379.8			1016.8	377.2	
1.2		1043.8	506.4			1355.7	503.0	

^ZEffective rainfall; ^YEffective irrigation.

The relationship between yield and irrigation rates is shown in Figure 2. No significant results were found for the treatments in the same year; however, a significant difference at 5% of probability level was found between the years, which the second growing season had a greater yield. The difference between greater and lower yield in the first and second growing season was 11 and 7%, respectively. The maximum yields were 177.3 and 189.4 t ha⁻¹, with a 0.77 and 0.79 of crop evapotranspiration in the first and second growing season, respectively. Moreover, the maximum technical efficiency in yield were 177.3 and 189.4 t ha⁻¹, with 0.77 and 0.79 of evapotranspiration in the first and second growing season, respectively. The second crop cycle had an increase in yield (6.4%) and evapotranspiration (1.4%) when compared to the first crop cycle, being attributed to a longer life cycle.

Nogueira et al. (2015) studied 11 sugarcane varieties in Santa Maria-RS (dryland cropping system), had a minimum and maximum plant cane yield of 27.22 to 66.30 t ha⁻¹, and ratoon cane yield of 35.3 to 149.22 t ha⁻¹, respectively. This small difference may be influenced by the row space (1.4 m) and varieties used. Raskar and Bhoi (2003) studied plant cane and ratoon cane found that yield with 0.9 m row space was significantly greater when compared to 0.3 and 0.6 m row space. Dalri et al. (2008) reported an increase in yield (48.57%) in treatments submitted to irrigation compared to rainfed treatments. Júnior et al.

(2012) applying fertigation, reported an increase (49.5 t ha^{-1} ; 33%) in irrigated conditions compared to rainfed treatments. Furthermore, Gava et al. (2011) studying three varieties, plant and ratoon cane with drip irrigation system reported an increase in yield of 20 and 28%, respectively. Similar yield results comparing irrigation and rainfed treatments were reported by Neto et al. (2006), Dalri and Cruz (2008) and Farias et al. (2008b).

Sánchez-Román et al. (2015) studying different water depths had highest yields with water replacement of 100% of field capacity. Wiedenfeld and Enciso (2008) studied different water managements and did not increase yield with water depths below the soil water storage capacity. Moreover, Vieira et al. (2014) reported that yield increased when water applied is increase with a maximum value of 112.3 t ha^{-1} (150% of evapotranspiration and of 1,537.2 mm; rainfall and irrigation). Yet, Farias et al. (2009) had sugar yield per unit area of less than 12.99 t ha^{-1} , with a total irrigation level of 1221 mm (precipitation + irrigation), which corresponds to 100% of evapotranspiration. Oliveira et al. (2014) reported that 100% of water replacement increased productivity by 40% when compared with drought-stricken area management (water replacement of 0%) of 178 t ha^{-1} , and maximum curve peak had gross alcohol yield of $25.34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, obtained with 79.7% of water replacement. Carvalho et al. (2014) reported that an irrigation depth of 75% of evapotranspiration in ratoon cane increased (21.34%) when compared to 50% of evapotranspiration. Conversely, irrigation depth of 100% of evapotranspiration reduced yield by 53.4%.

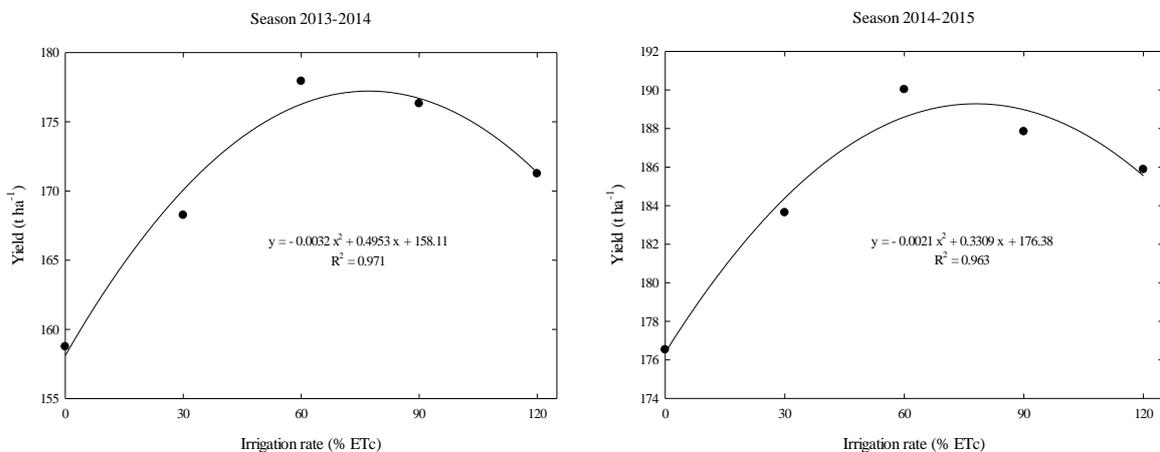


Figure 2. Sugarcane yield with irrigation rate applied as a fraction of crop evapotranspiration with different irrigation depths.

Water productivity and irrigation water productivity are shown in Table 4. Water productivity (WP) and irrigation water productivity (IWP) decreased as irrigation rates

increased. The IWP was greater in the second growing season due to weather conditions and increase in yield. Conversely, WP was lower in the second growing season affected by the crop cycle. In both growing seasons, the IWP was similar, being attributed to the same irrigations levels, temperature variation, and evapotranspiration. Moreover, the WP was lower (both growing seasons) in the treatment of 1.2 of evapotranspiration, being similar to the rainfed treatment.

Oliveira et al. (2011a) reported an increase in water use efficiency (69.8% on average) when comparing rainfed and irrigated treatments, obtaining values of 70.1 kg m^{-3} and 140.3 kg m^{-3} , respectively. Doorembos and Kassam (1994) reported that sugarcane under irrigated conditions in the dry tropics and subtropics, in soils with 80% of available water, might yield between 5 to 8 kg m^{-3} . Farias et al. (2008b) determined the WP with the total volume of water applied (rainfall + irrigation), and found a difference of 3.23 kg m^{-3} between sugarcane treatments submitted to 100% of evapotranspiration (7.22 kg m^{-3}) and rainfed (3.99 kg m^{-3}).

Table 4. Water productivity and irrigation water productivity the sugarcane with different irrigation depths.

Treatment	Irrigation water use efficiency (kg m^{-3})		Water productivity (kg m^{-3})	
	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015
I ₀	-	-	20.1	15.6
I _{0.3}	140.8	146.0	70.9	54.2
I _{0.6}	74.5	75.6	37.5	28.0
I _{0.9}	49.2	49.8	24.8	18.5
I _{1.2}	35.8	37.0	18.0	13.7

The total mass, stem mass, and dry matter content are shown in Table 5. No significant differences were found between the treatments, however, significant results were found between the growing seasons, with highest values for ratoon cane. The greater values for total mass were found in the treatments of 0.9 and 0.6 (cane plant and ratoon cane, respectively), an increase of 20% for ratoon cane. The dry mass content was greater in both growing season for the treatment of 0.6, with an increase of 25% for ratoon cane. The treatment of 0.9 (0.860 kg) and 0.6 (1.251 kg) had greater stem mass in the first and second growing season, respectively.

The study results are similar to those found by Neto et al. (2006), who studied levels of irrigation and nitrogen dose associated with potassium in ratoon cane, and concluded that growth parameters and the quality of ratoon cane were more influenced by fertilization than

by irrigation. Yet, the same authors reported an average stem weight for the highest and lowest dose of fertilizer applied of 1,077.50 and 918.42 g, respectively. Moreover, Azevedo (2002) reported a mean weight of 917.00 g per stem in sugarcane plant. Likewise, Silva (2002) studying irrigated sugarcane under different fertilizer levels, reported an average stem weight of 1,384.17 g.

Table 5. Total mass, stem mass, and dry matter content of sugarcane submitted to different irrigation depths.

Treatment	2013-2014			2014-2015		
	Total mass (kg)	Dry matter (kg)	Stem mass (kg)	Total mass (kg)	Dry matter (kg)	Stem mass (kg)
I ₀	1.246 ^{aB}	0.225 ^{aB}	0.808	1.523 ^{aA}	0.283 ^{aA}	1.143
I _{0.3}	1.283 ^{aB}	0.228 ^{aB}	0.813	1.628 ^{aA}	0.312 ^{aA}	1.238
I _{0.6}	1.285 ^{aB}	0.249 ^{aB}	0.832	1.656 ^{aA}	0.332 ^{aA}	1.251
I _{0.9}	1.311 ^{aB}	0.233 ^{aB}	0.860	1.617 ^{aA}	0.320 ^{aA}	1.249
I _{1.2}	1.274 ^{aB}	0.198 ^{aB}	0.853	1.613 ^{aA}	0.312 ^{aA}	1.247
Sig.	**	**	-	**	**	

Plant height and number of tillers are shown in Figure 3. These variables did not differ between treatments, but had interaction between the years of study, having the highest value for ratoon cane. Maximum plant height was 269.5 and 205 cm in plant cane and ratoon cane, respectively, in the treatment submitted to 0.9 of evapotranspiration. The difference between maximum and minimum height was 3% for the plant cane and 5% for ratoon cane, (increased 24.1% over the seasons), which might be influenced by the crop cycle.

Neto et al. (2006) reported an average plant height of 227 and 196 cm for ratoon cane submitted to different doses of fertilizer. Moura et al. (2005) studied ratoon cane under different irrigation levels, reported that irrigation increased plant growth (25%) when compared to the rainfed treatments. Oliveira et al. (2011b) studied different varieties of sugarcane, fertilizer doses, and water deficit found that plant height (average of 3.083 m) did not have a significant difference between treatments. Yet, the average stem height was 359.1 cm (Carmo et al., 2010). Silva et al. (2008) analyzing plant cane growth found values of 280.7 cm, whereas, Farias et al. (2008a) studying the same variety in irrigated and rainfed system, reported that cane plant growth stabilized after 193.85 days (irrigation condition; height of 152.80 cm), and 236.20 days (rainfed; height of 148.19 cm). Souza et al. (2015) reported that increasing irrigation level to 100% of evapotranspiration increased plant height when

compared to the rainfed treatments, yet with total irrigation depths of 1, 177.33 and 568 mm, plant height were 2.66 m and 1.99 m, respectively.

The highest number of tillers per meter was 28 in plant cane, at 63 days after planting and 24 in ratoon cane (148 days after cutting) in the treatment I1.2. The lowest value was in the rainfed treatment, cane plant (23 tillers) and ratoon cane (21 tillers). At harvest of each cycle, the greatest number of tillers (18) in plant cane (treatment I0.9) and 14 in ratoon cane (treatments I0.6 and I1.2). The lowest were 16 and 13 in the plant cane and ratoon cane, respectively. Watering early in the cycle increased the number of tillers, and at the end of the sugarcane cycle, the excess of moisture affects development. Thereby, Carmo et al. (2010) reported that in early development, under irrigated system and high availability of solar radiation, there is an intense tillering at the beginning of the cycle since there is water, energy, and space for plant growth. Yet, the number of tillers was greater at the beginning of sugarcane cycle, but fell abruptly when the culture demonstrated a tendency toward stabilization in the number of tillers, which occurred about 327 days after cutting.

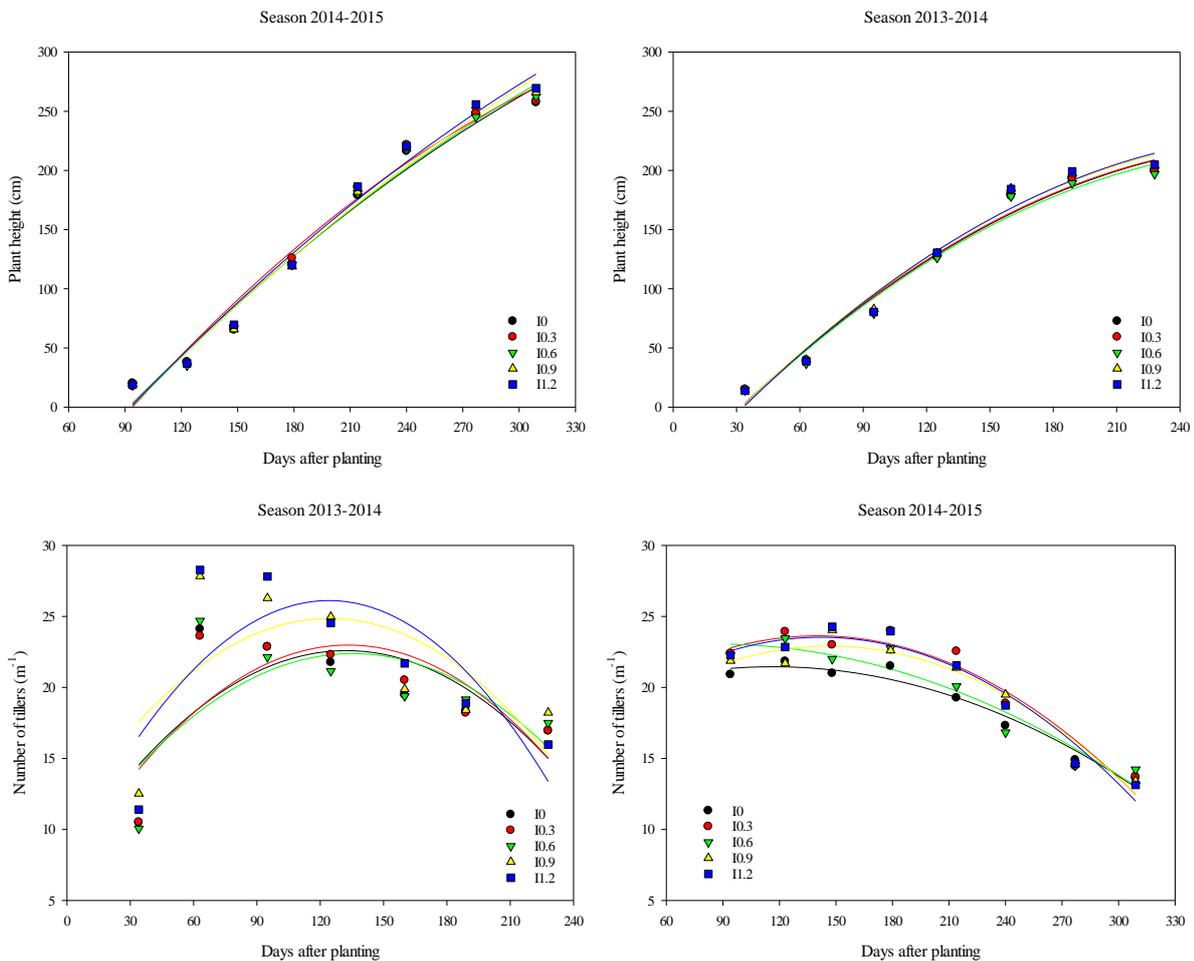


Figure 3. Plant height, and number of tillers with different irrigation depths.

The number of green leaves and leaf area are shown in Figure 4. The largest number of green leaves (13 in plant cane) was at 160 days after planting (treatment I0.9), and it was 12 green leaves in ratoon cane, at 240 days after cutting (I1.2 treatment). At each harvest cycle, the number of green leaves demonstrated homogeneity in all treatments, with values of 11 to 12 and 10 in plant cane and ratoon, respectively. No significant effect of irrigation was observed for the number of green leaves, yet it was greater for plant cane. Silva et al. (2015) highlight that the mature sugarcane has a number of green leaves per plant around ten, depending on the variety and growing conditions. Pincelli (2010) states that the variable number of green leaves is important because through this we can observe the photosynthetic efficiency of the plant in advance of the stresses (deficit or water excess). In addition, Machado et al. (2009) observed that water deficit causes leaf senescence and restriction to the emergence of new leaves. However, the degree of these changes is due to the intensity of water stress and depends on the genotype (Smit and Singels, 2006).

The irrigation treatments influenced leaf area and leaf development in both growing seasons. The treatment I1.2 had the greatest development at the beginning of the cycle and decrease towards the end. Conversely, rainfed treatments had reduced development at the beginning and increase towards the end. The rate of the plant and ratoon cane growth was $7.5 \text{ dm}^2 \text{ day}^{-1}$ and $3.6 \text{ dm}^2 \text{ day}^{-1}$, respectively. There was a decrease in both growing seasons, by 15% in the development of the crop, and 33% at harvest, being the ratoon cane lower. Silva et al. (2015) reported similar results with great values to the plant cane.

Machado et al. (2009) found that for irrigation purposes, the period of greatest susceptibility to water deficit is the rapid development of the crop. At this time, the plants have great leaf area and require more water to make the gas exchange with the atmosphere (Pires et al., 2008). Farias et al. (2008a) reported that leaf area ranged significantly over the growing season for rainfed sugarcane, with a maximum leaf area of $5,168.04 \text{ dm}^2$ (at 166.68 days and growth rate of $31.00 \text{ dm}^2 \text{ d}^{-1}$).

In addition, the sugarcane cultivated under irrigated conditions reached the point of maximal leaf area ($5,359.65 \text{ dm}^2$) at 152.63 days (growth rate of $35.11 \text{ dm}^2 \text{ d}^{-1}$). Souza et al. (2015), reported the greatest leaf area was obtained in the treatment submitted to 100% of evapotranspiration ($\text{LA} = 2,461.62 \text{ cm}^2$).

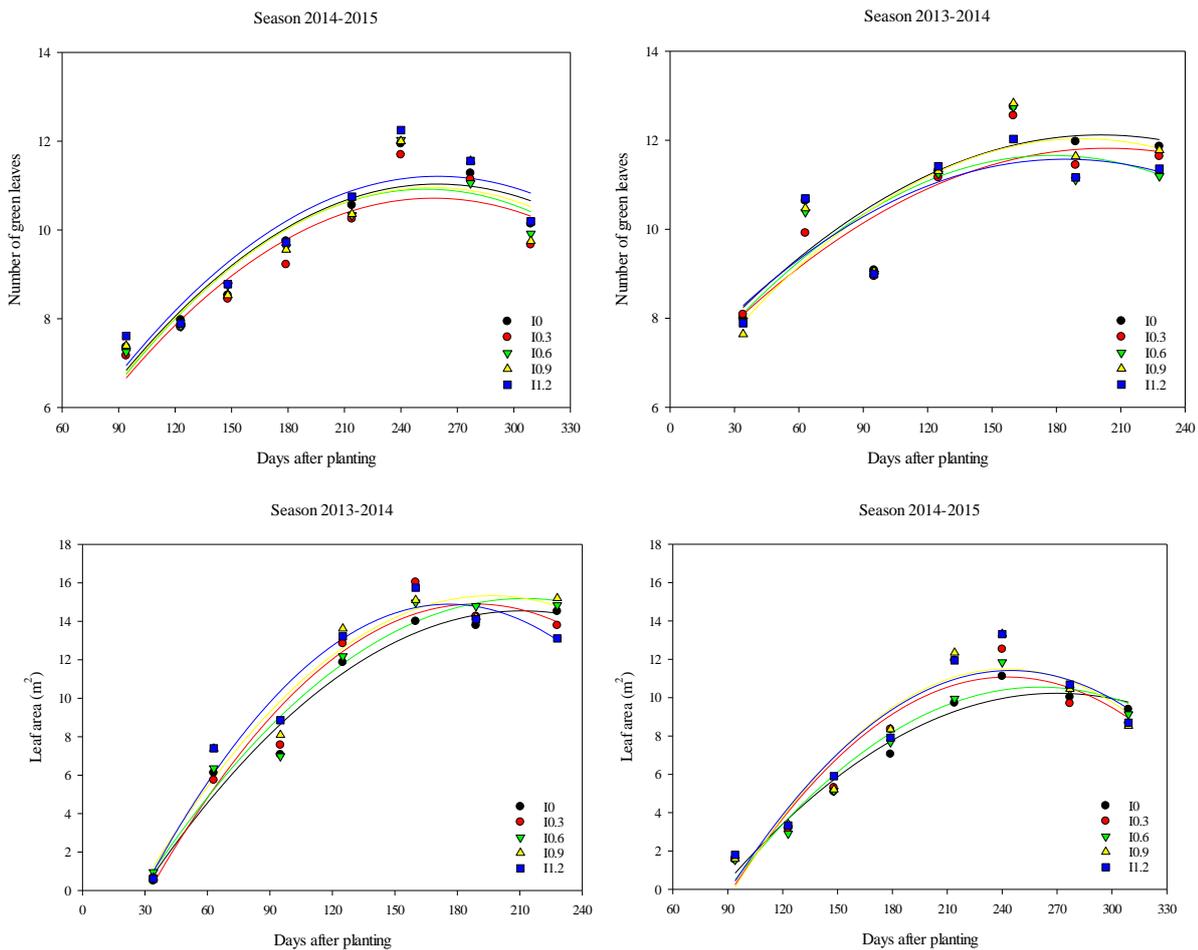


Figure 4. Number of green leaves and leaf area the sugarcane with different irrigation depths.

According to the climatic conditions of the region, comparing rainfed and irrigated sugarcane, there was an increase in sugarcane yield under irrigation system, thereby justifying investments in irrigation system as a supplementary strategy for the agriculture.

Furthermore, studies on optimizing water resources and maximization of crop yields ensuring economic returns in agriculture are necessary. The deficit and the excess of moisture affect the vegetative development of sugarcane, affecting plant height, leaf area, stem diameter, the number of tillers per meter, total and dry mass content, which might have negative effects on sugarcane yield. Moreover, the experimental design adopted for planting sugarcane, dividing the stem in the tip, mid and base parts, reduced experimental errors and homogenized the blocks. Yet, stem tip had highest emergence and development at initial phase and middle part stem had the greatest development at the end of the cycle in the first growing season, and no differences were observed for ratoon cane.

4.5 CONCLUSIONS

The irrigation affects positively the vegetative growth of sugarcane, increasing plant height, stem diameter, the number of tillers per meter, and leaf area. The determination of the evapotranspiration rate increases yield, ensuring the efficient use of irrigation water and the profitability of the crop. The irrigation rate of 78% of evapotranspiration as an irrigation strategy for sugarcane production might be adopted to obtain stable yields.

4.6 CONFLICT OF INTEREST

The authors have not declared any conflict of interest.

4.7 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria by for support.

REFERENCES

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO-Irrigation and Drainage Paper 56, Rome: FAO 323 p.
- Almeida ACS, Souza JL, Teodoro I, Barbosa GVS, Moura Filho G, Ferreira Júnior RA (2008). Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciênc. Agrotecnol.* 32(5):1441-1448.
- Alves MJF, Andrade SJ, Menezes EP, Alcântara LM (2008). Quantificação da demanda hídrica da cana-de-açúcar (variedades RB 83-5486; RB 86-7515; SP 79-1011 e SP 81-3250) na região de Ituiutaba - MG. *Rev. Intercursos.* 7(1):43-48.
- Azevedo HM (2002). Resposta da Cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros costeiros da Paraíba. 112 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Curso de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.
- Bernardo S (2006). Manejo da irrigação na cana-de-açúcar. *Rev. Alcoolbrás.* 106:72-80.
- Bray EA, Bailey-Serres J, Weretilnyk E (2000). Response to abiotic stress. In: Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL. (Eds). *Biochemistry and molecular biology of plants*. Rockville: American Society of Plant Physiologists. 1158-1203.

- Carmo JFA, Moura MSB, SILVA TGF, Campos CO.; Brandão EO, Soares JM (2010). Análise biométrica da cana-de-açúcar irrigada em relação aos graus-dia acumulados no Submédio do São Francisco. Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco.
- Carvalho JJ, Bastos AVS, Souza KB, Oliveira RC, Favareto R, Teixeira MB (2014). Viabilidade Econômica da Cana-de-Açúcar, sob Diferentes Lâminas de Irrigação no Sudoeste Goiano. II INOVAGRI International Meeting, Fortaleza. <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a136>.
- CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2014). Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, terceiro levantamento, Safra 2014/2015, Dezembro/2014. Brasília.
- Dalri AB (2004). Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos. 89 f. Tese de Doutorado Botucatu: UNESP-Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo.
- Dalri AB, Cruz RL (2008). Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. *Rev. Eng. Agríc.* 28(3):516-524.
- Dalri AB, Cruz RL, Garcia CJB, Duenhas LH (2008). Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. *Irriga.* 13(1):1-11.
- Doorembos J, Kassam AH (1994). Efeito da água no rendimento das culturas. *Estudos FAO. Irrigação e drenagem*, 33, 306p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (2008) FAOSTAT, Rome. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/>. Acesso em: 03 dez. 2015.
- Farias CHA, Fernandes PD, Azevedo HM, Neto JD (2008a). Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental.* 12(4):356-362.
- Farias CHA, Fernandes PD, Neto JD, Gheyi HR (2008b). Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no Litoral Paraibano. *Rev. Eng. Agríc.* 28(3):494-506.
- Farias CHA, Fernandes PD, Gheyi HR, Neto JD (2009). Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro Paraibano. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental.* 13(4):419-428.
- Gava GJC, Kölln OT, Uribe RAM, Trivelin PCO, Cantarella H (2010). Interação entre água e nitrogênio na produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*). In: Crusciol CA. (Org.). *Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar*. 1. ed. Botucatu: FEPAF, 1:49-66.
- Gava, GJC, Silva MA, Silva RC, Jeronimo EM, Cruz JCS, Kölln OT (2011). Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental.* 15(3):250- 255..
- Hermann ER, Câmara GMS (1999). Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Revista da STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos.* 17:32-34.
- Inman-Bamber NG (2004). Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. *Field Crops Res.* 89 (1):107-122.
- Júnior ASA, Bastos EA, Ribeiro VQ, Duarte JAL, Braga DL, Noletto DH (2012). Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. *Pesq. Agropec. Brasileira.* 47(1):76-84.

- Landell MGA, Silva MA (2004). As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. *Visão Agríc.* 1:18-23.
- Larcher W (2004). *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos, SP: RiMa, 531p.
- Machado RS, Ribeiro RV, Marchiori PER, Machado DFSP, Machado EC, Landell MGA (2009). Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. *Pesq. Agropec. Brasileira.* 44(12):1575-1582.
- Moura MVPS, Farias CHA, Azevedo CAV, Neto JD, Azevedo HM, Pordeus RV (2005). Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. *Ciênc. Agrotecnol.* 29(4):753-760.
- Neto JD, Figueredo JLC, Farias CHA, Azevedo HM, Azevedo CAV (2006). Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental.* 10(2):283-288.
- Nogueira HMCM, Nogueira CU, Fantinel AL, Müller I, Hoffmann R, Padrón RAR (2015). Avaliação da produção e resistência à geada de cultivares de cana-de-açúcar. *Espacios.* 36(24):15.
- Nogueira HMCM, Peiter MX, Padrón RAR, Kopp LM, Ben LHB, Vivan GA, Nogueira CU (2016). Produção e demanda hídrica da cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação suplementar. *Espacios.* 37(7):17.
- Oliveira ECA, Freire FJ, Oliveira AC, Simões Neto DE, Rocha AT, Carvalho LA (2011a). Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. *Pesq. Agropec. Brasileira.* 46(6):617-625.
- Oliveira FM, Aspiazú I, Kondo MK, Borges ID, Pegoraro RF, Vianna EEJ (2011b). Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. *Rev. Tróp. Ciênc. Agrárias e Biológicas.* 5(1):56-57.
- Oliveira ECA, Oliveira AC, Oliveira RI, Costa SA, Simões Neto DE, Freire FJ (2008). Rendimento de colmo e atributos tecnológicos de cultivares de cana-de-açúcar, plantadas no Nordeste, sob dois sistemas de irrigação. In: Congresso Nacional da STAB, Maceió. *Anais...*, Maceió: STAB. pp. 756-761.
- Oliveira RA, Daros E, Zambon JLC, Weber H, Ido OT, Bespalhok-filho JC, Zuffellato-Ribas KC, Silva DKT (2007). Área foliar de três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. *Pesq. Agrop. Tropical.* 37(2):71-76.
- Oliveira RC, Cunha FN, Silva NF, Teixeira MB, Soares FAL, Megguer CA (2014). Productivity of fertirrigated sugarcane in subsurface drip irrigation system. *Afr. J. Agric. Res.* 9(11):993-1000.
- Ometto JC (1980). Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, 17 p.
- Padrón RAR, Ramírez LR, Cerquera RR, Nogueira HMCM, Mujica JLU (2015a). Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. *Tecnol. Ciênc. Agropecuária.* 9(2):49-55.
- Padrón RAR, Guedes JVC, Swarowsky A, Nogueira CU, Cerquera RR, Díaz-Pérez JC (2015b). Supplemental irrigation levels in bell pepper under shade mesh and in open-field: Crop coefficient, yield, fruit quality and water productivity. *Afr. J. Agric. Res.* 10(44):4117-4125.

- Padrón RAR, Nogueira HMCM, Cerquera RR, Albino GD, Nogueira CU (2015c) Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. *Acta Iguazu*. 4(1):36-47.
- Pincelli RP (2010). Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, São Paulo.
- Pires RCM, Arruda FB, Sakai E (2008). Irrigação e Drenagem. In: Dinardo-Miranda LL, Vasconcelos ACM, Landell MGA (Eds.). *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agrônomico, São Paulo. 1:631-670.
- Raskar BS, Bhoi PG (2003). Effect of intra-row spacings, fertilizer levels and planting materials on yield and economics of pre-seasonal sugarcane under drip irrigation. *Sugar Technol*. 5(4):305-309.
- Sánchez-Román RM, Silva NF, Cunha FN, Teixeira MB, Soares FAL, Ribeiro PHP (2015). Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. *Irriga, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA*. pp.198-210.
- Silva AB (2002). Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes doses de adubação. 64 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.
- Silva MA, Silva JAG, Enciso J, Sharma V, Jifon J (2008). Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. *Sci. Agric*. 65(6):620-627.
- Silva NF, Cunha FN, Teixeira MB, Soares FAL, Moura LC (2015). Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial. *Rev. Bras. Agric. Irrigada* 9(2):79-90.
- Silva TGF, Moura MSB, Zolnier S, Soares JM, Souza LSB, Brandão EO (2011). Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*. 15(2):139-147.
- Singh PN, SHUKLA SK, Bhatnagar VK (2007). Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum spp. Hybrid complex*) in subtropical India. *Agricultural Water Management*. 90(1):95-100.
- Smit MA, Singels A (2006). The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Res*. 98(2):91-97.
- Souza EF, Bernado S, Carvalho JÁ (1999). Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. *Rev. Eng. Agríc*. 19(1):12-28.
- Souza JKC, Mesquita FO, Neto JD, Silva MBR, Farias CHA, Lima YB (2015). Crescimento da cana-de-açúcar submetido a diferente es lâminas de irrigação e adubação com zinco. *Agrop. Cient. no Semiárido*. 11(1):114-119.
- Van Dillewijn C (1952). *Botany of sugarcane*. *Chronica Botanica*. Stechert-Hafner, New York, Massachusetts Waltham, 371p.
- Vieira GHS, Mantovani EC, Sediya GC, Delazari FT (2014). Produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. *Biosc. J*. 30(3):55-64.
- Wiedefeld B, Enciso J (2008). Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. *Agron. J*. 100(3):665-671.

5 ARTIGO 2 – TECHNOLOGICAL PARAMETERS AND ECONOMIC ANALYSIS OF SUGARCANE CULTIVATED UNDER IRRIGATION DEPTHS FOR ETHANOL PRODUCTION IN SANTA MARIA-RS, BRASIL²

5.1 ABSTRACT

This study aimed to perform economic analysis and evaluate the effect of technological parameters on plant and ratoon sugarcane under irrigation depths for ethanol production. Treatments were irrigation of 30, 60, 90, and 120% of ET_c and a control treatment (no irrigation). The experimental design was a randomized block with six repetitions. We used a drip irrigation system with management based on crop evapotranspiration, according to the methodology proposed by FAO. In rainfed and under irrigation plant cane, the variable cost represented 54.40% and 66.81% and the fixed cost represented 45.60% and 33.19%, respectively. The difference in the cost of production in rainfed and irrigated was 27.23% and 57.20%, for the plant cane and ratoon, respectively. Moreover, we presented the economic viability, which for sugarcane grown in rainfed is 60% of ET_c, with differences in the cost of production and net profit of 53.94% and 52.20%, and financial return in the year of implementation and 4 years and 4 months, respectively. The irrigation increased technological parameters for ethanol production. For plant cane, the only variable that showed no statistically significant difference was the fiber, and for ratoon cane the technological parameters did not have statistically significant difference.

Key words: *Saccharum*, drip irrigation, financial indicators, ratoon cane, plant cane, dryland.

5.2 INTRODUCTION

In Brazil, sugarcane has played an important role in the formation of economic, political, and social bases since its introduction on January 22, 1532 (Miranda, 2008), and as a defining agent of production factors, especially in the use of agricultural areas (Castilho, 2000).

² Artigo publicado em 8 de setembro de 2016 na Revista African Journal of Agricultural Research, volume 11, número 36, páginas 3450-3459, DOI: 10.5897/AJAR2016.11352.

In addition to the importance of Brazil in the sugar processing, after the decade of 1970, sugarcane gained importance as a source of energy due to an increase in oil prices (1973 to 1979), and for offering a product able to generate clean energy. In this period, the ethanol production triggered relevant socioeconomic impacts such as increasing rural income, employment generation, reducing dependence on foreign oil, and the increase of Brazilian balance of trade (Negrão and Urban, 2005).

After the decade of 1990, with the opening of the Brazilian economy, the sugarcane sector faced important changes, passing to act in a free market environment that required greater competitiveness and effectiveness of all involved agents in order to remain in the activity (Melo and Esperancini, 2012).

In 2013, the Brazilian state of Rio Grande do Sul used one billion liters of ethanol and its production (six to eight million liters per year) is only 2% of the ethanol used, being produced in the main ethanol plant, the Cooperative of Sugarcane Growers Porto Xavier Ltda (COOPERCANA), in Porto Xavier (Prestes, 2013). The ethanol prices have never been so high, even equal or higher than gasoline because of transportation costs (away from ethanol plants located in São Paulo), where 70% of Brazilian ethanol is produced (Colussi, 2011).

Currently, Brazil is the greatest worldwide sugarcane producer, with 9,004.50 thousand hectares of area and production of 642.10 million tons of stalk (average yield of 71.31 t ha⁻¹) (CONAB, 2014). Over 56% of production was used to produce ethanol (28.66 billion liters) and 47.72% for sugar (36.36 million tons). Furthermore, sugarcane production has been increasing annually due to the construction of new ethanol plants and selection of more productive varieties. Thereby, the commercialization of sugar and ethanol has represented an important part of the Gross Domestic Product (GDP) of the national agribusiness (Silva et al., 2012).

Despite the great expansion of sugarcane fields, environmental problems such as water deficit due to irregular rainfall and an increase of below-normal rainfall in the months where it is more required, causing more damage when occurring during vegetative stages have been observed (Dias, 1999; Rolim et al., 2007).

The soil and climate conditions in the new sugarcane fields require the use of irrigation. Abreu et al. (2013) and Teodoro et al. (2009, 2015) found that in the cycle where occurred greater water deficit, the agricultural and agro-industrial production were significantly affected. Sugarcane responds positively to irrigation and it may be used as a key factor for implementing irrigation systems in sugarcane fields. Moreover, it increases yield and lifetime of sugarcane fields (Demétrio, 1978; Matioli, 1998; Neto et al., 2006; Dalri and

Cruz, 2008; Farias et al., 2008a; Farias et al., 2008b; Oliveira et al., 2009; Silva et al., 2011; Silva et al., 2014).

However, in view of the great need of water during the production cycle and the lack of water resources, proper irrigation water management has fundamental importance for achieving greater yield, quality, cost reduction, and rational water use (Padrón et al., 2015a), such as drip irrigation system (Parkes et al., 2010; Boas et al., 2011; Martins et al., 2011). Moreover, Gava et al. (2011) investigating drip irrigation system in three sugarcane varieties obtained, on average, 20% increase in plant cane and 28% in ratoon cane.

Irrigation is one of the most influential factors in yield and production cost of sugarcane (Teodoro et al., 2013). Thus, the management of this agricultural technique requires special attention, since the farmer must use the amount of water that provides a maximum economic return (Fernandes, 2003). Thereby, the localized irrigation arises as a path of linking irrigation productivity gains with higher savings of water and electricity, becoming a technique with increasing use in Brazil and worldwide.

Analyzing the economic feasibility of the implementation of this specific method of irrigation on the current Brazilian agricultural and economic situation becomes increasingly important. The crop yield response regarding different irrigation depths is essential to enable and disseminate the exploitation of irrigated crop in a given region (Frizzone, 1993).

Assessing technological quality of sugarcane has fundamental importance. It will define sugarcane potential as a feedstock for the production of sugar and ethanol in the various stages of industrialization (Stupiello and Fernandes, 1984). The production of sugar and ethanol from irrigated sugarcane depends on several factors, such as the amount of water applied by irrigation, variety, soil type, and the climate of the region (Neto et al., 2006).

Therefore, this study aimed to perform the economic analysis and evaluate the effect of technological parameters of sugarcane cultivated for ethanol production under different irrigation depths, using a drip irrigation system.

5.3 MATERIALS AND METHODS

This experiment was carried out at the experimental area of the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria located at 29°41'25"S, 53°48'42"W, and altitude of 110 m, during the growing seasons of 2013-2014 and 2014-2015. The predominant soil in the region is Paleudalf, frank texture, according to Soil Taxonomy (USDA, 1999). According to the Köppen-Geiger climate classification, the climate of the region is humid subtropical (Cfa).

During both growing seasons, relative air humidity (ranged from 69.50 to 86.80%), insolation (ranged from 134 to 286.20 h), and evapotranspiration (ranged from 41.50 to 175.20 mm; Table 1) were greater in the first growing season. The rainfall, maximum, average, and minimum temperatures are presented in Figure 1. In the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons, minimum, average, and maximum temperatures were -0.6°C ; 21.20°C ; 40°C and 0.1°C ; 20.50°C ; 37.20°C , respectively, showing greater variation in the first growing season. In the 2013-2014 growing season, maximum rainfall occurred in November and June, and the minimum rainfall in December. In the second growing season, maximum and minimum rainfall occurred in December and November, respectively.

Table 1. Monthly climatic data of the experimental area with relative air humidity, insolation, and evaporation cumulative during the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons.

Months	Relative humidity mean (%)			Insolation (hour)			Evaporation (mm)		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Jan.		73.10	78.30		219.20	235.80		158.50	148.70
Feb.		73.80	79.70		211.20	207.20		138.20	122.10
March.		76.80	77.60		212.60	229.40		113.70	118.60
April.		78.20	77.00		219.80	207.20		86.50	81.90
May.		83.40	82.50		142.80	146.90		49.10	52.50
June.		86.80	80.90		199.80	145.80		41.50	34.80
July.		80.60	86.20		176.40	89.60		53.20	41.70
Aug.		75.80			188.50			76.50	
Sept.		76.40			134.00			101.20	
Oct.		73.40			161.00			146.80	
Nov.	71.60	71.00		229.20	173.10		144.30	131.60	
Dec.	69.50	76.10		286.20	211.00		175.20	142.10	

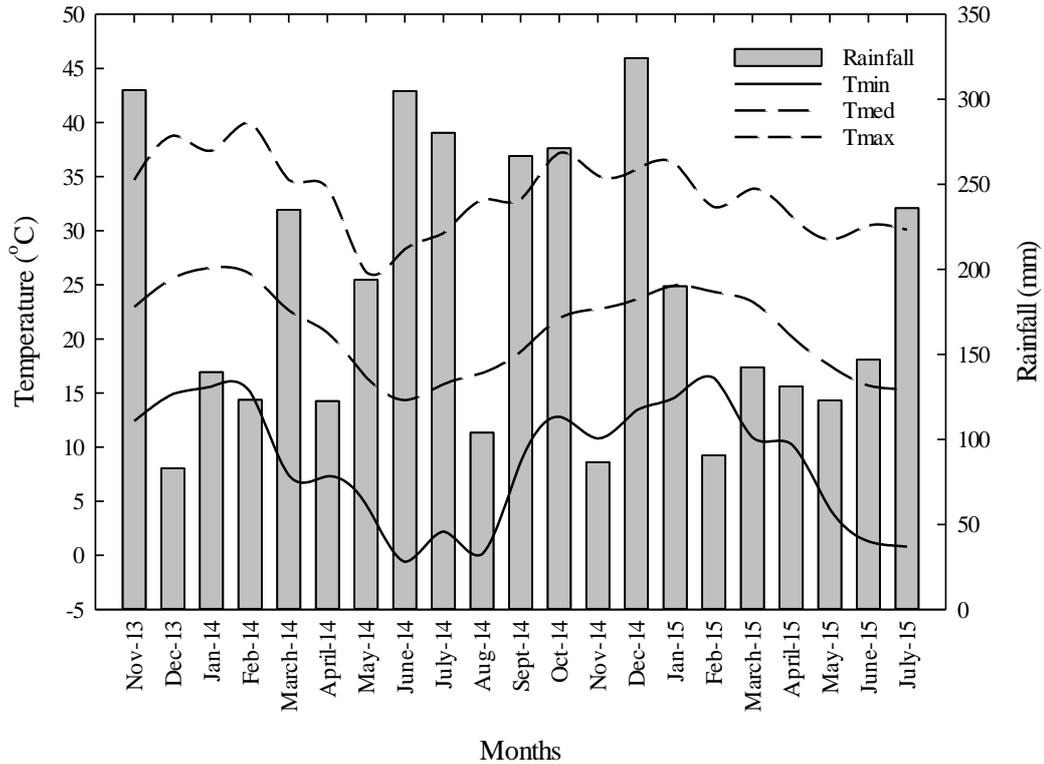


Figure 1. Climograph of the experimental area, during the 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons.

Treatments (30, 60, 90 and 120% of crop evapotranspiration) and a control treatment (rainfed) were arranged in a randomized block design with six repetitions. Each experimental unit was formed by 20 m² (4x5 m), and 600 m² of total experimental area, without plants on the border.

The sugarcane (RB93-5581 variety) was planted on 14 November 2015, with a spacing of 1 m between rows, and continuous distribution of stalks (3-4 buds per stalk, and 18 buds per meter) into the furrow. The harvest occurred on 20 July 2014 (first growing season) and 8 June 2015 (second growing season). In order to reduce experimental errors and maintain homogeneity, sugarcane stalks were divided into the top, middle, and bottom parts, and each part was planted in two blocks.

A drip irrigation system, with drippers spaced 0.2 m and a flow rate of 0.8 L h⁻¹ was used. One spherical gate and one pressure control valve were installed in each experimental unit in order to control irrigation time and obtain regular pressure, respectively. Moreover, the uniformity distribution of the irrigation system was assessed and wetted soil volume tests were performed following the results reported by Padrón et al. (2015b). From day one up to

29 days after planting, water management was performed based on 100% of evapotranspiration for all treatments to ensure sprouting and planting uniformity. Afterwards, the irrigation treatments were started and performed every seven days up to one month before each harvest.

The reference evapotranspiration was based on the methodology of Penman-Monteith/FAO (Equation 1), and the crop evapotranspiration at a standard condition was based on Equation 2 (Allen et al., 1998). Climate data were obtained from the weather station of the Federal University of Santa Maria, linked to the National Institute of Meteorology, localized approximately 2000 m from the experimental area. Rainfall (mm), maximum and minimum temperature (°C), maximum and minimum relative air humidity (%), insolation (hours), and wind speed (m s^{-1}) were collected daily.

$$ET_o = \frac{0.4088 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

where ET_o is the reference evapotranspiration (mm day^{-1}), R_n , G , and T are net radiation value at crop surface ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$), soil heat flux density ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$), and daily mean air temperature at 2 m height (°C), respectively. Also, U_2 , e_s , e_a , $(e_s - e_a)$, Δ , and γ represent wind speed at 2 m height (m s^{-1}), saturation vapor pressure (kPa), actual vapor pressure (kPa), saturation vapor pressure deficit (kPa), slope of the saturation vapor pressure curve ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), and psychrometric constant ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), respectively.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (2)$$

where ET_c stands for crop evapotranspiration (mm), ET_o is the reference crop evapotranspiration (mm), and k_c is the single crop coefficient. The following single crop coefficient values were used: $K_{c_{ini}}=0.40$; $K_{c_{med}}=1.25$ and $K_{c_{fim}}=0.75$ (Allen et al., 1998).

The soil texture, apparent density, field capacity, infiltration test, and chemical analysis were performed according to Padrón et al. (2015b) (Table 2). Furthermore, fertilizers were applied according to the soil chemical analysis and crop requirements (expected yield of 80 to 100 t ha^{-1}). In order to correct soil pH, 3.5 t ha^{-1} of lime was broadcasted on the soil surface and incorporated with a disk harrow.

Table 2. Average soil attributes of the experimental area.

Soil layers (m)	Bulk density (g cm ⁻³)	Field capacity (m ³ m ⁻³)	Wilting point (m ³ m ⁻³)	Water content (m ³ m ⁻³)	Infiltration (mm h ⁻¹)	Texture
0-0.2	1.42	0.31	0.14	0.18		Loam
0.2-0.4	1.38	0.34	0.17	0.17	15	Clay-loam
0.4-0.6	1.36	0.37	0.23	0.13		Clay

Source: Pádrón et al. (2015b).

The economic analysis was carried out for each study period (plant cane and ratoon cane). The value of sugarcane commercial production in each period was calculated based on the average value of the study locality and from the Cooperative of Sugarcane Growers Porto Xavier Ltda (COOPERCANA) (the main sugarcane processing cooperative of Rio Grande do Sul), establishing R\$ 55,00 for each t ha⁻¹ for the five years of analysis. The production system cost (fixed and variable costs) for each period of upland sugarcane (including all operations involved and the necessary inputs for the production: number of machine hours, tractor daily rate, number of men day⁻¹, soil preparation, seedlings, planting, herbicides, insecticides, cutting, loading, transport, and manual harvesting) were also calculated by the average value of the study locality and with the average value of COOPERCANA. For irrigated sugarcane the costs are from the drip irrigation system. Considering an initial investment of R\$ 10,000.00 and without including land and water value for irrigation, but adding labor and electricity costs, we estimated the unit cost of water depth (R\$ 1.56 mm⁻¹ ha⁻¹). It should be noted that the average values of the expenditure were determined for the first two years. In the subsequent periods, the values were calculated from a forecasted value of the services plus a cumulative adjustment of the second year, considering a rate of 7.2% per year according to (Vieira et al., 2014). Likewise, the yield was determined for the first two years, being the coming years estimated from the second year. There is a tendency in reducing yield after a time, ranging from 12 to 15% per year (Pereira et al., 2015). However, the price per ton also presents annual increments, which can be equivalent to productivity losses. Thereby, both were considered constant after the third year.

The net profit of the production system was determined by Equation 3.

$$L_{(x)} = P_y y - P_x x - c \quad (3)$$

where: $L_{(x)}$ = net profit (R\$ ha⁻¹); P_y = production value (R\$ t⁻¹); Y = yield (t ha⁻¹); P_x = irrigation water price (R\$ mm⁻¹); x = irrigation depth (mm); c = production system costs (R\$ ha⁻¹).

A second order polynomial regression analysis between the dependent variable (net profit) and the independent variable (irrigation depth) was used to obtain the net income function (Equation 4). In addition, the point of maximum technical efficiency was determined, where the irrigation depth maximized net profit (Equation 5).

$$y = a + bx + cx^2 \quad (4)$$

where: y = net profit (R\$); x = applied irrigation depth (mm); a , b , c = equation parameters.

$$X_{max} = -b/2c \quad (5)$$

From the projection of cash flows associated with each studied production systems, we carried out economic analysis using the following criteria: net present value (NPV), internal rate of return (IRR), relative benefit cost (B/C), equilibrium point (EP), *payback* (PB), and discounted *payback* (PBD). It is important to highlight a peculiar feature of rainfed treatment compared to the others, which there was no need for initial investment in irrigation equipments. This fact directly affected the determination of the IRR, which presupposes a relationship between the investment value (cash outflow) and the value resulting from the cash flows. Thereby, it was not possible to determine IRR because all flows over the five years of analysis were positive. Moreover, to establish a comparative basis in relation to other treatments, we calculated the rate of return in each year (comparing the net result with the expenses). Then, the cumulative rate of the analyzed period (five years) and its annual equivalent were determined. The analysis considered a minimum rate of attractiveness (14.25%) based on Brazil interest rate.

Samples of technological parameters evaluated in this study were obtained from the central rows by collecting six industrial stalks per plot at the end of the growing cycle. The total soluble solids (° Brix), the sugarcane fiber (Fiber = 0.08×WBM+0.876; where WBM = wet bagasse mass), the apparent sucrose of the sugarcane juice (Pol%_{sugarcane juice} = (1.0078×Sacch.reading+0.0444)×(0.2607–0.009882×°Brix; where Sacch.reading = reading of the saccharimeter), the apparent sucrose of the sugarcane (Pol%_{sugarcane} = Pol%_{sugarcane juice}×(1–0.01×fiber)×C) and (C = 1.0313–0.00575×Fiber; where C is the sugarcane juice

transformation coefficient), the purity of sugarcane ($\text{Purity} = \text{Pol\%}_{\text{sugarcane}} \div \text{Brix\%}_{\text{sugarcane}} \times 100$) and ($\text{Brix}_{\text{sugarcane}} = \text{Brix\%} \times (1 - 0.01) \times C$), the sugarcane total reducing sugars ($\text{TRS\%}_{\text{sugarcane}} = \text{TRS\%}_{\text{sugarcane juice}} \times (1 - 0.01 \times \text{fiber}) \times C$), ($\text{TRS\%}_{\text{sugarcane juice}} = (\text{Pol\%}_{\text{sugarcane juice}} / 0.95) + \text{RS\%}_{\text{sugarcane juice}}$), and ($\text{RS\%}_{\text{sugarcane juice}} = 3.641 - 0.0343 \times \text{Purity}$; $\text{TRS\%}_{\text{sugarcane juice}}$ = the total reducing sugars in the juice; $(\text{RS\%}_{\text{sugarcane juice}})$ = the reducing sugars of the sugarcane juice, the recoverable total sugar ($\text{RTS} = 10 \times \text{IC} \times 1.0526 \times 0.905 + 10 \times \text{RSS} \times 0.905$) and ($10 \times \text{IC}$ = inches per ton of sugarcane; 1.05263 = stoichiometric coefficient for the conversion of sucrose into reducing sugars; 0.905 = recovery coefficient for an industrial loss of 9.5%; $10 \times \text{RSS}$ = reducing sugar per ton of sugarcane), and the estimation of ethanol production ($\text{Ethanol} = \text{TRS\%}_{\text{sugarcane juice}} \times 10 \times 0.6475$) were calculated. The value of 100% ethanol was later transformed to 85% ethanol, considering the efficiency of the fermentation process. The determination of the parameters evaluated followed the methodology of the Instruction Manual provided by the Council of Sugarcane, Sugar, and Alcohol Producers of São Paulo State (CONSECANA, 2006). Statistical analysis was performed using the SPSS software package (SPSS V17.0).

5.4 RESULTS AND DISCUSSION

The crop cycles during the growing seasons of 2013-2014 and 2014-2015 were 237 days and 323 days, respectively, with a difference of 86 days. Evapotranspiration, rainfall, and irrigation days were greater in the 2014-2015 growing season, with a difference of 312 mm, 147 mm, and 7 days, respectively. These differences were possibly influenced by the period of the crop cycle and climatic conditions of the region, but the irrigation depths applied were similar in both growing seasons.

The production cost for plant and ratoon cane under irrigation and rainfed are shown in Table 3. In plant cane (rainfed condition), planting was the variable that had the highest cost, with 42.19% of the total cost, followed by supplies with 19.27%. Moreover, in plant cane under irrigation, input planting for 30.71%, followed by services (29.95%). For rainfed ratoon cane, input was the variable that had the supplies cost (44.24%), followed by cultural practices (30.45%). In ratoon cane under irrigation, service and supplies costs were those with the highest cost (40.45 and 39.37%, respectively). For plant cane, in rainfed and under irrigation, the variable cost (54.40% and 66.81%, respectively) and the fixed cost represented 45.60% and 33.19%, respectively. For rainfed ratoon cane, the variables cost and fixed cost accounted for 92.84% and 7.16%, and under irrigation, 75.49% and 24.51%, respectively. The

difference in production cost for plant cane in rainfed and under irrigation was 27.23%, and for ratoon cane was 57.20%.

Table 3. Production costs of plant and ratoon cane under irrigation and rainfed.

Variable	Plant cane				Ratoon cane			
	Rainfed		Under Irrigation		Rainfed		Under Irrigation	
	(R\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)
Soil preparation	504.00	144.00	504.00	144.00	-	-	-	-
Plantation	2,030.00	580.00	2,030.00	580.00	-	-	-	-
Cultural tract	820.00	234.30	820.00	234.30	638.00	182.30	638.00	182.30
Supplies	927.00	264.90	927.00	3,122.00	927.00	264.90	1,927.00	550.60
Harvest	350.00	100.00	350.00	100.00	350.00	100.00	350.00	100.00
Services	180.00	51.40	1,980.00	565.70	180.00	51.40	1,980.00	565.70
Cost total	4,811.00	1,374.60	6,611.00	1,888.90	2,095.00	598.60	4,895.00	1,398.60
Fixed costs	2,194.00	626.90	2,194.00	626.90	150.00	42.90	1,200.00	342.90
Variable costs	2,617.00	747.70	4,417.00	1262.00	1,945.00	555.70	3,695.00	1,055.70

Irrigation depth, yield, the gross profit and the total cost are shown in Table 4. There was no significant difference between yield and treatments in both growing seasons. The 60% ETc treatment had the best yield in plant and ratoon cane, differing from rainfed with an increase of 10.73% and 7.11%, respectively. The largest gross profit occurred in treatments under irrigation, being 60% ETc the greatest, with an increase of 7.79%, compared to rainfed. In addition, the higher total cost was in the irrigated treatment (120% of ETc), with a difference (56.46 %) compared to rainfed.

Table 4. Treatments, irrigation depths (ID), yield, gross profit and the total cost in the cultivation of sugarcane for five years of study.

Treatment (% ETc)	Plant cane		Ratoon cane		Gross profit		Total cost	
	ID (mm)	Yield (t ha ⁻¹)	ID (mm)	Yield (t ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)	(US\$ ha ⁻¹)
0	-	158.80	-	176.50	47,564.00	13,589.71	17,039.33	4,868.38
30	126.60	168.60	125.70	183.60	49,665.00	14,190.00	35,922.05	10,263.44
60	253.20	177.90	251.50	190.00	51,584.50	14,738.43	36,993.46	10,569.56
90	379.80	176.30	377.20	187.90	51,034.50	14,581.29	38,064.18	10,875.48
120	506.40	171.60	503.00	185.90	50,336.00	14,381.71	39,135.59	11,181.60

The net profit in terms of irrigation rate five-year analysis is shown in Figure 2. The rainfed treatments had the greatest net profit and the treatments under irrigation presented a decreased net profit. In relation to rainfed, the lower net profit occurred with 120% da ETc, with decrease of 63.30%, the lowest decrease was in 60% da ETc, with 52.20%, and the minimum technical efficiency was in 90.04% da ETc.

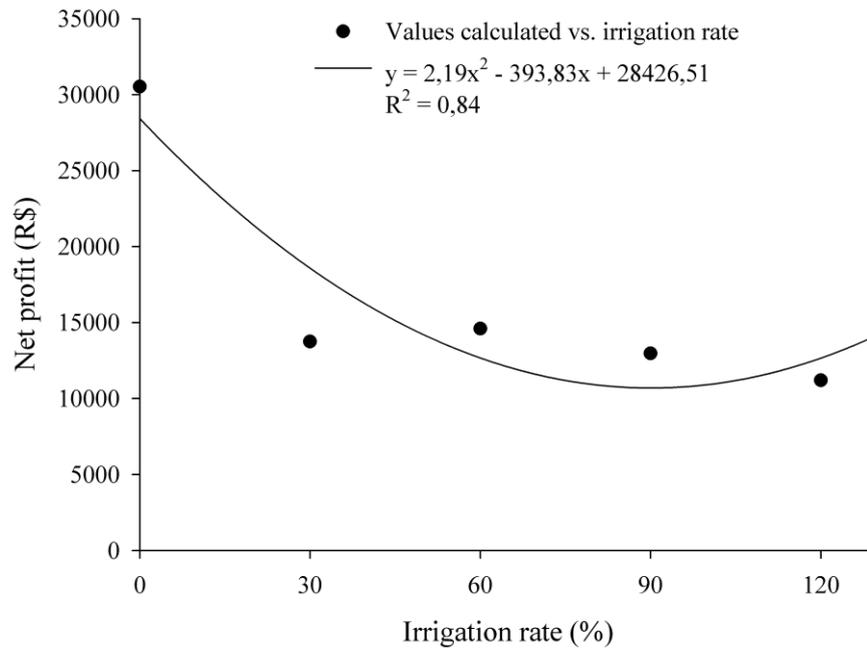


Figure 2. Net profit in terms of irrigation for sugarcane crop for five years of analysis.

The financial indicators are shown in (Table 5). In rainfed condition, because no there was a need for initial investment it was not possible to determine the IRR. The all flows over the five years of analysis were positive, being possible to calculate the rate of return within each year through the determination of the cumulative rate for the period of five years and their annual equivalent (288.73%). In the treatments under irrigation, the only treatment that presented favorable financial indicators was 60% ETc, with *paybacks* giving a financial return before the end of the reported period, without covering initial investment of R\$ 10,000.00. However, further studies with greater amount of planted land, more production cycles, different genotypes, and irrigation systems are necessary.

Table 5. Treatments, the net present value (NPV), internal rate of return (IRR), the equilibrium point (EP), benefit cost (B/C), *payback* (PB), and discounted *payback* (PBD) for sugarcane crop for five years of study.

Treatment (% ETc)	VPL	TIR	(B/C)	EP 1°	EP 2°	EP 3°	EP 4°	EP 5°	Payback	PayBack Discounted
	NPV R\$	IRR (%)	(B/C)	(t ha ⁻¹)	PB year	PBD year				
0	20,513.64	-	-	56.96	3.41	4.22	4.68	5.20	-	-
30	-217.23	13.23	0.98	76.18	34.41	57.09	68.29	83.57	2.96	4.81
60	402.76	16.12	1.04	73.72	33.75	54.45	64.54	78.03	2.74	4.34
90	-687.73	10.93	0.93	73.26	33.96	55.27	65.69	79.72	3.08	5.21
120	-1,913.92	4.63	0.81	74.98	34.16	56.09	66.86	81.45	3.60	6.62

The results showed financial viability in rainfed treatments. The only irrigated treatment that showed viability was 60% ETc. In the first year of cultivation, the balance of rainfed treatment matched with the average state productivity, which is approximately 55 t ha⁻¹ (CONAB, 2014). Similarly, Pereira et al. (2015) studied the production cost of sugarcane in the state of Mato Grosso do Sul and found that the sugarcane industry demands high initial investment and farmer's decision making is linked to the collection of real information about profitability. Moreover, the authors concluded that the economic viability of implementation of a sugarcane field is not feasible when the area is smaller than 1,700 hectares and the maximum value for implementation and maintenance of ratoon cane is of R\$ 5,500 ha⁻¹ and R\$ 900 ha⁻¹, respectively. Costa (2012) studied growth, yield, and economic viability of sugarcane under different irrigation levels in the region of Penápolis-SP, using RB855453 and RB965902 varieties. The author concluded that the unique situation that presented positive result of R\$ 210.23 ha⁻¹, with an increase of 24.45 t ha⁻¹ (RB85545 variety), with a maximum economic efficiency irrigation depth of 1,024.53 mm (75% ETc) and generated a yield of 182.15 t ha⁻¹. Farias (2006), in the study on optimizing the water and zinc use in sugarcane in Paraíba coastal board, stated that the application of 25% ETc results in a negative gross profit (loss) of R\$ 9.64 t⁻¹. Yet, with 50% and 75% ETc generated an average gross profit of R\$ 4.92 t⁻¹, and with 100% ETc, combined with the application of 2.39 kg ha⁻¹ of zinc had a gross profit of R\$ 19.60 t⁻¹. Furthermore, Cintra et al. (2008) claimed from several authors' conclusions that a supplementary irrigation in the initial stages of development of sugarcane is crucial for increasing yield, especially in ratoon cane. Furthermore, the importance of further research on the responsiveness and production function of sugarcane varieties to irrigation in several production locations was emphasized. Amorim et al. (2007) investigated irrigation costs in sugarcane, carrying out a study with several irrigation systems in Juazeiro-BA,

demonstrated that the best irrigation system evaluated by the variables yield per hectare and cost per hectare is dripping irrigation. It is the most viable system, besides its high efficiency in water application by crop utilization, being around 90% to 95%. However, it requires a high initial investment, yet the authors asserted that the expansion of agribusiness depends on the favorable evolution of the Brazilian and world scenario and in particular of macroeconomic and trade policies. The reform of public policy presupposes the provision of equal opportunities for Brazilian producers in relation to their competitors in developed countries, in isonomic conditions of competition.

The technological parameters of plant and ratoon cane under different irrigation management levels are shown in Table 6. In plant cane, irrigation had significant effect on all parameters ($^{\circ}$ Brix, Pol%_{sugarcane juice}, Pol%_{sugarcane}, Purity, TRS%_{sugarcane}, RTS, and Ethanol), except fiber. In ratoon cane, parameters did not had significant statistical difference, demonstrating different behavior regarding to plant cane, and fiber had the same behavior in both growing seasons. Irrigation influenced on the parameters evaluated in plant cane, agreeing to Silva et al. (2014), who also found differences in performance among the parameters evaluated only in plant cane. Regarding the treatments applied in both seasons, the variables had showed the highest values in the treatments under irrigation.

Table 6. Treatments, $^{\circ}$ Brix, fiber, Pol%_{sugarcane juice}, Pol%_{sugarcane}, Purity, TRS%_{sugarcane}, RTS and Ethanol for plant and ratoon sugarcane subjected to different levels of irrigation management.

Treatment (% ETc)	Plant cane							
	$^{\circ}$ Brix	Fiber	Pol% _{sugarcane juice}	Pol% _{sugarcane}	Purity	TRS% _{sugarcane}	RTS (kg t ⁻¹)	Ethanol (L t ⁻¹)
0	17.20b	10.00	14.60b	12.80b	77.00b	14.30b	130.80b	89.90b
30	17.20b	9.90	14.60b	12.80b	77.30a	14.30b	131.00b	89.90b
60	17.80a	10.00	15.10 ^a	13.30a	77.40a	14.80a	135.20a	92.90a
90	18.00a	10.00	15.30 ^a	13.40a	77.00b	15.00a	136.60a	93.80a
120	17.20b	10.00	14.60b	12.80b	77.30a	14.30b	130.90b	89.90b
CV%	2.09	1.37	2.03	2.15	4.17	1.37	1.38	1.25
Sig	P<1%	P>5%	P<1%	P<1%	P<1%	P<1%	P<1%	P<1%
Ratoon cane								
0	17.20	10.60	15.50	12.70	81.60	14.90	135.70	94.40
30	17.30	10.80	15.50	12.70	80.60	14.90	135.90	94.60
60	17.50	11.00	15.60	12.80	80.20	15.00	136.20	95.20
90	17.50	10.90	15.80	12.80	81.30	15.10	137.80	96.10
120	17.20	10.80	15.80	12.70	82.90	15.10	137.50	95.80
CV%	2.49	2.50	2.380	2.45	4.79	1.57	1.58	1.50

Moreover, as Assis et al. (2004) studied the response of technological parameters of sugarcane under different irrigation depths and fertilization. They found significant effect ($^{\circ}$ Brix, fiber, Pol%_{sugarcane juice}, and TRS%_{sugarcane}) in plant cane and for ratoon cane, and

irrigation had no significant effect on all traits, which agrees with the results of this study. Dalri and Cruz (2008) investigated subsurface drip irrigation on sugarcane yield and quality, demonstrating that irrigation did not affect the technological traits in plant cane, disagreeing with the results obtained in this work. Simões et al. (2015) evaluated different irrigation systems and reported that there was no influence on the technological quality of sugarcane. Neto et al. (2006) studied the response of first ratoon sugarcane to irrigation levels and topdressing. They affirmed that only the variable $\text{Pol}_{\% \text{sugarcane juice}}$ responded significantly to the irrigation system. Conversely, Simões et al. (2015) and Neto et al. (2006) found different results.

Fibers in the plant cane cycle were lower (10%) and for ratoon cane they were within recommended. Fernandes (2003) and Oliveira et al. (2009) reported mean values among 10.5 and 12.5%, which are recommended for energetic maintenance of sugarcane processing industries. In addition, Barbosa et al. (2007), regarding the ideal amount of fiber, asserted that it has to be between 12 and 13%. For ethanol production, the lower fiber content benefits the process of sugarcane juice extraction and the increase in fiber content hinders the extraction process. Moreover, greater fiber content can assist sugarcane lodging resistance.

Apparent sucrose ($\text{Pol}_{\% \text{sugarcane juice}}$ and $\text{Pol}_{\% \text{sugarcane}}$) had the same °brix behavior, which are correlated. Under irrigated condition, $\text{Pol}_{\% \text{sugarcane juice}}$ and $\text{Pol}_{\% \text{sugarcane}}$ had the greatest values compared to rainfed condition and probably irrigation contributed increasing these parameters. According to CONSECANA (1998), the sucrose content values above 12.26% correspond to a sugarcane-standard. In terms of quality, Ripoli and Ripoli (2004) found that sugarcane with values greater than 14% would be able to be industrialized. Moreover, sugarcane will be considered mature when presenting $\text{Pol}_{\% \text{sugarcane}}$ ranging from 14.4 to 15.3% (Fernandes 2000).

Treatments under irrigation demonstrated the highest purity values. The raw materials quality standards designed by CONSECANA (2006) establish that the industrial plants could only refuse shipments with purity below 75%. Franco (2003) and Fernandes (2003) reported that the state of São Paulo has a minimum purity reference of 80% at the beginning and 85% in the course of the harvest season in order to recommend sugarcane industrialization.

The study of sugar contents in sugarcane is important because lower values of total reducing sugars ($\text{TRS}_{\% \text{sugarcane}}$) indicate lower industrial yield in production of sugar or alcohol. Moreover, recoverable total sugar (RTS) is the most important variable for both industry and producers, as industrial units determine the price to be paid to the producers

based on RTS, following a methodology described by CONSECANA (2006). Thus, the results of larger RTS values imply in greater crop economic profitability.

The ethanol amounts found in this study were similar to those reported by Oliveira et al. (2012), with values of 90.20 and 115.09 L (maximum and minimum). Neto et al. (2006), studying different irrigation depths and fertilizer levels, had gross yield of alcohol with an average of $6.25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ at the minimum fertilization of 86 kg ha^{-1} of N, and $8.91 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ at maximum N fertilization of 305 kg ha^{-1} . Increasing alcohol productivity due to nitrogen application was also observed by Carvalho et al. (2009), who found that the application of 112 kg ha^{-1} of nitrogen provided the greatest yield ($9.80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ of alcohol).

Results found in this research, regarding irrigated and rainfed sugarcane, are similar to those reported by: Moura et al. (2005), Farias et al. (2009), Deon et al. (2010), Oliveira et al. (2012), Oliveira et al. (2014a, 2014b), Silva et al. (2014), and Simões et al. (2015), observing significant positive correlation among irrigation depth and the variables that define the quality of the sugarcane raw material. Dalri et al. (2008) reported that the irrigation factor did not presented significant effect for all traits studied in plant cane. Dalri and Cruz (2008) researched ratoon cane and second ratoon cane and they found that there were no statistical differences between the irrigated treatment and the control treatment. In fact, these authors observed that there were no treatment effects on the sugarcane technological quality in both cycles. Farias et al. (2009) found that only the fiber was negative. Deon et al. (2010) investigated the second ratoon cane and observed that technological variables were not altered by irrigation. According to Oliveira et al. (2011a, 2011b), there was difference only for °Brix, Pol%_{sugarcane juice}, and fiber, with reduction only in the fiber content among the hydric regimes. Correia et al. (2014) observed that for the irrigation factor, there was significant difference in Pol%_{sugarcane juice} and purity.

5.5 CONCLUSIONS

The sugarcane grown in rainfed and irrigated with 60% ET_c had economic viability with financial return in the year of implementation and 4 years and 4 months, respectively.

The difference in the cost of production and the net profit of sugarcane grown in rainfed and 60% ET_c, was 53.94% and 52.20%, respectively.

In the crop cycles, the irrigation promoted an increase in technological parameters for the production of ethanol compared to rainfed sugarcane. RTS received the largest increase in treatment 90% of ET_c with a difference of 4.25% and 1.52% for the plant and ratoon cane,

respectively. The smallest increases were observed for purity and $Pol_{\%sugarcane}$ in treatment 60% of ETc, with 0.52% and 0.78% in the plant and ratoon sugarcane, respectively.

Regarding irrigation, in plant cane, the only variable that showed no statistically significant difference was the fiber and, in ratoon cane, the technological parameters showed no statistically significant difference.

5.6 CONFLICT OF INTEREST

The authors have not declared any conflict of interest.

5.7 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Polytechnic School of the Federal University of Santa Maria for the support.

REFERENCES

- Abreu ML, Silva MA, Teodoro I, Holanda LA, Sampaio Neto GD (2013). Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *Bragantia*, 72(3):262-270.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO- Irrigation and Drainage Paper 56, Rome:FAO, 323p.
- Amorim FAM, Amorim JN, Britto WSF (2007). Custos de irrigação na cana-de-açúcar: Um estudo realizado com os diversos sistemas de irrigação em Juazeiro-BA. XIV Congresso Brasileiro de Custos, João Pessoa, Paraíba, 05 a 07 de dezembro de 2007.
- Assis PCO, Lacerda RD, Azevedo HM, Neto JD, Farias CHA (2004). Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. *Rev. Biol. Ciênc. da Terra*. 4(2).
- Barbosa MHP, Silveira LCI, Macêdo GAR, Paes JMV (2007). Variedades melhoradas de cana-de-açúcar para Minas Gerais. *Informe Agropecuário*. 28(239):20-24.
- Boas RCV, Pereira GM, Reis RP, Lima Junior JA, Consoni R (2011). Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. *Ciência e Agrotecnologia*. 35(4):781-788.
- Carvalho CM, Azevedo HM, Neto JD, Farias CHA, Silva CTS, Gomes Filho RR (2009). Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. *Rev. Bras. Ciênc. Agrárias*. 4(1):72-77.

- Castilho CPG (2000). Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum ssp.*). 274 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campinas, Campinas, São Paulo.
- Cintra JEV, Ferreira GH, Brasil RPC (2008). Viabilidade da irrigação suplementar na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar (*saccharum ssp.*) em regiões com déficit hídrico. Rev. Científ. Fundação Educacional de Ituverava. Nucleus, Edição Especial.
- Colussi J (2011) Etanol no mesmo valor da gasolina. Jornal Zero Hora, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Caderno Economia, 22 de março de 2011, p.20.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2014). Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, terceiro levantamento, Safra 2014/2015, Dezembro/2014. Brasília. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>
- CONSECANA (1998). Regulamento dos Negócios de Compra e Venda de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo: Manual de instruções. Apostila, Piracicaba, São Paulo, 16p.
- CONSECANA (2006). Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de instruções. 5 Ed., Piracicaba, São Paulo, 2006, 112p.
- Correia CBG, Azevedo HM, Neto JD, Carvalho CM, Silva LL, Feitosa SO (2014). Cana-de-açúcar: parâmetros tecnológicos em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura, Rev. Bras. de Agric. Irrigada. 8(1):26-37.
- Costa CTS (2012). Crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis-SP. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, São Paulo.
- Dalri AB, Cruz RL (2008). Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. Rev. Eng. Agríc. 28(3):516-524.
- Dalri AB, Cruz RL, Garcia CJB, Duenhas LH (2008). Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. Irriga. 13(1):1-11.
- Demétrio VA (1978). Efeito da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) 98 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.
- Deon MD, Gomes TM, Melfi AJ, Montes CR, Silva E (2010). Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 45(10):1149-1156.
- Dias FLF, Mazza JA, Matsuoka S, Perecin D, Maule RF (1999). Produtividade da cana-de-açúcar em relação ao clima e solos da Região Noroeste do Estado de São Paulo. Rev. Bras. Ciência do Solo. 23(3):627-634.

- Farias CHA (2006). Otimização do uso da água e do zinco na cana-de-açúcar em Tabuleiro Costeiro Paraibano. 142 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Curso de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.
- Farias CHA, Fernandes PD, Azevedo HM, Neto JD (2008a). Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*. 12(4):356-362.
- Farias CHA, Fernandes PD, Neto JD, Gheyi HR (2008b). Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no Litoral Paraibano. *Rev. Eng. Agríc.* 28(3):494-506.
- Farias CHA, Fernandes PD, Gheyi HR, Neto JD (2009). Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro Paraibano. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*. 13(4):419-428.
- Fernandes AC (2000). Cálculos na Agroindústria da cana de açúcar. Piracicaba: STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, São Paulo, 193p.
- Fernandes AC (2003). Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. 2 Ed. Piracicaba: STAB, São Paulo, 240p.
- Franco A (2003). Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto e vinhaça: nitrogênio no sistema solo-planta, produtividade e características tecnológicas. 90 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.
- Frizzone JA (1993). Funções de resposta das culturas à irrigação. Piracicaba: EDUSP, São Paulo, 42p. (Série Didática, 006).
- Gava GJC, Silva MA, Silva RC, Jeronimo EM, Cruz JCS, Kölln OT (2011). Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*. 15(3):250-255.
- Martins CAS, Reis EF, Nogueira NO (2011). Análise do desempenho da irrigação por microspray na cultura do café conilon. *Enciclopédia Biosfera*. 7(12):01-13.
- Matioli CS (1998). Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Sccharum ssp*) ciclo cana soca: um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.
- Melo CO, Esperancini MST (2012). Análise econômica da eficiência da produção de cana-de-açúcar de fornecedores do Estado do Paraná. *Rev. Energia na Agricultura*. 27(3):48-60.
- Miranda JR (2008). História da cana-de-açúcar = History of sugarcane. Editora Komedi, Campinas, São Paulo, 168p.
- Moura MVPS, Farias CHA, Azevedo CAV, Neto JD, Azevedo HM, Pordeus RV (2005). Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. *Ciência e Agrotecnologia*. 29(4):753-760.

- Negrão LCP, Urban MLP (2005). Álcool como “commodity” Internacional. *Economia & Energia*, (47) 8 p. Disponível em: [http:// ecen.com/eee47/eee47p/alcool_commodity.htm](http://ecen.com/eee47/eee47p/alcool_commodity.htm), acesso em 23 de abril de 2016.
- Neto JD, Figueredo JLC, Farias CHA, Azevedo HM, Azevedo CAV (2006). Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*. 10(2):283-288.
- Oliveira EL, Andrade LAB, Faria MA, Evangelista AWP, Moraes AR (2009). Uso da vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. *Pesq. Agropec. Brasileira*. 44(11):1398-1403.
- Oliveira ECA, Freire FJ, Oliveira AC, Simões Neto DE, Rocha AT, Carvalho LA (2011a). Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. *Pesq. Agropec. Brasileira*. 46(6):617-625.
- Oliveira FM, Aspiazú I, Kondo MK, Borges ID, Pegoraro RF, Aguilar PB (2011b). Acúmulo de Açúcares em Variedades de Cana Influenciadas por Diferentes supressões de Irrigação e Adubação, *Rev. Agroambiental*. 3(2):47-55.
- Oliveira FM, Aspiazú I, Kondo MK, Borges ID, Pegoraro RF, Vianna EJ (2012). Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação, *Rev. Ceres*. 59(6):832-840.
- Oliveira FM, Aguilar PB, Teixeira MFF, Aspiazú I, Monção FP, Antunes APS (2014a). Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação, *Ciências Agrárias*. 35(3):1587-1606.
- Oliveira RC, Cunha FN, Silva NF, Teixeira MB, Soares FAL, Megguer CA (2014b). Productivity of fertirrigated sugarcane in subsurface drip irrigation system. *African Journal of Agricultural Research*. 9(11):993-1000.
- Padrón RAR, Ramírez LR, Cerquera RR, Nogueira HMCM, Mujica JLU (2015a). Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. *Tecnol. Ciênc. Agropecuária*. 9(2):49-55.
- Padrón RAR, Nogueira HMCM, Cerquera RR, Albino GD, Nogueira CU (2015b). Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. *Acta Iguazu*. 4(1):36-47.
- Parkes M, Yao WW, Ma XY, Li J (2010). Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. *Irrigation Science*, Córdoba. 29:331-339.
- Pereira GGS, Albrecht AJP, Fausto DA, Migliavacca RA (2015). Custo de produção de cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul. *Rev. Ipecege*. 1(1):81-102.
- Prestes F (2013). Potência em biodiesel, Rio Grande do Sul quer aumentar a produção de etanol. 4/12/2013. Disponível em: www.sul21.com.br/.../potencia-em-biodiesel-rs-quer-aumentar-a-produc... Acesso em: 01 out. 2014.
- Ripoli TCC, Ripoli MLC (2004). Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Barros & Marques Ed. Eletrônica. Piracicaba, São Paulo, 302p.

- Rolim GS, Camargo MBP, Lania DG, Moraes JFL (2007). Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o Estado de São Paulo. *Bragantia*. 66(4):711-720.
- Silva TGF, Moura MSB, Zolnier S, Soares JM, Souza LSB, Brandão EO (2011). Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*. 15(2):139-147.
- Silva TGF, Moura MSB, Zolnier S, Soares JM, Vieira VJS, Júnior WGF (2012). Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*. 16(1):64-71.
- Silva MA, Arantes MT, Rhein AFL, Gava GJC, Kolln OT (2014). Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. *Rev. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental*. 18(3):241-249.
- Simões WL, Calgaro M, Coelho DS, Souza MA, Lima JA (2015). Respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação, *Rev. Ciência Agronômica*. 46(1):11-20.
- Stupiello JP, Fernandes AC (1984). Qualidade da matéria-prima proveniente das colhedoras de cana picada e seus efeitos na fabricação de álcool e açúcar. Piracicaba: STAB. 2(4):45-49.
- Teodoro I, Souza JL, Barbosa GV, Moura Filho G, Neto JD, Abreu ML (2009). Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil: STAB. 27(4):46-49.
- Teodoro I, Neto JD, Souza JL, Lyra GB, Brito KS, Sá LA, Santos MAL, Sarmiento PLVS (2013). Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. *Irriga*. 18(3):387-401.
- Teodoro I, Neto JD, Holanda LA, Sampaio Neto GD, Souza JL, Barbosa GVS, Lyra GB (2015). Weather variables, water balance, growth, and agro industrial yield of sugarcane. *Rev. Eng. Agríc.* 35(1):76-88.
- USDA - United States Department of Agriculture (1999). Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Second Edition. By Soil Survey Staff. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook. Natural Resources Conservation Service, Number 436.
- Vieira GHS, Mantovani EC, Sedyama GC, Delazari FT (2014). Produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. *Biosc. J.* 30(3):55-64.

6 DISCUSSÃO

O ciclo da cultura da cana-de-açúcar na safra 2013-2014 e 2014-2015 foram de 237 e 323 dias, respectivamente, com diferença de 86 dias. Na cana planta foi necessário 17 dias de irrigação, onde a lâmina total máxima aplicada em todo o ciclo foi 506,40 mm no tratamento 120% da ETc, enquanto que na cana soca foi necessário 24 dias de irrigação, onde a lâmina total máxima aplicada em todo o ciclo foi 503,00 mm, também no tratamento 120% da ETc. Em cada ciclo, um mês antes de cada colheita foi suspenso os tratamentos de irrigação para aumentar a concentração de sacarose nos colmos, pois o teor de açúcar costuma ser afetado adversamente pelo excesso de umidade no estágio de maturação (ROBERTSON et al., 1999; INMAN-BAMBER, 2004). A precipitação efetiva foi de 1.362,60 mm e 1.508,80 mm, na safra 2013-2014 e 2014-2015, respectivamente.

A evapotranspiração, a precipitação efetiva e os dias de irrigação foram maiores no segundo ciclo, com diferença aproximadamente de 312 mm, 146 mm e 7 dias, respectivamente. Essas diferenças foram influenciadas pelo ciclo da cultura e as lâminas de irrigação aplicadas foram similares, podendo-se afirmar que estes fatores foram influenciados pelas condições climáticas da região e pelos anos agrícolas com precipitação acima da média histórica. No ciclo de 2013-2014 e 2014-2015, as temperaturas variaram de -0,6°C a 40°C e 0,1°C a 37,20°C, respectivamente, mostrando maior variação no primeiro ciclo. Para 2013-2014, a precipitação máxima ocorreu nos meses de novembro e junho e a mínima em dezembro, já em 2014-2015, a máxima foi em dezembro e a mínima em novembro. Também, no primeiro ciclo, o único mês que apresentou precipitação abaixo da média histórica foi dezembro, enquanto que nos meses de novembro, maio, junho e julho foram maiores e os demais meses dentro da média histórica. Para o segundo ciclo, os meses de agosto, novembro e fevereiro foram menores, abril, maio e junho dentro da média e os demais meses acima da média histórica.

Dalri e Cruz (2008), no estudo sobre a produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial em Botucatu-SP, reportaram que para o ciclo de crescimento da cultura na cana soca foram necessárias 26 irrigações, com lâmina de 520 mm, com frequência média entre as irrigações para esse ciclo de 13,10 dias e, na ressoca foram necessárias 37 irrigações, com lâmina de 740 mm, com frequência média entre as irrigações de 9,6 dias.

Os resultados obtidos foram semelhantes à Nogueira et al. (2016), que determinaram a demanda hídrica da cana-de-açúcar em série histórica de 20 anos, sob lâminas de irrigação

suplementar, na localidade de Santa Maria-RS, reportando lâmina média de 645 mm e evapotranspiração média de 1.310,75 mm.

Diversos estudos reportaram valores semelhantes na demanda hídrica da cana-de-açúcar: Neto et al. (2006) encontraram a lâmina de irrigação total de 1.164 mm, em Capim-PB; Almeida et al. (2008), de 1.584 mm, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas; Alves et al. (2008), de 1.105,70 mm, em Ituiutuba-MG; Gava et al. (2011), para a cana planta 1.095 mm e para cana soca 1.121 mm, em Jaú-SP e Silva et al. (2011), de 1.710 mm durante todo o ciclo de produção, no município de Juazeiro-BA.

No crescimento e no desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, as variáveis (perfilhamento, altura de plantas, diâmetros, área foliar, massa total, massa da matéria seca e o rendimento) não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, mas apresentaram interação entre os anos de estudo. Em relação aos parâmetros tecnológicos avaliados para a produção de etanol (°brix, Fibra, Pol%caldo, Pol%cana, Pureza, ART%cana, ATR e Etanol), a irrigação influenciou na cana planta, pois a única variável que não apresentou diferença estatisticamente significativa no nível de 1% foi a fibra e, na cana soca, os parâmetros tecnológicos, também não apresentaram diferença estatística significativa.

Possivelmente, não ocorreu nenhuma diferença estatística significativa para a cana soca porque ocorreu homogeneidade em todo o canavial e, o teor de fibra na cana planta não foi significativo porque apresentou 10% em todos os tratamentos e, para a cana soca variou de 10,60% a 11%. A irrigação nesta pesquisa não influenciou a porcentagem do teor de fibra. Segundo Fernandes (2000), o teor de fibra é característica varietal, mas pode ser influenciado por diversos fatores, como clima, solo e época de corte.

Outros pesquisadores concordam com os resultados obtidos neste estudo experimental: Assis et al. (2004), estudando a resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação em Capim-PB afirmaram que ocorreu efeito significativo para as características °Brix, Fibra, Pol%caldo e ART%cana na cana planta. Para a cana soca o fator irrigação não apresentou efeito significativo para todas as características estudadas;

Dalri e Cruz (2008) não obtiveram diferenças estatísticas significativas nos parâmetros estudados na cana soca e ressoça, entre o tratamento irrigado e o testemunha; Farias et al. (2009) no estudo da qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro Paraibano, também afirmaram que na cana planta, somente a variável fibra foi negativa em relação à irrigação;

Silva et al. (2014) no estudo do potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos, em Jaú-SP, também encontraram diferenças no desempenho entre os parâmetros tecnológicos avaliados só na cana planta e em relação aos tratamentos aplicados, em ambas ciclos, as variáveis mostraram os maiores valores nos tratamentos sob irrigação.

Diferem dos resultados encontrados neste estudo: Neto et al. (2006) afirmaram que na cana soca, apenas a variável $Pol_{\%caldo}$ respondeu significativamente ao efeito regime de irrigação; Dalri et al. (2008), no estudo da irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar em Botucatu-SP, afirmaram que na cana planta o fator irrigação não apresentou efeito significativo para todas as características tecnológicas estudadas;

Oliveira et al. (2011a), no município de Carpina-PE, no estudo da produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos e, também Oliveira et al. (2011b) no estudo do acúmulo de açúcares em variedades de cana influenciadas por diferentes supressões de irrigação e adubação em cana planta, em Janaúba-MG, afirmaram que ocorreram diferenças estatísticas significativas apenas para as variáveis $^{\circ}Brix$, $Pol_{\%caldo}$ e fibra, com redução só no teor de fibra entre os regimes hídricos utilizados;

Simões et al. (2015), estudando respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação em três ciclos de cultivo (planta, soca e ressoça), em Petrolina-PE e Juazeiro-BA, afirmaram que não ocorreu influência na qualidade tecnológica da cana.

6.1 DADOS BIOMÉTRICOS DA CULTURA

A irrigação interferiu no número de perfilhos por metro linear, na altura de planta, nos diâmetros, na área foliar, na massa total, na massa da matéria seca, no rendimento e nos parâmetros tecnológicos, mostrando maiores incrementos na cana soca.

O maior número de perfilhos por metro linear foi 28 em cana planta, aos 63 dias após o plantio (DAP) e 24 em cana soca, aos 148 dias após o corte (DAC), no tratamento 120% da ETc e nestas datas o menor número foi no tratamento em sequeiro, com 24 em cana planta e 21 em cana soca. Na última avaliação de cada ciclo, o maior número de perfilhos foi 18 na cana planta, no tratamento 90% da ETc e 14 na cana soca, no tratamento 60% da ETc e, o menor número foi no tratamento 120% da ETc com 16 e 13 na cana planta e soca,

respectivamente. A irrigação no início do ciclo incrementou o número de perfilhos e ao final, o excesso de umidade afetou o desenvolvimento.

Nesse sentido, Carmo et al. (2010) no estudo da análise biométrica da cana-de-açúcar irrigada em relação aos graus-dia acumulados no Submédio do São Francisco reportaram que na primeira fase de desenvolvimento, sob condições irrigadas e elevada disponibilidade de radiação solar, há um intenso perfilhamento no início do ciclo uma vez que há água, luz e espaço para exploração das plantas, também, o número de perfilhos foi maior no início, mas reduziu-se abruptamente até quando a cultura apresentou tendência à estabilização do número de perfilhos, que ocorreu por volta dos 327 DAC.

Oliveira et al. (2014a) estudando as características agrotecnológicas de duas variedades (SP80-1816 e RB85-5453) de cana soca, em três épocas de supressão de irrigação e seis níveis de adubação, em Janaúba-MG, afirmaram que ambas as variedades obtiveram máximo perfilhamento no início do período vegetativo e redução acentuada até a colheita. Essa redução no perfilhamento tem sido atribuída ao aumento da competição pelos fatores de crescimento como água, luz, nutrientes e espaço, levando à morte aqueles perfilhos mais jovens, fracos e mal posicionados.

Aos 150 DAC, a variedade SP80-1816 apresentou o maior número de perfilhos (33,33) por metro linear, no nível de adubação 6 (71 kg ha⁻¹ de N e 166 kg ha⁻¹ de K₂O) e com lâmina aplicada de 1.242 mm, em relação à variedade RB85-5453, que apresentou 23,33 perfilhos, no mesmo nível de adubação e nas lâminas de 918 mm e 1.242 mm. Os menores números de perfilhos encontrados nesse estudo foram na lâmina de 1.539 mm, com 15,66 e 10 perfilhos, no nível de adubação 1 (0 kg ha⁻¹ de N e K₂O) e 2 (14 kg ha⁻¹ de N e 33 kg ha⁻¹ de K₂O), na variedade SP80-1816 e RB85-5453, respectivamente. E somente nos níveis de adubação 1 e 5 (57 kg ha⁻¹ de N e 133 kg ha⁻¹ de K₂O) com 1.539 mm e 918 mm, respectivamente, não ocorreu diferença significativa (OLIVEIRA et al., 2014a).

A altura média máxima do colmo da planta foi de 2,05 m e 2,70 m na cana planta e soca, respectivamente, no tratamento 90% da ETc, ao final dos ciclos. A diferença entre a altura máxima e a mínima foi de 3% para a cana planta e 5% para a cana soca, mostraram incremento de 24,10% em relação às duas safras, essa diferença pode ser influência pelo ciclo da cultura, pois a cana soca teve 86 dias a mais.

Neto et al. (2006) obtiveram resultados similares, reportando altura média de plantas de 227 cm e 196 cm para cana soca, com diferentes doses de adubação. Moura et al. (2005) estudando diferentes níveis de irrigação na cana soca, constataram que o regime irrigado proporcionou aumento de 25% no crescimento da planta em relação ao regime sem irrigação,

obtendo valores de 2,34 m e 1,87 m, respectivamente. Oliveira et al. (2011b) reportaram que a variável altura de plantas não mostrou diferença estatística significativa, obtendo média geral de 3,083 m e Carmo et al. (2010) encontraram estatura média dos colmos de 359,10 cm.

Silva et al. (2008) analisando o crescimento em cultivo de cana planta, em Weslaco-Texas, observaram valores médio de 280,70 cm, enquanto, que para a mesma variedade, Farias et al. (2008a) estudando a cana em sistema irrigado e sequeiro, em Capim-PB, reportaram que o crescimento da planta foi estabilizado em condição de irrigação aos 193,85 dias do ciclo do cultivo, com 152,80 cm e em sequeiro aos 236,20 dias, com 148,19 cm. Souza et al. (2015), no estudo do crescimento da cana-de-açúcar submetido a diferentes lâminas de irrigação e adubação com zinco, em Capim-PB, afirmaram que o aumento da lâmina da água de irrigação a 100% da ETc proporcionaram maiores alturas das plantas, comparado aos tratamentos de sequeiro, obtendo alturas de 2,66 m e 1,99 m, na lâmina total aplicada de 1.177,33 mm e 568 mm, respectivamente.

Os maiores diâmetros na cana planta foram de 25,73 mm na base do colmo, no tratamento 120% da ETc e, o da ponta foi de 16,55 mm, no tratamento 90% da ETc, aos 228 DAP. Na cana soca, os maiores diâmetros foram de 27,04 mm na base do colmo, no tratamento 120% da ETc, aos 240 DAC e, o da ponta foi de 16,51 mm, no tratamento 90% da ETc, aos 277 DAC. Na última avaliação o maior diâmetro da base foi de 25,87 mm e o da ponta de 15,17 mm, ambos no tratamento 90% da ETc, aos 309 DAC.

De acordo com Cesnik e Miodque (2004), todos os diâmetros dos colmos podem ser considerados médios entre 2 e 3 cm, mostrando que essa variável é pouco influenciada pelo meio, constituindo-se numa característica intrínseca de cada cultivar, com a sua taxa de crescimento aumentando até atingir o seu máximo, sendo que, em seguida, há diminuição progressiva até o ciclo vegetativo se completar.

Os valores dos diâmetros encontrados neste trabalho foram semelhantes aos autores: Azevedo (2002), no estudo da cana planta, variedade SP79-1011, em Capim-PB, obteve resultados com valores de diâmetro médio de 23,45 mm; Moura (2003) pesquisando a mesma variedade (soca) na mesma parcela constatou que o diâmetro com regime de irrigação foi de 23,90 mm e, sem irrigação de 20,80 mm e constataram que os valores médios dos diâmetros foram próximos aos de Silva (2002), estudando diferentes níveis de adubação na cana planta (SP71-6949), no mesmo local, obteve valor máximo e mínimo para o diâmetro de 24,50 mm e 22,20 mm, em 458 kg e 85 kg de adubação de cobertura, respectivamente.

Também Neto et al. (2006) e Oliveira et al. (2014a) afirmaram que os diâmetros não apresentaram diferença estatística significativa: Neto et al. (2006) encontraram o maior

diâmetro da base de 25,67 mm, na lâmina de 1.164 mm e com adubação de 305 kg ha⁻¹ e, o menor foi de 19 mm, com 807 mm e adubação de 85 kg ha⁻¹; Oliveira et al. (2014a) afirmaram que a variedade SP80-1816 apresentou valor máximo de 31,45 mm no nível de adubação 1 (0 kg ha⁻¹ de nitrogênio e K₂O) com 1.242 mm e, o valor mínimo de 29,21 mm, também no nível 1 e 918 mm. Na variedade RB85-5453, o valor máximo foi 29,36 mm, no nível de adubação 1 e 1.539 mm e, o mínimo de 26,89 mm, no nível de adubação 4 (43 kg ha⁻¹ de nitrogênio e 100 kg ha⁻¹ de K₂O) com 918 mm e 1.539 mm, aos 150 DAC.

Enquanto que Moura et al. (2005) e Silva et al. (2009) em ambos estudos, no município de Capim-PB, sobre doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, com e sem irrigação, soca e planta, respectivamente, afirmaram que os diâmetros dos colmos diferiram estatisticamente entre si: Para Moura et al. (2005), o regime irrigado possibilitou aumento de 13% no diâmetro quando comparado à ausência de irrigação. A média dos valores dos diâmetros foi de 23,91 mm no irrigado e 20,80 mm sem irrigação. O maior foi 25,27 mm com irrigação e 305 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura e, o menor de 19,03 mm sem irrigação e 85 kg ha⁻¹ de adubação de cobertura; Silva et al. (2009) encontraram os diâmetros de 23,80 mm sem irrigação e 22,10 mm com irrigação. O diâmetro médio por colmo obtido no experimento foi de 23 mm, o maior e o menor foi de 24,40 mm e 21,60 mm, respectivamente.

O perfilhamento em conjunto com a altura e o diâmetro dos colmos são os componentes para a formação do potencial de produção da cana-de-açúcar e a irrigação capacita às variedades responsivas para melhor manifestarem seu potencial genético (SILVA; CATO; COSTA, 2010).

O maior número de folhas verdes foi 13 em cana planta, aos 160 DAP, no tratamento 90% da ETc e, 12 em cana soca aos 240 DAC, no tratamento 120% da ETc. Na colheita de cada ciclo, o número de folhas verdes mostraram homogeneidade em todos os tratamentos, com valores de 11-12 e 10 em cana planta e soca, respectivamente. Os tratamentos não foram significativamente influenciados em sequeiro e sob irrigação, mostrando decréscimo da cana planta para a soca.

Magro et al. (2011), no estudo da biometria em cana-de-açúcar, em Piracicaba-SP e Silva et al. (2015), no estudo do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial, em Rio Verde-GO, afirmaram que a planta madura de cana-de-açúcar tem o número de folhas verdes por planta, ao redor de dez, dependendo da variedade e condições de crescimento. Pincelli (2010), no estudo sobre tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar

avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas, em Jaú-SP, afirmou que a variável número de folhas verdes é importante, pois por intermédio desta se pode verificar a eficiência fotossintética da planta frente aos estresses propostos, sem deficiência e com deficiência hídrica. Também, Machado et al. (2009) observaram que a deficiência hídrica causa senescência foliar e restrição ao surgimento de novas folhas e, Smit e Singels (2006) afirmaram que o grau dessas alterações é decorrente da intensidade do estresse hídrico e depende do genótipo.

A área foliar foi influenciada nos tratamentos com irrigação nas duas temporadas de estudo, o tratamento 120% da ETc mostrou o maior desenvolvimento e com decréscimo no final do ciclo, enquanto que o tratamento de sequeiro mostrou o menor desenvolvimento com incremento no final do ciclo.

A taxa de crescimento na cana planta foi de $7,5 \text{ dm}^2 \text{ dia}^{-1}$ e na cana soca de $3,6 \text{ dm}^2 \text{ dia}^{-1}$. No desenvolvimento da cultura, entre as duas safras ocorreram decréscimo de 15% e na colheita de 33%, sendo a cana soca a menor. Os maiores valores da área foliar encontrados no estudo foram de $8.541,90 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ e $7.122,90 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, na cana planta e soca, nos tratamentos 90% da ETc (aos 228 DAP) e 120% da ETc (aos 277 DAC), respectivamente.

Possivelmente, a cana planta apresentou maior número de folhas verdes, área foliar e a taxa de crescimento porque o ciclo foi menor em relação à cana soca, devido à antecipação do corte porque ocorreu o tombamento de todo o canavial devido a um forte temporal ocorrido na região. Pois, quando a cana está entrando na fase de maturação, o número de folhas verdes tende a diminuir porque as mais próximas ao solo secam, conseqüentemente irá diminuir a área foliar e a taxa de crescimento, apresentando área foliar e taxa de crescimento quase estável nesta fase.

Silva et al. (2015) reportaram resultados semelhantes, onde também determinaram áreas maiores para o ciclo da cana planta. Machado et al. (2009) constataram que para fins de irrigação, o período de maior suscetibilidade ao déficit hídrico é o de rápido desenvolvimento da cultura, quando as plantas apresentam grande área foliar e necessitam de maior quantidade de água para a realização de troca de gases com a atmosfera (PIRES et al., 2008).

Para Carmo et al. (2010), a área foliar por planta apresentou grande incremento no período de 110 a 220 DAC, quando passou de $1.170 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ para $2.760 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$. A partir desse período, a planta apresentou área foliar quase estável, sem aumento, com total de $3.003 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ até o final do ciclo. É importante conhecer os períodos de ocorrência de máxima área foliar das plantas a fim de se ajustar o manejo da cultura para que haja coincidência com o período de maior disponibilidade de radiação solar e água no solo, tanto

no caso de plantio dependente de chuva como da irrigação, onde são utilizados maiores valores de coeficiente de cultura e, para Souza et al. (2015), a maior área foliar foi obtida no tratamento com 100% da ETc ($AF = 2.461,62 \text{ cm}^2$).

Farias et al. (2008a) afirmaram que a área foliar variou de forma crescente e significativa ao longo do período de cultivo em cana de sequeiro, a área foliar máxima foi de $5.168,04 \text{ dm}^2$, aos 166,68 dias, ou seja, uma taxa de crescimento nesse ponto, de $31,00 \text{ dm}^2 \text{ dia}^{-1}$. A cana cultivada em regime irrigado atingiu o ponto de máxima área foliar ($5.359,65 \text{ dm}^2$) aos 152,63 dias, com taxa de crescimento foliar de $35,11 \text{ dm}^2 \text{ dia}^{-1}$.

Os tratamentos 90% e 60% da ETc apresentaram o maior valor da massa total para a cana planta e soca, respectivamente, comparando esses tratamentos, obteve-se incremento de 20% para a cana soca. A massa seca foi maior nos dois ciclos no tratamento 60% da ETc, com incremento de 25% para a cana soca. A maior massa do colmo na cana planta foi de 0,860 kg no tratamento 90% da ETc e, na cana soca, com 1,251 kg no tratamento 60% da ETc.

Os resultados desse trabalho foram semelhantes a Neto et al. (2006), que concluíram que os parâmetros de crescimento e a qualidade da cana soca foram mais influenciados pela adubação do que pela irrigação e reportaram peso médio de colmo com a maior e a menor dose de adubação aplicada de 1.077,50 g e 918,42 g, respectivamente. Também, Azevedo (2002), em cana planta encontrou peso médio por colmo de 917,00 g e para Silva (2002) o peso médio por colmo foi de 1.384,17 g.

Em relação ao rendimento, na cana planta, a diferença entre o menor e o maior rendimento foi de 10,73% e, na cana soca de 7,11%. A máxima eficiência técnica no rendimento foi de $177,30 \text{ t ha}^{-1}$ e $189,40 \text{ t ha}^{-1}$, com 77,39 e 78,79% da ETc, na cana planta e soca, respectivamente. A diferença entre as duas safras foi de 6,4% no rendimento e de 1,4% da evapotranspiração, obtendo-se leve incremento na segunda temporada pelo ciclo da cultura ser mais longo.

Nogueira et al. (2015) estudaram 11 variedades de cana-de-açúcar na localidade de Santa Maria-RS, em sistema de cultivo de sequeiro e reportaram rendimento mínimo e máximo em cana planta de $27,22 \text{ t ha}^{-1}$ e $66,30 \text{ t ha}^{-1}$ e, em cana soca de $35,31 \text{ t ha}^{-1}$ e $149,22 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. Esta diferença no rendimento pode ter sido influenciada pelo espaçamento entre linhas de 1,4 m e as variedades. Podemos dizer que a pouca variabilidade e o bom desempenho nos rendimentos nos anos de estudo foram influenciados pela distância entre as linhas de plantio e a variedade utilizada.

Em relação à cana irrigada: Dalri et al. (2008) encontraram aumento de 48,57% no rendimento médio comparando os tratamentos irrigados e não irrigado e Júnior et al. (2012),

no estudo sobre níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar, no município de União-PI, reportaram rendimentos em condições irrigadas em comparação ao de sequeiro, com diferença de $49,50 \text{ t ha}^{-1}$, representando 33%;

Gava et al. (2011), no primeiro ciclo reportaram produtividade média de $132,20 \text{ t ha}^{-1}$ para o manejo irrigado e de $106,50 \text{ t ha}^{-1}$ para o manejo de sequeiro. No segundo ciclo de $126,20 \text{ t ha}^{-1}$ e $90,80 \text{ t ha}^{-1}$, para os manejos irrigados e de sequeiro, respectivamente. A produtividade da cana-de-açúcar irrigada teve incremento médio de 20% para a cana planta e 28% para a cana soca;

Carvalho et al. (2014), no estudo da viabilidade econômica da cana soca, sob diferentes lâminas de irrigação no Sudoeste Goiano, reportaram que na lâmina de 75% da ETc ocorreu incremento de 21,34% em relação a lâmina de 50% da ETc, compatível com o aumento da lâmina, o mesmo não observado na lâmina de 100% da ETc, que demonstrou decréscimo de 53,40%;

Vieira et al. (2014), no estudo da produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação, no município de Jaíba-MG, reportaram crescimento no rendimento, à medida que aumentou a lâmina aplicada, encontrando valor máximo de $112,30 \text{ t ha}^{-1}$, com 150% da ETc e total $1.537,20 \text{ mm}$ entre precipitação e irrigação. Rendimentos similares comparando em condição irrigada e em sequeiro foram reportados por: Neto et al. (2006); Dalri e Cruz (2008); Farias et al. (2008b), no estudo sobre a eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no Litoral Paraibano, em Capim-PB e Carvalho et al. (2009), também em Capim-PB, no estudo do rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação.

Neste estudo, o uso eficiente da água e o uso eficiente da água de irrigação decresceram à medida que aumentou a taxa de irrigação. O uso eficiente da água de irrigação foi maior na cana soca devido às condições climáticas e o incremento no rendimento, enquanto que o uso eficiente da água foi menor, conseqüentemente, afetado pelo ciclo da cultura. Em ambas as safras, o uso eficiente da água de irrigação foi semelhante: pela igualdade das lâminas de irrigação aplicada; pela variação das temperaturas e pela evapotranspiração. Nas duas safras, o menor uso eficiente da água foi no tratamento 120% da ETc, sendo semelhante ao tratamento de sequeiro, pois a falta e o excesso de água prejudicaram o desenvolvimento das plantas.

Oliveira et al. (2011a) reportaram incremento na eficiência do uso da água de 69,80% em média no rendimento, comparando o sequeiro e o irrigado, obtendo valores

de 70,10 kg m⁻³ e 140,30 kg m⁻³, respectivamente. Doorembos e Kassam (1994) afirmaram que a cana-de-açúcar sob condições irrigadas nos trópicos e subtropicos secos, em solos com 80% de água disponível, pode apresentar de 5 a 8 kg m⁻³ em rendimento. Farias et al. (2008b) determinaram o uso eficiente da água com o volume total de água aplicado (precipitação + irrigação), reportando que a diferença quanto ao uso eficiente da água, entre a cana irrigada com 100% da ET_c (7,22 kg m⁻³) e a cana em sequeiro (3,99 kg m⁻³) foi de 3,23 kg m⁻³.

6.2 PARÂMETROS TECNOLÓGICOS

Nos ciclos da cultura, a irrigação promoveu incremento nos parâmetros tecnológicos para a produção de etanol. Na cana planta, a maioria dos valores dos maiores parâmetros tecnológicos foram no tratamento 90% da ET_c, com: 18° Brix; 15,30% de Pol_{%caldo}; 13,40% de Pol_{%cana}; 15% de ART_{%cana}; 136,60 kg t⁻¹ de ATR e 93,80 L t⁻¹ de Etanol. A maior Pureza foi 77,40% no tratamento 60% da ET_c e a Fibra foi 10% para todos os tratamentos.

Na cana soca, também os valores dos maiores parâmetros tecnológicos foram no tratamento 90% da ET_c, com: 17,50° Brix; 137,80 kg t⁻¹ de ATR e 96,10 L t⁻¹ de Etanol. O Pol_{%caldo} e o ART_{%cana} obtiveram o mesmo comportamento nos tratamentos 90% e 120% da ET_c, apresentando o maior valor de 15,80% e 15,10%, respectivamente. Também, o Pol_{%cana} apresentou o maior valor de 12,80% nos tratamentos 60% e 90% da ET_c e, a maior Fibra foi 11% no tratamento 60% da ET_c.

Comparando os tratamentos sob irrigação em relação à cana de sequeiro, o parâmetro tecnológico que recebeu o maior incremento foi o ATR, no tratamento 90% da ET_c, com diferença de 4,25% e 1,52%, para a cana planta e soca, respectivamente. Os menores incrementos foram na variável pureza e Pol_{%cana}, no tratamento 60% da ET_c, na ordem de 0,52% e 0,78%, na cana planta e soca, respectivamente.

Os resultados dos parâmetros tecnológicos desse estudo, em relação à cana de sequeiro e sob irrigação, foram similares aos reportados por: Moura et al. (2005); Farias et al. (2009), no estudo sobre a qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro Paraibano, em Capim-PB; Deon et al. (2010), no trabalho sobre a produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto, no município de Piracicaba-SP; Oliveira et al. (2012), na avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação, em Janaúba-MG; Oliveira et al. (2014a), também em Janaúba-MG e Oliveira et al. (2014b), em Rio Verde-GO, no estudo da produtividade da cana fertirrigada em sistema de

irrigação por gotejamento subsuperficial; Silva et al. (2014) e Simões et al. (2015), verificando-se significativa correlação positiva entre a lâmina de água de irrigação e as variáveis que definem a qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar.

Os teores de fibras no ciclo da cana planta foram menores (10%) e para a cana soca dentro dos recomendados. Fernandes (2003) e Oliveira et al. (2009) reportaram valor médio entre 10,50 e 12,50%, recomendados para a manutenção energética das indústrias que processam a cana de açúcar. Também, Barbosa et al. (2007), no que tange à quantidade ideal de fibras, a mesma deve encontrar-se entre 12% a 13%. Para a produção do etanol, o menor teor de fibra beneficia o processo de extração do caldo da cana, porém maior teor de fibra pode auxiliar a resistência da cana ao acamamento.

As sacaroses aparentes ($Pol_{\%caldo}$ e $Pol_{\%cana}$) mostraram o mesmo comportamento do $^{\circ}brix$, as quais são correlacionadas. Sob irrigação, mostraram os maiores valores em comparação com a condição de sequeiro, provavelmente a irrigação contribuiu para o aumento desses parâmetros.

Segundo, o CONSECANA (1998), os valores de teores da sacarose acima de 12,26% corresponderiam a cana padrão. Ripoli e Ripoli (2004) constataram que a cana-de-açúcar que apresentasse valores superiores a 14% seriam aptas à industrialização, em termos de qualidade. Segundo Fernandes (2000), a cana será considerada madura quando apresentar $Pol_{\%cana}$ variando de 14,40% a 15,30%.

Os tratamentos sob irrigação mostraram os maiores valores da pureza. As normas de qualidade da matéria-prima redigidas pelo CONSECANA (2006) estabelecem que as unidades industriais só podem recusar o recebimento de carregamentos com pureza abaixo de 75%. Franco (2003) e Fernandes (2003) citam que no Estado de São Paulo tem-se, como referência, pureza mínima de 80% em início de safra e 85% no transcorrer da safra para que seja recomendada a industrialização da cana.

É importante estudar os teores de açúcares da cana, pois menores valores dos açúcares redutores totais da cana ($ART_{\%cana}$) indicam menor rendimento industrial na produção de açúcar ou álcool. O açúcar total recuperável (ATR) é o principal, tanto para a indústria quanto para os produtores, pois em razão dele é que as unidades industriais determinam o preço pago aos produtores, seguindo a metodologia descrita pelo CONSECANA (2006). Assim, os resultados obtidos de maiores valores de ATR implicam maior rentabilidade econômica da cultura.

Os valores do etanol encontrados neste trabalho foram semelhantes aos registrados por Oliveira et al. (2012), que encontraram valor mínimo de $90,21 \text{ L t}^{-1}$ e máximo de $115,09 \text{ L t}^{-1}$.

Neto et al. (2006) constataram rendimento bruto de álcool com média de $6,25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ na adubação mínima de 85 kg ha^{-1} de cobertura e $8,91 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ na adubação máxima de 305 kg ha^{-1} . O aumento do rendimento em álcool com a aplicação de nitrogênio, também foi observado por Carvalho et al. (2009), os quais verificaram que a aplicação de 112 kg ha^{-1} de nitrogênio proporcionou o maior rendimento de $9,80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de álcool e Oliveira et al. (2014b) relataram que no máximo do pico da curva obtida por 79,70% de água de substituição, apresentaram rendimento médio de álcool bruto de $25,34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Com as condições climáticas da região, comparando a cana de sequeiro e a irrigada, ocorreu incremento nos parâmetros avaliados sob sistema de irrigação. O deficit e o excesso de umidade afetaram o desenvolvimento vegetativo e tecnológico da cana-de-açúcar. Observou-se que o desenho adotado para a implementação do sistema de plantio, dividindo o colmo útil em ponta, meio e base, diminuiu o erro experimental, homogeneizando os blocos e o plantio. Também, a maior germinação e desenvolvimento mostraram-se na parte do colmo ponta na fase inicial e, na fase final do ciclo, o maior desenvolvimento foi na parte do colmo meio, em cana planta e, em cana soca não foi observada essa diferença.

6.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Em relação à análise econômica, na cana planta, em condição de sequeiro, a variável que apresentou o maior custo foi o plantio ($\text{R\$ } 2.030,00 \text{ ha}^{-1}$), com 42,19% do custo total, seguida dos suplementos de 19,27% ($\text{R\$ } 927,00 \text{ ha}^{-1}$), e sob irrigação, a variável que apresentou o maior custo, também foi o plantio, com 30,71% (mesmo valor de sequeiro), seguida dos serviços com 29,95% ($\text{R\$ } 1.980,00 \text{ ha}^{-1}$). O custo total foi de $\text{R\$ } 4.811,00 \text{ ha}^{-1}$ e $\text{R\$ } 6.611,00 \text{ ha}^{-1}$ para sequeiro e sob irrigação, respectivamente.

Na cana soca, em sequeiro, a variável que apresentou o maior custo foi os suplementos, com 44,24% ($\text{R\$ } 927,00 \text{ ha}^{-1}$), seguido dos tratos culturais com 30,45% ($\text{R\$ } 638,00 \text{ ha}^{-1}$), e sob irrigação, os serviços e os suplementos foram os que representaram o maior custo, com 40,45% ($\text{R\$ } 1.980,00 \text{ ha}^{-1}$) e 39,37% ($\text{R\$ } 1.927,00 \text{ ha}^{-1}$), respectivamente. O custo total foi de $\text{R\$ } 2.095,00 \text{ ha}^{-1}$ e $\text{R\$ } 4.895,00 \text{ ha}^{-1}$ para sequeiro e sob irrigação, respectivamente.

Na cana planta, em sequeiro e sob irrigação, o custo variável representou 54,40% ($\text{R\$ } 2.617,00 \text{ ha}^{-1}$) e 66,81% ($\text{R\$ } 4.417,00 \text{ ha}^{-1}$) e, o custo fixo de 45,60% ($\text{R\$ } 2.194,00 \text{ ha}^{-1}$) e 33,19% ($\text{R\$ } 2.194,00 \text{ ha}^{-1}$), respectivamente. Na cana soca, em sequeiro, o custo variável e o custo fixo representaram 92,84% ($\text{R\$ } 1.945,00 \text{ ha}^{-1}$) e 7,16% ($\text{R\$ } 150,00 \text{ ha}^{-1}$) e, sob irrigação,

de 75,49% (R\$ 3.695,00 ha⁻¹) e 24,51% (R\$ 1.200,00 ha⁻¹), respectivamente. A diferença do custo de produção da cana planta em sequeiro e sob irrigação foi de 27,23% e em cana soca de 57,20%. Além desses custos, para a cana irrigada foi feito um investimento de R\$ 10.000,00, considerando o sistema de irrigação por gotejamento.

Em relação aos 5 anos, os maiores lucros brutos foram nos tratamentos sob irrigação, sendo o maior no tratamento 60% da ETc (R\$ 51.584,50 ha⁻¹), com acréscimo em relação ao sequeiro (R\$ 47.564,00 ha⁻¹) de 7,79%. Também, os maiores custos totais foram nos tratamentos sob irrigação, no tratamento 120% da ETc (R\$ 39.135,59 ha⁻¹), com diferença de 56,46% em relação ao sequeiro (R\$ 17.039,33 ha⁻¹).

Neste período, o tratamento de sequeiro mostrou o maior lucro líquido (R\$ 30.524,67 ha⁻¹) e os tratamentos sob irrigação apresentaram diminuição do lucro líquido. Em relação ao sequeiro, o menor lucro líquido foi em 120% da ETc (R\$ 11.200,41 ha⁻¹), com decréscimo de 63,30% e, o menor decréscimo foi em 60% da ETc, com 52,20% (R\$ 14.591,04 ha⁻¹) e a mínima eficiência técnica foi em 90,04% da ETc.

Na condição de sequeiro, como não ocorreu à necessidade da realização de investimento inicial, não foi possível determinar a TIR, pois todos os fluxos ao longo dos cinco anos de análise foram positivos, então foi realizado o cálculo da taxa de retorno dentro de cada ano, determinando-se a taxa cumulativa do período de cinco anos e sua equivalente anual, que foi de 288,73%.

Nos tratamentos sob irrigação, o único tratamento que apresentou os indicadores financeiros favoráveis (VPL= R\$ 402,76; TIR= 16,12%; B/C= 1,04; PB= 2,74 anos e PBD= 4,34 anos) foi o de 60% da ETc, com os *Paybacks* dando retorno financeiro antes do término do período analisado, restando cobrir o investimento inicial de R\$ 10.000,00.

Um fato interessante é que no primeiro ano de cultivo, o ponto de equilíbrio do tratamento de sequeiro coincidiu com a média da produtividade do Estado, que é 55 t ha⁻¹, aproximadamente.

Os resultados apresentaram viabilidade financeira no tratamento de sequeiro e, sob irrigação, o único tratamento que apresentou viabilidade foi com 60% da ETc. A diferença do custo de produção da cana-de-açúcar cultivada em sequeiro com 60% da ETc foi de 53,94% e, a diferença do lucro líquido em sequeiro e com 60% da ETc foi de 52,20%, com retorno financeiro no ano de implantação e com 4 anos e 4 meses, respectivamente. Porém, necessitam-se estudos com a maior quantidade de área plantada, maior número de ciclos de produção, diferentes genótipos, diferentes sistemas de irrigação, otimizar os recursos hídricos e maximizar o rendimento dos cultivos para garantir o retorno econômico na agricultura.

Outros pesquisadores encontraram resultados similares: Pereira et al. (2015) estudando o custo de produção de cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul, afirmaram que a atividade canavieira demanda elevado investimento inicial. A tomada de decisão do agricultor, neste caso, está atrelada ao levantamento de informações reais sobre a lucratividade. Estes autores concluíram que a viabilidade econômica da implantação da cultura de cana-de-açúcar, se torna inviáveis quando a área do projeto for inferior a 1.700 ha e que o teto máximo deverá ser de R\$ 5.500 ha⁻¹ e R\$ 900 ha⁻¹ para a implantação e manutenção em soqueira, respectivamente;

Costa (2012), no estudo sobre o crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis-SP, trabalhando com as variedades RB85-5453 e RB96-5902, concluiu que a única situação que apresentou resultado positivo foi de R\$ 210,23 ha⁻¹. Apresentando incremento de 24,45 t ha⁻¹, com a lâmina de máxima eficiência econômica de 1.024,53 mm (75% da ETc) para a variedade RB85-5453, com produtividade de 182,15 t ha⁻¹;

Farias (2006), no estudo sobre otimização do uso da água e do zinco na cana-de-açúcar em Tabuleiro Costeiro Paraibano afirmou que: no tratamento de 25% da ETc resultou lucro líquido bruto negativo (prejuízo) de R\$ 9,64 t⁻¹; com 50% e 75% da ETc gerou lucro líquido bruto médio de R\$ 4,92 t⁻¹ e, com 100% da ETc combinada com a aplicação de 2,39 kg ha⁻¹ de zinco, conferiu lucro líquido bruto de R\$ 19,60 t⁻¹;

Cintra, Ferreira e Brasil (2008) afirmaram que diversos autores concluíram que uma irrigação suplementar na fase inicial do desenvolvimento da cana-de-açúcar é crucial para o aumento da produtividade, principalmente na cana soca. Esses autores ressaltam também, a importância de mais pesquisas sobre a responsividade e função de produção de variedades de cana-de-açúcar à irrigação nas diversas localidades produtoras.

Também, os autores do estudo sobre os custos de irrigação na cana-de-açúcar realizado com diversos sistemas de irrigação em Juazeiro-BA, chegaram à conclusão que o melhor sistema de irrigação avaliado pelas variáveis, produção por hectare e custo por hectare, foi o gotejamento, além de que ele tem alta eficiência no aproveitamento de aplicação de água na cultura, sendo em torno de 90 a 95%, porém requer alto investimento inicial e afirmaram que a expansão do agronegócio depende da evolução favorável do cenário brasileiro e mundial e, em especial, das políticas macroeconômicas e comerciais. A reforma das políticas públicas tem como pressuposto o provimento de igualdade de oportunidades para os produtores brasileiros, relativamente a seus concorrentes de países desenvolvidos, em condições isonômicas de competição (AMORIM; AMORIM; BRITTO, 2007).

As pequenas propriedades no Sul do Brasil, ou em outras regiões, com áreas médias totais de 20 a 50 hectares poderão aproveitar 2, 3 ou mais hectares para o plantio da cana-de-açúcar para a produção do próprio combustível, ou em forma de cooperativas ou associações. O cultivo da cana-de-açúcar em pequenas propriedades poderá ser alternativa em complementação e até em substituição à cultura do fumo, por possuírem colheitas em épocas diferentes.

7 CONCLUSÃO

A irrigação interfere no crescimento e no desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, mostrando incrementos no número de perfilhos, na altura de planta, nos diâmetros do colmo, nas massas total e seca, na área foliar e no rendimento. Porém, as variáveis não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos, mas apresentaram interação entre os anos de estudo.

Em relação aos parâmetros tecnológicos avaliados para a produção de etanol, ocorreu incremento nos tratamentos sob irrigação e a irrigação influenciou na cana planta, pois a única variável que não apresentou diferença estatisticamente significativa no nível de 1% foi a fibra e, na cana soca, os parâmetros tecnológicos, também não apresentaram diferença estatística significativa.

A determinação da taxa de evapotranspiração permitiu a realização do manejo de água para a cultura que aumentou o rendimento, garantindo o uso eficiente da água de irrigação e gerou a rentabilidade da cultura. Para obter rendimentos estáveis, a máxima eficiência técnica para o cultivo de cana-de-açúcar em Santa Maria-RS é aplicar 78% da ETc da cultura.

Os maiores custos totais por hectares foram nos tratamentos sob irrigação, no tratamento 120% da ETc (R\$ 39.135,59 ha⁻¹), com diferença de 56,46% em relação ao sequeiro (R\$ 17.039,33 ha⁻¹).

O tratamento de sequeiro mostrou o maior lucro líquido (R\$ 30.524,67 ha⁻¹). Os tratamentos sob irrigação apresentaram menores lucros líquidos, desses tratamentos, o de 60% da ETc foi o que apresentou o maior lucro líquido (R\$ 14.591,04 ha⁻¹).

Irigar com 60% da ETc implica em aumentar o custo de produção da cana-de-açúcar em 53,94% e diminuir o lucro líquido em 52,20% em relação ao tratamento de sequeiro, para os anos agrícolas estudados.

Para a produção de etanol, a cana-de-açúcar cultivada em sequeiro e com 60% da ETc apresentaram viabilidade econômica, com retorno financeiro no ano de implantação e com 4 anos e 4 meses, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ALCALDE, A. M.; POLONI, N. M.; PINHEIRO, G. O. D. S.; HERNANDEZ, F. B. T. **Irrigação na cultura da cana**, 2012. Disponível em: < ftp://ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/irrigacao_cana_2012.pdf >. Acesso em: 25 de out. 2016.
- ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.
- ALFONSI, R. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. **Condições climáticas para a cana-de-açúcar: Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). Campinas, São Paulo, Fundação Cargill, v. 1, p. 42-55, 1987.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Rome: FAO, 1998, 300 p. (FAO- Irrigation and Drainage Paper 56).
- ALMEIDA, A. C. dos S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Minas Gerais, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.
- ALVES, M. J. F.; ANDRADE, S. J. de; MENEZES, E. de P.; ALCÂNTARA, L. M. de Quantificação da demanda hídrica da cana-de-açúcar (variedades RB83-5486; RB86-7515; SP79-1011 e SP81-3250) na região de Ituiutaba-MG. **Revista Intercursos**, Universidade do Estado de Minas Gerais, Ituiutaba, Minas Gerais, v. 7, n. 1, p. 43-48, 2008.
- AMORIM, F. A. M. de; AMORIM, J. N.; BRITTO, W. S. F. Custos de irrigação na cana-de-açúcar: Um estudo realizado com os diversos sistemas de irrigação em Juazeiro-BA. **XIV Congresso Brasileiro de Custos**, João Pessoa, Paraíba, 05 a 07 de dezembro de 2007, 2007.
- AMUDHA, J.; BALASUBRAMANI, G. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop plants. **Biotechnology and Molecular Biology Reviews**, v. 6, n. 2, p. 31-58, 2011.
- ANCIÃES, A. W. F. **Avaliação tecnológica do álcool etílico**. 3. ed., CNPq, Brasília, 1981. 514 p.
- ARBAGE, A. P. **Fundamento de Economia Rural**. Chapecó: Ed. Argos, Santa Catarina, 2012. 307 p.
- ARCENEUX, G. Flowering of sugarcane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., 1965, San Juan, **Anais...**, Amsterdam, Elsevier, v. 12, p. 780-784, 1967.
- ASSIS, P. C. de O.; LACERDA, R. D. de; AZEVEDO, H. M. de; NETO, J. D.; FARIAS, C. H. de A. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, Sergipe, v. 4, n. 2, 2004.

ATLAS SOCIOECONÔMICO RIO GRANDE DO SUL, 2014. Disponível em: < http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho... >. Acesso em: 23 de out. 2014.

AZEVEDO, H. M. de. **Resposta da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos Tabuleiros da Paraíba**. 2002. 112 f. Tese Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, 2002.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. da; MACÊDO, G. A. R.; PAES, J. M. V. Variedades melhoradas de cana-de-açúcar para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, Minas Gerais, v. 28, n. 239, p. 20-24, 2007.

BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídricos em cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*)**. 1981. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1981.

BARTELS, D.; SUNKAR, R. Drought and salt tolerance in plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, Alemanha, v. 24, n. 1, p. 23-58, 2005. Disponível em: < <http://biology.krc.karelia.ru:8080/.../Drought%20and%20Salt%20Toler...> >. Acesso em: 03 set. 2016.

BERNARDO, S. Manejo da irrigação na cana-de-açúcar. **Palestra no XVI CONIRD**. Goiânia, Goiás, 2006. 11p. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3jlwle6b8.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2010.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES); CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE) (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. 1. ed., Rio de Janeiro, 2008. 316 p. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/atividades/redirect.php?idProduto=5126f>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

BOAS, R. C. V.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA JUNIOR, J. A. de; CONSONI, R. Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Minas Gerais, v. 35, n. 4, p. 781-788, 2011.

BRANDÃO, V. dos S; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2006. 120 p.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012. 215 p.

CAPUTO, M. M.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R.; BEAUCLAIR, E. G. F. de O uso de maturadores químicos na cana-de-açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, Campinas, São Paulo, v. 2, n. 2, Jul-Dez 2005, 3 p.

CARMO, J. F. A. do; MOURA, M. S. B. de; SILVA, T. G. F. da; CAMPOS, C. de O.; BRANDÃO, E. O.; SOARES, J. M. **Análise biométrica da cana-de-açúcar irrigada em relação aos graus-dia acumulados no Submédio do São Francisco**. Embrapa Semiárido, Petrolina, Pernambuco, 2010.

CARVALHO, C. M. de; AZEVEDO, H. M. de; NETO, J. D.; FARIAS, C. H. de A.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, v. 4, n. 1, p. 72-77, 2009.

CARVALHO, J. J.; BASTOS, A. V. S.; SOUZA, K. B.; OLIVEIRA, R. C.; FAVARETO, R.; TEIXEIRA, M. B. Viabilidade Econômica da Cana-de-Açúcar, sob Diferentes Lâminas de Irrigação no Sudoeste Goiano. **II INOVAGRI International Meeting**, Fortaleza, Ceará, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a136>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

CASTRO, P. R. C. **Fisiologia vegetal aplicada à cana-de-açúcar**. Maceió, Alagoas, 2001. 7 p.

CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília, PRONI/MA, 1988. 216 p.

CLEMENTS, H. F.; AWADA, M. Experiments on the artificial induction of flowering in sugarcane. **Proc Int Soc Sugar Cane Technol**, v. 12, p. 795-812, 1967.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2004. 307 p.

CINTRA, J. E. V.; FERREIRA, G. H.; BRASIL, R. P. C. do. Viabilidade da irrigação suplementar na fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) em regiões com déficit hídrico. **Revista Científica da Fundação Educacional de Ituverava**, Nucleus, Edição Especial, Ituverava, São Paulo, 2008.

COLUSSI, J. Etanol no mesmo valor da gasolina. **Jornal Zero Hora**, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 22 de março de 2011. Caderno Economia, p. 20. Disponível em: economia@zerohora.com.br

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB. Brasília, 2010. 60 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/custos.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2016

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, terceiro levantamento, Safra 2014/2015, Dezembro/2014. Brasília: CONAB, v. 1, n. 3, 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 02 dez. 2014.

CONSECANA - Regulamento dos Negócios de Compra e Venda de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo: **Manual de instruções**. Apostila, Piracicaba, São Paulo, 1998. 16 p.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed., Piracicaba, São Paulo, 2006, 112 p.

COSTA, C. T. S. **Crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis-SP**. 2012. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Faculdade de Ciências Agrônômicas. Campus de Botucatu, Botucatu, São Paulo, 2012.

CRISPIM, J. E. **Manual de produção de aguardente de qualidade**. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba, Rio Grande do Sul, 2000. 336 p.

CRISPIM, J. E.; VIEIRA, S. A. **Cana-de-açúcar: boa alternativa agrícola e energética para a agricultura nacional**. 2009. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com/trabcana1.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2011.

CRUZ, C. H. B. **Etanol de cana-de-açúcar: quando a sustentabilidade se junta à produtividade**. A pesquisa no etanol de cana. 2010. 3 p. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/5533>>. Acesso em: 03 de abr. de 2011.

DAGNESE, F.; ENDE, M. V.; FERREIRA, G. M. V.; NOGUEIRA, C. U.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; ROSSÉS, G. F. Mapeamento do processo produtivo do etanol de cana-de-açúcar: estudo de caso da microdestilaria do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. **XXVII Jornada Acadêmica Integrada (JAI)**, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012.

DALRI, A. B. **Avaliação da produtividade da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial nos três primeiros ciclos**. 2004. 89 f. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Faculdade de Ciências Agrônômicas. Campus de Botucatu, Botucatu, São Paulo, 2004.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L. Produtividade da cana-de-açúcar fertirrigada com N e K via gotejamento subsuperficial. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 516-524, 2008.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga** (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage), Botucatu, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

DELGADO, A. A.; CESAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Sertãozinho: Zanini, v. 2, São Paulo, 1977. 390 p.

DEMÉTRIO, V. A. **Efeito da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1978. 98 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1978.

DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. da Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, 2010.

DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na região sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DA COPERSUCAR, 1988. **Anais...**, Piracicaba: Copersucar, Piracicaba, São Paulo, p. 33-40, 1988.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. FAO – Food and Agriculture Organization. Irrigation and Drainage Paper 33, Rome, 1979. 193 p.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO. Irrigação e drenagem, 33, 1994. 306 p.

DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, (Irrigation and Drainage paper, 24). 1975. 179 p.

DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage paper, 24).

DRUMOND, L. C. D.; AGUIAR, A. P. A. **Irrigação de pastagem**. Uberaba: LCD Drumond, Minas Gerais, 2005. 210 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed., Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2011. p. 230

ENDE, M. V.; DAGNESE, F.; NOGUEIRA, C. U.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; FERREIRA, G. M. V. Viabilidade econômica de uma microdestilaria para a produção de álcool a partir da cana-de-açúcar: estudo de caso da usina de etanol do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria. **VI Congresso Internacional SIAL**, Florianópolis, Santa Catarina, 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT, Rome, 2008. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/>>. Acesso em: 03 dez. 2015.

FARIAS, C. H. A. **Desenvolvimento morfofisiológico da cana-de-açúcar em regime irrigado e sequeiro na Zona da Mata paraibana**. 2001. 74 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, 2001.

FERNANDES, A. J. **Manual de cana-de-açúcar**. Livroceres. Piracicaba, São Paulo, 1984. 196 p.

FARIAS, C. H. de A. **Otimização do uso da água e do zinco na cana-de-açúcar em Tabuleiro Costeiro Paraibano**. 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Curso de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, 2006.

FARIAS, C. H. de A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; NETO, J. D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008a.

FARIAS, C. H. de A.; FERNANDES, P. D.; NETO, J. D.; GHEYI, H. R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no Litoral Paraibano. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 494-506, 2008b.

FARIAS, C. H. de A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; NETO, J. D. Qualidade industrial de cana-de-açúcar sob irrigação e adubação com zinco, em Tabuleiro Costeiro Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, v. 13, n. 4, p. 419-428, 2009.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana de açúcar**. Piracicaba, STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos, São Paulo, 2000.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: STAB, São Paulo, 2003. 240 p.

FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de Minas Gerais. **Informações Econômicas**. São Paulo, v. 42, n. 1, p. 41-53, jan./fev. 2012, 2012.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agri anual 2002**: Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2002. 536 p.

FRANCO, A. **Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com iodo de esgoto e vinhaça: nitrogênio no sistema solo-planta, produtividade e características tecnológicas**. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, 2003.

FREIRE, W. J. ; CORTEZ, L. C. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Livraria e Editora Agropecuária Ltda. Guaíba, Rio Grande do Sul, 2000. 203 p.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1993. 43 p. (Série Didática, 6).

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24 - 49, 2007.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. EMBRAPA. Brasília, 2005. 626 p.

GAVA, G. J. de C.; SILVA, M. de A.; SILVA, R. C. da; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, v. 15. n. 3, p. 250-255, 2011.

GARG, A. K.; JU-KON, K.; OWENS, T. G.; RANWALA, A. P.; DO CHA, Y.; KOCHIAN, L. V.; WU, R. J. Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. **PNAS**, v. 99, n. 25, p. 15898-15903, 2002.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. Harbra. São Paulo, 1997.

GOMES, M. C. R. **Efeito da irrigação suplementar na produtividade da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes**. 1999. 51 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Rio de Janeiro, 1999.

GOMES, E. P.; JORDAN, R. A.; MOTOMIYA, A. V. de A.; PADUA, J. B.; BISCARO, G. A.; GEISENHOFF, L. O. Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, v. 17, n. 8, p. 835-842, 2013.

GRASSI, C. **Fundamento de riego**. CIDIAT. Mérida, Venezuela, 1998. 392 p.

HARDING, R. J.; HALL, R. L.; SWAMINATH, M. H.; MURTHY, S. K. V. The soil moisture regimes beneath forest and agricultural crop in Southern India-measurements and modeling. In: CALDER, I. R., HALL, R. L.; ADLARD, P. G. (Eds.). **Growth and Water use of Forest Plantations**. Chichester: John Wiley & Sons, 1992. p. 74-99.

HEIDRICH, A. L. **Além do latifúndio: geografia do interesse econômico gaúcho**. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2004. 212 p.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, São Paulo, v. 17, p. 32-34, 1999.

HEYDARI, N. Water productivity in agriculture: challenges in concepts, terms and values. **Irrigation and Drainage**, v. 63, p. 22-28, 2014.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, Austrália, v. 89, p. 107-122, 2004.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, Austrália, v. 92, p. 185-202, 2005.

INSTITUTO CULTURAL PADRE JOSIMO. A agricultura camponesa e as energias renováveis: Um guia técnico. Ed. Padre Josimo, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2008. 230 p.

JÚNIOR, A. S. A.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 76-84, 2012.

LANDELL, M. G. A.; SILVA, M. A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, Piracicaba, São Paulo, v. 1, p. 18-23, 2004.

LEME, E. J. A. **Otimização da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) via coeficientes culturais, função de produção e programação dinâmica**. 1991. 399 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1991.

LEMONS, R. C. de; SANTOS, R. D. dos **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3. ed. Campinas, São Paulo, 1996. 83 p.

LETTINGA, G. Anaerobic treatment for wastewater treatment and energy production, in: **Inter – American Seminar on Biogas**, 11, João Pessoa, 1991.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; CIONE, J. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio, através de funções matemáticas ajustadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. de A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspecto do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YMADA, T. (Coord.). **Ecofisiologia da Produção**, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (FOSFATOS), Piracicaba, São Paulo, p. 113-118, 1987.

MAGRO, F. J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P. E.; TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. LPV0684- Produção de Cana-de-Açúcar. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Piracicaba, São Paulo, 2011. 18 p.

MANOCHIO, C. **Produção de bioetanol de cana-de-açúcar, milho e beterraba: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos**. 2014, 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas, Minas Gerais, 2014.

MALUF, J. R. T.; WESTPHALEN, S. L.; MATZENAUER, R.; MALUF, D. E. Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, visando a produção de açúcar e álcool. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 15., 2007, **Anais...**, Aracaju, Sergipe, 2007.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Decreto nº 6.961, de 17 de setembro de 2009 (safra 2009/2010): Zoneamento de Risco Climático para a Cana, 2009. Disponível em: <<http://www.mapa.gov.br>>. Acesso em: 16 de maio 2012.

MAROUN, M. R. **A Produção integrada de etanol e alimentos por camponeses como uma oportunidade para o desenvolvimento rural sustentável do Rio Grande do Sul**. 2013. 227 f. Tese (Doutorado em Ciências em planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F.; NOGUEIRA, N. O. Análise do desempenho da irrigação por microspray na cultura do café conilon. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, Goiás, v. 7, n. 12, p. 01-13, 2011.

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Sccharum ssp*) ciclo cana soca: um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1998.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; RIBOLDI, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 3, p. 85-92, 1995.

MAULE, R. F.; MAZZA, A. J.; MARTHAR JÚNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, São Paulo, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MELO, F. A. D.; FIGUEIREDO, A. A.; ALVES, M. C. P.; FERREIRA, U. M. Parâmetros tecnológico da cana-de-açúcar em diferentes funções agrícolas da região Norte do Estado do Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAD, 7, 1998. Londrina, **Anais...**, Piracicaba: STAB, São Paulo, p. 198-202, 1999.

MENDONÇA, F. C.; CAMARGO, A. C. de; STIVARI, A.; LIMA, C. R. C.; FERREIRA, F. C.; AKINAGA, L.; COTI, L. B.; GONÇALVES, L. R.; QUINAGLIA NETO, P. **Dimensionamento de sistemas de irrigação para pastagens em propriedades de agricultura familiar**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Pecuária Sudeste. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, São Carlos, São Paulo, dez. 2007. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE/17546/1/Boletim10.pdf>>. Acesso em: 27 de jan. 2016.

MENEGATTI, A. L.; BARROS, A. L. M. Análise comparativa dos custos de produção entre soja transgênica e convencional: um estudo de caso para o Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 1, p. 163-183, 2007.

MENEZES, T. J. B. **Etanol o combustível do Brasil**. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 1980. 233 p.

MICHEL JUNIOR, R. J. S. **Obtenção do álcool etílico hidratado, com graduação alcoólica para uso automotivo: validação de um processo em batelada**. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. McGraw-Hill do Brasil, LTDA, São Paulo, 1978. 276 p.

MIRANDA, J. R. **História da cana-de-açúcar** = Historyofsugarcane. Ed. Komed. Campinas, São Paulo, 2008. 168 p.

MOLDEN, D.; OWEIS, T.; STEDUTO, P.; BINDRABAN, P.; HANJRA, M. A.; KIJNE, J. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. **Agricultural Water Management**, Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, v. 97, n. 4, p. 528-535, 2010.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secretaria da Agricultura. Diretoria de Terras e Colonização. Secção de Geografia. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1961. 43 p

MORRISON, R. R. B. **Química orgânica**. 9. ed., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1990.

MOURA, M. V. P. da S. **Resposta da cana-de-açúcar irrigada, segunda folha, à níveis de adubação nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba**. 2003. 60 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, 2003.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A. da; AZEVEDO, C. A. V. da; NETO, J. D.; AZEVEDO, H. M. de; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Minas Gerais, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

NASCIMENTO, G. B. do; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; SOARES, E. D. R.; SOUZA, M. R. P. F. de Determinação da classe textural de amostras de terra através de planilha eletrônica. **Revista Universitária Rural**, Seropédica, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 27-30, 2003.

NEGRÃO, L. C. P. **Álcool como “commodity” Internacional**. Energia & Comércio, 2005. 8 p. Disponível em: <http://ecen.com/eee47/p/alcool_commodity.htm>. Acesso em: 07 de out. de 2009.

NETO, J. D.; FIGUEIRÊDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A. de; AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, C. A. V. de. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, v. 10, n. 2, p. 283-288, 2006.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; CONSÓLI, M. A. **Mapeamento e Quantificação do Setor Sucroenergético em 2008**. MARKESTRAT/FUNDACE, São Paulo, 2009.

NOGUEIRA, H. M. C. M. **Análise do potencial produtivo da cana-de-açúcar cultivada na região central do Rio Grande do Sul**. 2011. 211 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

NOGUEIRA, H. M. C. M.; NOGUEIRA, C. U.; NOGUEIRA FILHO, H.; MÜLLER, I.; HOFFMANN, R. **A cana-de-açúcar na região central do Rio Grande do Sul**. Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012. 235 p.

NOGUEIRA, H. M. C. M.; NOGUEIRA, C. U.; FANTINEL, A. L.; MÜLLER, I.; HOFFMANN, R.; PADRÓN, R. A. R. Avaliação da produção e resistência à geada de cultivares de cana-de-açúcar. **Revista Espacios**, Caracas, Venezuela, v. 36, n. 24, p. 15, 2015.

NOGUEIRA, H. M. C. M.; PEITER, M. X.; PADRÓN, R. A. R.; KOPP, L. M.; BEN, L. H. B.; VIVAN, G. A.; NOGUEIRA, C. U. Produção e demanda hídrica da cana-de-açúcar sob lâminas de irrigação suplementar. **Revista Espacios**, Caracas, Venezuela, v. 37, n. 7, p. 17, 2016.

OLIVEIRA, R. A. de **Análise de crescimento da cana-de-açúcar, na região noroeste do Paraná**. 2004. 65 f. Tese (Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2004.

OLIVEIRA, E. L. de; ANDRADE, L. A. de B.; FARIA, M. A. de; EVANGELISTA, A.W. P.; MORAIS, A. R. de Uso da vinhaça de alambique e nitrogênio em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 11, p. 1398-1403, 2009.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES NETO, D. E.; 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**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011a.

OLIVEIRA, F. M. de; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; AGUILAR, P. B. de Acúmulo de Açúcares em Variedades de Cana Influenciadas por Diferentes supressões de Irrigação e Adubação, **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, Minas Gerais, v. 3, n. 2, p. 47-55, 2011b.

OLIVEIRA, F. M. de; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, Minas Gerais, v. 59, n. 6, p. 832-840, 2012.

OLIVEIRA, F. M. de; AGUILAR, P. B. de; TEIXEIRA, M. F. F.; ASPIAZÚ, I.; MONÇÃO, F. P.; ANTUNES, A. P. da S. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação, **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, Paraná, v. 35, n. 3, p. 1587-1606, 2014a.

OLIVEIRA, R. C. de; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. da; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; MEGGUER, C. A. Productivity of fertirrigated sugarcane in subsurface drip irrigation system. *African Journal of Agricultural Research*, Nigéria, v. 9, n. 11, p. 993-1000, 2014b.

OMETTO, J. C. **Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 1980. 17 p.

PADRÓN, R. A. R.; RAMÍREZ, L. R.; CERQUERA, R. R.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; MUJICA, J. L. U. Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, Paraíba, v. 9, n. 2, p. 49-55, 2015a.

PADRÓN, R. A. R.; NOGUEIRA, H. M. C. M.; CERQUERA, R. R.; ALBINO, G. D.; NOGUEIRA, C. U. Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação. **Acta Iguazu**, Cascavel, Paraná, v. 4, n. 1, p. 36-47, 2015b.

PARKES, M.; YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, Córdoba, v. 29, p. 331-339, 2010.

PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**. Novel: STAB. São Paulo, 1989.

PEREIRA, P. E.; MASSAU, E. S. **Programa de produção de álcool**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria da Indústria e Comércio, Rio Grande do Sul, 1984.

PEREIRA, G. G. S.; ALBRECHT, A. J. P.; FAUSTO, D. A.; MIGLIAVACCA, R. A. Custo de produção de cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista Ipecege**, Piracicaba, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 81-102, 2015.

PETRY, S. E. D. et. al. Ensino Fundamental 4ª série. **Positivo**. v. 1. Disciplina de Geografia. Ilustração Ademar dos Santos... [et al]. Ed. Positivo. Curitiba, Paraná, 2006.

PINCELLI, R. P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, Botucatu, São Paulo, 2010.

PINTO, A. de S. **Controle de pragas da cana-de-açúcar**. Sertãozinho: Biocontrol, São Paulo, 2006, 64 p. (Boletim Técnico Biocontrol, n. 1).

PIRES, C. E. L. E. S. et al. Estudo preliminar sobre a ocorrência de florescimento em cana-de-açúcar nas regiões canavieiras dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 1984, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: STAB, v. 3, p. 344-346, 1984.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. **Irrigação e Drenagem**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, São Paulo, v. 1, p. 631-670, 2008.

PLANALSUCAR. **Manual de orientação da cultura da cana-de-açúcar**. Instituto do Açúcar e do Alcool, Piracicaba: Coordenaria Regional Sul, Piracicaba, São Paulo, 1986. 56 p.

RASOVSKY, E. M. **Álcool – Destilarias**. Instituto do Açúcar e do Alcool - IAA, Coleção Canavieira, Rio de Janeiro, 12, 1979.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P; COUTO, L. **A cultura do milho irrigado**. Embrapa Milho e Sorgo: Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2003. 317 p.

REVISTA RURAL. Cana gaúcha - Um produto "tri-legal". rev 179 . Jan. 2013. Disponível em: www.revistarural.com.br/Edicoes/2013/Artigos/rev179_cana.html.. Acesso em: 01 out. 2014

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura da soja na safra 2014/2015, em Mato Grosso do Sul. **Comunicado técnico 194**, Julho, 2014, Dourados, Mato Grosso do Sul, 2014. 13 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Barros & Marques Ed. Eletrônica, Piracicaba, São Paulo, 2004. 302 p.

ROBERTSON, M. J.; INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; WOOD, A. W. Physiological analysis of early season deficit and sugarcane productivity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 64, p. 211-227, 1999.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Faculdade de Ciências Agrônômicas. Campus de Botucatu, Botucatu, São Paulo, 1995. 100 p. (Apostila).

RUGERI, A. P. **Identificação do uso e desempenho de genótipos de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul**. 2015. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2015.

SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; VILAS BÔAS, M. A.; OLIVEIRA, L. F. C. de Estudo da precipitação efetiva para o município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, v. 4, n. 2, p. 210-213, 2000.

SANTOS, L. Na rota da cana. **Jornal Correio do Povo**, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Semana de 4 a 10 de outubro de 2009. Caderno do Povo Rural. p. 3-4. Disponível em: <rural@correiodopovo.com.br.>. Acesso em: 15 dez. 2011.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Fundação Cargill, Campinas, São Paulo, v. 1, p. 373-431, 1987.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar, In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (org.) **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, Piracicaba, São Paulo, p. 19-36, 2006.

SENTELHAS, P. C.; FARIA, R. T. de; CHAVES, M. O.; HOOGENBOOM, G. Evaluation of the WGEN and SIMMETEO weather generators for the brazilian tropics and subtropics, using crop simulation models. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 9, n. 2, p. 357-376, 2001.

SEPLAG – Secretaria do Planejamento, Gestão e Participação Cidadã/RS. **Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul**, 2007. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/>>. Acesso em: 1 jul. 2010.

SILVA, E. R.; SILVA, R. R. H. Álcool e Gasolina. Combustíveis do Brasil. **O Universo da Ciência**. 5. ed., Editora Scipione, São Paulo, 1997.

SILVA, A. B. da **Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes níveis de adubação**. 2002. 61 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, 2002.

SILVA, C. T. S. da **Efeito de diferentes níveis de adubação sobre a produção da terceira folha de cana irrigada nos tabuleiros costeiros da Paraíba**. 2003. 81 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, Paraíba, 2003.

SILVA, F. C.; CESAR, M. A. A.; SILVA, C. A. B. Pequenas indústrias rurais de cana-de-açúcar: Melado, rapadura e açúcar mascavo. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, 2003. 155 p. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Pequenasindustriarurais_000ft7j8ao102wyiv80ukm0vf70megy1.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2011.

SILVA, M. A.; SILVA, J. A. G.; ENCISO, J.; SHARMA, V.; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, São Paulo, v. 65, n. 6, p. 620-627, 2008.

SILVA, C. T. S. da; AZEVEDO, H. M. de; AZEVEDO, C. A. V. de; NETO, J. D.; CARVALHO, C. M. de; GOMES FILHO, R. R. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, Ceará, v. 3, n. 1, p. 3–12, 2009.

SILVA, M. de A.; CATO, S. C.; COSTA, A. G. F. Produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar submetida à aplicação de biorregulador e fertilizantes líquidos. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 40, n. 4, p. 774-780, 2010.

SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; SOUZA, L. S. B. de; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, v. 15, n. 2, p. 139-147, 2011.

SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. de S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), Campina Grande, Paraíba, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

SILVA, M. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, v. 18, n. 3, p. 241-249, 2014.

SILVA, N. F. da; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; MOURA, L. C. de. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar submetida a lâminas de irrigação e fertirrigação nitrogenada via gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, Ceará, v. 9, n. 2, p. 79-90, 2015.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; COELHO, D. S.; SOUZA, M. A. de; LIMA, J. A. Respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação, **Revista Ciência Agronômica**, Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, v. 46, n. 1, p. 11-20, 2015.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Cambridge, v. 98, n. 2, p. 91-97, 2006.

SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JUNIOR, W. F. G.; FILHO, A. A. A. Agrovale: Uma experiência de 25 anos em irrigação da cana-de-açúcar na região do Submédio São Francisco. **Revista ITEM**, Juazeiro, Bahia, n. 60, p. 55- 62, 2003.

SOARES, F. U. **Estudo do potencial climático para cana-de-açúcar (*Sacharum ssp.*) no Rio Grande do Sul por meio de geoprocessamento: Estudo de caso no município de Jaguari**. 2008. 77 f. Dissertação (Mestrado em geomática) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

SOUZA, E. F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 28-12, 1999.

SOUZA, J. K. C. de; MESQUITA, F. de O.; NETO, J. D.; SILVA, M. B. R.; FARIAS, C. H. de A.; LIMA, Y. B. de Crescimento da cana-de-açúcar submetido a diferentes lâminas de irrigação e adubação com zinco. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, Pernambuco, v. 11, n. 1, p. 114-119, 2015.

STRECK, 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., EMATER/RS-ASCAR, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2008. 222 p.

TAUPIER, L. O. G.; RODRÍGUEZ, G. O. A cana-de-açúcar. In: ICIDCA. **Manual dos derivados da cana-de-açúcar**: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia. ABIPTI, Brasília, cap. 21, p. 21-27, 1999. 474 p.

TEODORO, I.; NETO, J. D.; SOUZA, J. L. de; LYRA, G. B.; BRITO, K. S.; SÁ, L. de A.; SANTOS, M. A. L.; SARMENTO, P. L. V. de S. Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga** (Brazilian Journal of Irrigation and Drainage), Botucatu, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 387-401, 2013.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), baseados em parâmetros do solo e clima**. 2003. 86 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2003.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Chronica Botanica. Stechert-Hafner, New York, Massachusetts Waltham, 1952. 371 p.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Produtividade e rendimento industrial da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, Minas Gerais, v. 30, n. 3, p. 55-64, 2014.

WESCHENFELDER, S. C. **Aplicação do custeio baseado em atividades na determinação do custo de produção de etanol a partir do sorgo sacarino em pequena unidade de produção**. 2011. 151 f. Dissertação (Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Qualidade e Produtividade). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

WOILER, S.; MATHIAS, W. F. **Projetos: Planejamento, Elaboração e Análise**. 1. ed., Editora Atlas, São Paulo. 1996. 247 p.

WREGGE, M. S. **Delimitação de regiões com potencial de cultivo econômico da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), no Estado do Paraná por meio da análise de riscos climáticos**. 2004. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2004.

WREGGE, M. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, A. C. A.; BERTONHA, A.; FERREIRA, R. C.; CAVIGLIONE, J. H.; FARIA, R. T. de; FREITAS, P. S. L. de; GONÇALVES, S. L. Regiões potenciais para cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise do risco de geadas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 13, n. 1, p. 113-122, 2005.