

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:  
AGRICULTURA E AMBIENTE**

Fábio Miguel Knapp

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE  
CANA-DE-AÇÚCAR TOLERANTES AO FRIO NA REGIÃO  
CENTRAL E NOROESTE DO RS**

Frederico Westphalen, RS  
2019

**Fábio Miguel Knapp**

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE CANA-DE-  
AÇÚCAR TOLERANTES AO FRIO NA REGIÃO CENTRAL E NOROESTE DO RS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Braulio Otomar Caron

Frederico Westphalen, RS  
2019

Knapp, Fábio Miguel  
CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE CANA  
DE-AÇÚCAR TOLERANTES AO FRIO NA REGIÃO CENTRAL E NOROESTE  
DO RS / Fábio Miguel Knapp.- 2019.  
87 p.; 30 cm

Orientador: Braulio Otomar Caron  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2019

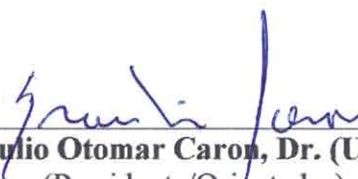
1. Saccharum sp. 2. Produtividade 3. Soma térmica 4.  
Melhoramento I. Caron, Braulio Otomar II. Título.

**Fábio Miguel Knapp**

**CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE CANA-DE-  
AÇÚCAR TOLERANTES AO FRIO NA REGIÃO CENTRAL E NOROESTE DO RS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**

**Aprovado em 22 de fevereiro de 2019:**



**Bráulio Otomar Caron, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



**Sandro Luis Petter Medeiros, Dr (UFSM)**



**Alexandre Behling, Dr. (UFPR)**

Frederico Westphalen, RS  
2019

## **DEDICATÓRIA**

A Deus pelo dom da vida, aos meus pais José Dionísio Knapp e Elisa Teresinha Lunkes Knapp, meus irmãos Márcio, Tiago e Denise que sempre me apoiaram e incentivaram, dedico-lhes este trabalho.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus pela existência, por ter me proporcionado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais José Dionísio Knapp e Elisa Teresinha Lunkes Knapp, meus irmãos Márcio Guilherme, Tiago Augusto e Denise Fernanda, Cunhada Fabiane, sobrinhos Bryan Guilherme, Thayla e Júlia Luísa e demais familiares, pelo apoio incondicional, confiança e pelos valiosos conselhos.

Ao Professor Braulio Otomar Caron, pela orientação e confiança depositada em mim, pelos conselhos, apoio, ensinamentos e principalmente pela grande amizade. Muito obrigado!

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, pela possibilidade da realização desse trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior. Pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de Mestrado.

Aos Professores Braulio Otomar Caron, Sandro Luis Petter Medeiros e Alexandre Behling, pela disponibilidade em participar da banca de defesa.

Aos amigos do Laboratório de Agroclimatologia: Felipe Schwerz, Jaqueline Sgarbossa, Liliane Tibolla, Rodrigo Souza, Douglas Ferigollo, Edineia de Cristo, Alisson Frizon, Claiton Nardini, Ana Julia Olibone e Marcelo Damaceno, pela amizade e ajuda no desenvolvimento das atividades.

Aos colegas e amigos do Biometria: Marcos Vinicius Marques Pinheiro, Leonardo Antonio Thiesen, Anderson Rafael Webler e Guilherme Masarro Araujo, pela convivência, ajuda e amizade durante o mestrado

Á todas as pessoas que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste sonho.

*“Os dias prósperos não vêm por acaso;  
nascem de muita fadiga e persistência”  
(Henry Ford)*

## RESUMO

### **CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR TOLERANTES AO FRIO NA REGIÃO CENTRAL E NOROESTE DO RS**

AUTOR: Fábio Miguel Knapp  
ORIENTADOR: Bráulio Otomar Caron

O objetivo do estudo foi avaliar o crescimento e desenvolvimento de genótipos de cana-de-açúcar tolerantes ao frio na região noroeste e central do Rio Grande do Sul. Para isso, foram instalados experimentos em casa de vegetação e a campo. O experimento em casa de vegetação foi instalado em junho de 2018, na Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen. Foram utilizados 15 genótipos de cana-de-açúcar: UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, RB855156, RB966928, RB946903, RB925345, RB965902, RB867515, RB925268, RB935744, RB845210, IAC87-3396. Os genótipos UFSM são provenientes do processo de mutação do programa de melhoramento da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, e possuem tolerância a baixas temperaturas. Os genótipos RB são provenientes do programa da Ridesa e o genótipo do IAC é proveniente do programa de melhoramento do Instituto Agrônomo de Campinas, sendo os genótipos RB recomendados para cultivo no Rio Grande do Sul. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições. Foi calculada a soma térmica necessária do plantio à emergência da cana-de-açúcar e a soma térmica necessária da emergência até a emissão da quarta folha. Além disso, outros dois experimentos foram instalados em setembro de 2017 a campo em Frederico Westphalen, região noroeste, e Cruz Alta, região central do Estado. Os genótipos de cana-de-açúcar utilizados foram: UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, IAC87-3396. Em Frederico Westphalen foram utilizados dois espaçamentos de 0,5 e 0,33 metros entre plantas e em Cruz Alta apenas um espaçamento de 0,5 metros entre plantas. O espaçamento entre linhas de cultivo em ambos os experimentos foi de 1,5 metros. O delineamento utilizado em ambos os experimentos foi o de blocos casualizados com 4 repetições. Aos 38, 73, 103, 147, 175, 224 e 266 dias após o transplante foram aferidos o diâmetro da base do colmo, estatura de planta, número de colmos por metro linear e área folhar. Ao final do ciclo, foi determinada a produtividade de colmos por hectare. Estes dados foram correlacionados com os dados meteorológicos, concluindo-se que o menor espaçamento entre plantas proporciona maior produtividade de toneladas de colmos por hectare. Os caracteres morfológicos que mais interferem na produtividade são o número de colmos por metro de sulco e a estatura de planta. A temperatura mínima e a soma térmica acumulada são as principais variáveis que interferem no crescimento e desenvolvimento da cultura, sendo os genótipos UFSM os com menor exigência térmica.

Palavras-chave: *Saccharum* sp. Produtividade. Soma térmica. Melhoramento.



## ABSTRACT

### GROWTH AND DEVELOPMENT OF COLD TOLERANT SUGAR CANE CULTIVARS IN THE CENTRAL AND NORTHWEST REGION OF RS

AUTHOR: Fábio Miguel Knapp  
ADVISOR: Braulio Otomar Caron

The objective of this study was to evaluate the growth and development of cold tolerant sugarcane genotypes in the northwest and central regions of Rio Grande do Sul. For this, experiments were installed in a greenhouse and in the field. The greenhouse experiment was installed in June 2018, at the Federal University of Santa Maria, Frederico Westphalen campus. were used fifteen genotypes of sugarcane: UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, RB855156, RB966928, RB946903, RB925345, RB965902, RB867515, RB925268, RB935744, RB845210, IAC87-3396. The UFSM genotypes come from the process of mutation of the breeding program of the Federal University of Santa Maria campus of Frederico Westphalen and have tolerance to low temperatures. The RB genotypes are from the Ridesa program and the IAC genotype comes from the breeding program of the Agronomic Institute of Campinas, and the RB genotypes are recommended for cultivation in Rio Grande do Sul. The experimental design was a randomized complete block design with four replications. Was calculated the necessary thermal sum of the planting up until the emergency of the sugarcane and the necessary thermal sum of the emergency until the emission of the fourth leaf. In addition, two other experiments were installed in September 2017 at the field, in Frederico Westphalen, northwest region, and Cruz Alta, central region of the state. The sugarcane genotypes used were: UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, IAC87-3396. In Frederico Westphalen were used two spacings of 0,5 and 0,33 meters between plants, and Cruz Alta only a spacing of 0,5 meters between plants. The spacing between cultivation lines in both experiments was 1,5 meters. The experimental design in both experiments was a randomized block design with four replications. At 38, 73, 103, 147, 175, 224 and 266 days after transplantation were measured a stem diameter, height of plant, number of stems per linear meter and leaf area. At the end of the cycle, yields of stems per hectare were determined. These data were correlated with the meteorological data. It concluded that the smaller spacing between plants provides higher productivity of tons of stems per hectare. The morphological characters that most interfere with productivity are the number of stalks per meter of furrow and the height of the plant. The accumulated thermal sum and the minimum temperature are the main variables that interfere in the growth and development of the culture, being the UFSM genotypes the ones with lower thermal requirement.

**Keywords:** *Saccharum* sp.. Productivity. Thermal sum. Improvement.

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

- Tabela 1.– Análise de variância para a soma térmica do plantio a emergência dos toletes (STE) e soma térmica da emergência até emissão da quarta folha ( $ST_{4f}$ ) e filocrono..... 25
- Tabela 2 - Soma Térmica acumulada do plantio até a emergência (STE), Soma térmica acumulada da emergência até o aparecimento da quarta folha ( $ST_{4f}$ ), para 15 variedades de cana-de-açúcar. Frederico Westphalen 2018 ..... 26

### ARTIGO II

- Tabela 1 – Valores de F calculados pela análise de variância para Número de Colmos por Metro (NCM), Estatura de plantas (ES), e Produção de Colmos (TCH), em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA). ..... 35

### ARTIGO III

- Tabela 1 – Resultado da análise de variância para Comprimento de colmo (CC), Peso do Colmo (PC), Produtividade (PD), Índice de Área Folhar (IAF), Número de Colmos por metro de sulco (NCM), Brix Caldo (BC), Brix Ápice (BA), Brix Médio (BM), Brix Base (BB) e Estatura de Plantas (AL), para 6 genótipos de cana-de-açúcar avaliados em cana planta sob duas densidades de plantio em Frederico Westphalen, 2018. .. 52
- Tabela 2 – Produtividade de toneladas por hectare (PD), Índice de Área folhar (IAF) e Número de colmos por metro no sulco (NCM), em dois espaçamentos de plantio de 0,33 e 0,50 metros entre plantas, Frederico Westphalen 2018. .... 53
- Tabela 3 - Correlação entre comprimento do colmo, diâmetros do colmo e número de colmos por metro linear de sulco, com a produtividade da cana-de-açúcar em dois espaçamentos 0,33 e 0,50 m entre plantas, em Frederico Westphalen 2018. .... 53
- Tabela 4 – Análise de trilha dos componentes de produção Comprimento de Colmo (CC), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Colmos por metro linear (NCM) sobre a produção em toneladas de colmos por hectare (TCH). .... 54
- Tabela 5 – Coeficientes de correlação de Pearson para a média de largura e comprimento da folha +3 do colmo, número médio de folhas com mais de 20% de área verde, área folhar média dos colmos, e média de colmos por 1 metro de sulco com o Índice de Área Folhar da cana-de-açúcar em dois espaçamentos 0,33 e 0,50 m entre plantas em Frederico Westphalen 2018. .... 55
- Tabela 6 – Comparação de médias das variáveis Sólidos Solúveis Totais da Base (BB), Sólidos Solúveis Totais do Meio (BM), Sólidos Solúveis Totais do Ápice (BA), Sólidos Solúveis Totais do caldo (BC) e Índice de Maturação (IM), de 6 variedades de cana planta em Frederico Westphalen, Frederico Westphalen 2018. .... 56

Tabela 7 – Quadrado médio do erro para o cultivo da cana-de-açúcar em Cruz Alta e Frederico Westphalen com espaçamento de 0,50 m entre plantas Comprimento do Colmo (CC), Peso da Cana (PC), Produtividade (PD), Índice de área Folhar (IAF), Número de colmos por metro no sulco (NC), Sólidos solúveis do Caldo (BC), Sólidos solúveis do Ápice (BA), Sólidos solúveis do Meio (BM), Sólidos solúveis do Base (BA), Estatura da planta (ES), Diâmetro Colmo (DC), Peso de Bagaço Úmido por colmo (BU), Volume de Caldo por colmo (VC), Comprimento de entrenós (CE), Peso de Bagaço seco de cada colmo (BS), Número de entrenós por colmo (NN) Índice de Maturação (IM) e porcentagem de fibra no colmo .....	57
Tabela 8 – Comprimento de colmo (CC), Massa de Colmo (PC) Massa do bagaço úmido (BU), Volume de Caldo (VC), Produção de Colmo em Toneladas por hectare (PD), Comprimento de entrenós (CE), Massa do Bagaço seco (BS), Sólidos solúveis do Caldo (BC), Sólidos solúveis da base (BB), Sólidos solúveis do meio (BM), Sólidos solúveis do ápice (BA), Estatura de planta (ES), para a cana-planta em dois locais de cultivo Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA) em 2018. ....	58
Tabela 9 – Correlação entre Comprimento do Colmo, Diâmetros do colmo e número de colmos por metro linear de sulco, com a produtividade da cana-de-açúcar de Frederico Westphalen e Cruz Alta. ....	62
Tabela 10 – Análise de trilha dos componentes de produção Comprimento de Colmo (CC), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Colmos por metro linear (NCM) sobre a produção em toneladas de colmos por hectare (TCH). ....	63
Tabela 11 – Diâmetro médio de colmos para 6 genótipos de cana-de-açúcar em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA). ....	64

#### **ARTIGO IV**

Tabela 1. – Correlação de Pearson entre os caracteres morfológicos (CM) e as variáveis meteorológicas (Var.) para Frederico Westphalen e Cruz Alta. ....	76
Tabela 2 – Cargas canônicas para os caracteres determinantes do TCH em dois locais Frederico Westphalen e Cruz Alta. O experimento de Frederico Westphalen foi conduzido sob duas densidades e Cruz Alta sob uma única densidade de plantio .....	77
Tabela 3 – Modelos de regressão para os caracteres morfológicos diâmetro de colmo (DC), estatura de planta (ES), e número de colmos por metro linear de sulco (NCM), responsáveis pela produtividade da cana-de-açúcar em Frederico Westphalen e Cruz Alta.....	78

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

Figura 1 – Temperatura máxima (-●-) Temperatura Mínima (····) Temperatura média (-▼-), para o período experimental de 08 de junho a 17 de agosto de 2018, Frederico Westphalen..... 27

### ARTIGO II

Figura 1 – Temperaturas Máximas, Temperaturas Mínimas, Temperaturas Médias, e temperatura basal inferior durante a produção de mudas de cana-de-açúcar, Frederico Westphalen 2017..... 37

Figura 2– Número de perfilhos por metro linear durante a fase de transplante a colheita, para Frederico Westphalen (A), e Cruz Alta (B). ..... 38

Figura 3 – Análise da regressão entre estatura de perfilhos e dias após transplante Frederico Westphalen (A) e Cruz Alta (B). ..... 39

Figura 4 – Balanço hídrico sequencial para Frederico Westphalen (A) e Cruz Alta (B) durante o período experimental. .... 40

Figura 5 – Temperatura Média (A), Temperatura Máxima (B), Temperatura Mínima (C) e Amplitude Térmica (D), para Frederico Westphalen e Cruz Alta durante o período de crescimento e desenvolvimento da cultura no campo..... 41

Figura 6 – Fenologia da cana-de-açúcar, T<sub>méd</sub> = temperatura média; T<sub>máx</sub> = temperatura máxima; T<sub>mín</sub> = temperatura mínima; GD = graus-dia; STA = soma térmica acumulada; Dias = duração cronológica da fase..... 42

### ARTIGO III

Figura 1 – Balanço hídrico sequencial para Frederico Westphalen (A) e Cruz Alta (B), durante o período experimental. .... 59

Figura 2 – Temperatura Média (A) Temperatura Máxima (B), Temperatura Mínima (C) e Amplitude Térmica (D), de Frederico Westphalen e Cruz Alta durante os 27 decêndios que a cultura esteve a campo..... 61

### ARTIGO IV

Figura 1 – Precipitação e Temperatura mínima para Frederico Westphalen (A), e Cruz Alta (B), durante o período experimental..... 74

Figura 2 – (A) Radiação solar global incidente (Rad MJ m<sup>-2</sup>); (B) soma térmica acumulada (°C dia<sup>-1</sup>), para Frederico Westphalen e Cruz Alta durante o período experimental..... 75

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 ASPECTOS GERAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	14
1.2 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL .....	15
1.3 CANA-DE-AÇÚCAR NO RIO GRANDE DO SUL.....	16
1.4 NOVAS ESTRATEGIAS E TECNOLOGIAS PARA CANA-DE-AÇÚCAR .....	17
<b>1.4.1 Produção de mudas Pré-Brotadas</b> .....	<b>17</b>
<b>1.4.2 Melhoramento da cana-de-açúcar</b> .....	<b>18</b>
1.5 HIPÓTESES .....	18
1.6 OBJETIVO GERAL.....	19
1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>2 ARTIGO I – SOMA TÉRMICA PARA ESTABELECIMENTO DE NOVOS GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>20</b>
2.1 RESUMO .....	20
2.2 ABSTRACT .....	20
2.3 INTRODUÇÃO.....	21
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
2.6 CONCLUSÕES .....	28
2.7 AGRADECIMENTO .....	28
2.8 REFERÊNCIAS .....	28
<b>3 ARTIGO II – FENOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DA REGIÃO CENTRAL E NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL .....</b>	<b>31</b>
3.1 RESUMO .....	31
3.2 ABSTRACT .....	31
3.3 INTRODUÇÃO.....	32
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
3.6 CONCLUSÕES .....	42
3.7 AGRADECIMENTO .....	43
3.8 REFERÊNCIAS .....	43
<b>4 ARTIGO III – PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE RENDIMENTO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA DIFERENTES REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL .....</b>	<b>45</b>
4.1 RESUMO .....	45
4.2 ABSTRACT .....	45
4.3 INTRODUÇÃO.....	46
4.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.6 CONCLUSÕES .....	64
4.7 AGRADECIMENTO .....	65
4.8 REFERÊNCIAS .....	65
<b>5 ARTIGO IV – FATORES METEOROLÓGICOS RESPONSÁVEIS PELO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DOIS LOCAIS DO RIO GRANDE DO SUL .....</b>	<b>69</b>
5.1 RESUMO: .....	69

5.2 ABSTRACT .....	69
5.3 INTRODUÇÃO.....	70
5.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	71
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	73
5.6 CONCLUSÃO.....	79
5.7 AGRADECIMENTOS .....	79
5.8 REFERÊNCIAS .....	79
<b>6 DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>82</b>
<b>7 CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ASPECTOS GERAIS DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma planta pertencente à família Poaceae e ao gênero *saccharum* e abrange várias espécies. Porém, as cultivadas com fins comerciais são provenientes de hibridação (DOORENBOS & KASSAM, 1994; 2008; FIGUEIREDO, 2008).

A cana-de-açúcar possui metabolismo fotossintético C4, o que lhe confere melhor eficiência no uso do recurso hídrico e CO<sub>2</sub>, conferindo lhe alta taxa de crescimento (TAIZ et al., 2017; ALOVISI et al., 2018). Segundo Vianna e Sentelhas (2014), a temperatura média do ar e a disponibilidade hídrica são os principais fatores ambientais que interferem na produtividade da cultura.

Mesmo sendo eficiente na utilização de água, a cultura necessita de grandes quantidades da mesma para suprir suas necessidades hídricas, levando em consideração que, a depender do estágio fenológico, 70% de sua massa total é composto por água e apenas 30% é matéria seca (SEGATO et al., 2006). Apesar da exigência hídrica da cana-de-açúcar, não há redução de crescimento e desenvolvimento com déficit hídrico de até 40 mm ao longo do ano (MAURI et al., 2017).

Segundo Lopes e Lima (LOPES & LIMA, 2015), a temperatura é um dos principais fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar, pois afeta a respiração de manutenção e fotossíntese da planta, tanto sob temperaturas baixas, ou altas. Conforme estes autores, para que o crescimento vegetativo ocorra, a temperatura deve estar acima de 15.5 °C e abaixo a 35 °C, mas para o crescimento ótimo da cultura, a média do ar deve ser superior a 21 °C.

Desta forma o conhecimento da variabilidade das condições meteorológicas durante o período de crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar é de fundamental importância para estimativas de produtividade (MORAES et al., 2014).

Sabe-se que a viabilidade econômica da produção está amplamente relacionada ao acúmulo de açúcares no colmo e, devido a isso, o conhecimento das variáveis meteorológicas que interfere neste processo possibilita manejar os canais de modo a alcançar melhores índices de qualidade, ou seja, produtividade de açúcar (CARDOZO & SENTELHAS, 2013).

Segundo Caputo et al.(2008), as condições meteorológicas ideais para a cultura são duas estações distintas: a primeira quente e úmida, proporcionando melhor emergência, rebrota,

perfilhamento e desenvolvimento vegetativo; em seguida, é importante a ocorrência de uma estação fria e seca, para promover a maturação e estimular o acúmulo de açúcares nos colmos da cana-de-açúcar.

## 1.2 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

A cultura da cana-de-açúcar é de extrema importância para o Brasil por ser base da produção de açúcar e etanol, que é uma fonte de energia renovável e menos poluente comparado com os combustíveis fósseis (GOES et al., 2009; CARDOZO et al., 2015). Sua expressividade também se estende à comercialização in natura para alimentação animal e contribui para a questão social através da geração de empregos (UNICA, 2004; BRAGATO et al., 2008).

A cana-de-açúcar é cultivada em todo o território brasileiro, sendo considerada uma planta com adaptação a clima tropical e subtropical, cultivada entre as latitudes de 35° S e N (CAPUTO et al., 2008; BRUNINI, 2010). Segundo Brunini (2010), com a finalidade de expandir as fronteiras agrícolas para a cultura da cana-de-açúcar, é necessário realizar a caracterização das exigências agroclimáticas da cultura, bem como as condições das regiões com potencial produtivo em todo território brasileiro além das regiões tradicionais de cultivo, como a região centro sul do país.

Caputo et al. (2008) classifica a importância da cultura em decorrência de sua múltipla utilidade. É utilizada desde forragem para alimentação animal e como matéria prima para fabricação de rapaduras, melado, aguardente, álcool e açúcar, sendo os resíduos também de valiosa importância econômica, como o vinhoto, empregado como adubo rico em nitrogênio, e os bagaços, empregados como fonte de energia térmica.

Segundo Silva et al. (2014), a cultura se destaca devido seu alto potencial de produção de biomassa e energia anual por unidade de área. Segundo o mesmo autor, a cultura vem se destacando desde 2006. Devido ao seu potencial, estima-se um aumento de 40 e 100 % na área plantada e na produção, respectivamente, até o ano de 2024.

Os avanços tecnológicos para a cultura, tais como controle biológico, reaproveitamento de resíduos como torta de filtro e vinhaça, operações mecanizadas com piloto automático, novas variedades genéticas e controle de qualidade, garantem à produção brasileira grande excelência, o que justifica o país como um dos principais exportadores do mundo no setor sucroalcooleiro e maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção de 633,27 milhões de toneladas em



2017 (CONAB, 2018). Entretanto, mesmo com todos os avanços, ainda existe a necessidade de estudos que permitam incrementar mais produtividade e qualidade à cultura.

Segundo Cardozo e Sentelhas (2013), há um aumento na demanda mundial de açúcar e etanol, o que faz com que os canaviais avancem para regiões na qual a cultura não tinha muita importância, trazendo consigo grandes reflexos econômicos e importantes efeitos na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias para o setor, como o lançamento de novas cultivares melhor adaptadas a região, além da mecanização da colheita e plantio.

### 1.3 CANA-DE-AÇÚCAR NO RIO GRANDE DO SUL

Segundo Maluf et al. (2008), a cana-de-açúcar, sem levar em consideração fatores climáticos e aspectos agrônômicos, tem sido cultivada no Rio Grande do Sul com variadas finalidades: produção de forragem, aguardente, açúcar mascavo e rapaduras. Com o aumento da demanda desta cultura, principalmente pela sua utilização na produção de etanol, ela obteve maior importância e, conseqüentemente, maiores investimentos em pesquisa, com o objetivo de viabilizar o cultivo e diminuir a dependência de produtos derivados da cultura de outros Estados.

O Rio Grande do Sul possui produtividade baixa de toneladas de colmo por hectare, o que está atrelado, principalmente, a falta de investimentos, de estudos sobre a viabilidade, tecnologias de plantio, colheita e industrialização, e de novas cultivares melhor aclimatadas para a região (CONAB, 2018).

Segundo dados disponíveis no Mapa (2018), existem atualmente 365 unidades industriais registradas em todo território nacional para a produção de etanol e açúcar. Deste montante, 156 unidades estão localizadas no estado de São Paulo, o que representa 42,7% das unidades. Apenas uma unidade está localizada no Rio Grande do Sul, representando 0,3% das unidades, que na safra de 2017 recebeu em torno de 44.822 toneladas de cana-de-açúcar para o processamento e produziu 2.485 m<sup>3</sup> de etanol.

A partir do zoneamento agroclimático, apontou-se as regiões sem restrições de solo e clima para a implantação da cultura. Para a região Sul, um dos graves problemas enfrentados pela cultura é o risco de ocorrência de geadas (MALUF et al., 2008).

O Estado do Rio Grande do Sul possui uma área cultivada com cana-de-açúcar de 1.4 mil hectares (CONAB, 2018). Porém, as áreas aptas para o cultivo da cana-de-açúcar neste

Estado são de 104.7 mil hectares, o que representa a possibilidade de extensão da atual área cultivada em 87 vezes (MANZATTO et al., 2009).

Surge, assim, a necessidade de pesquisas sobre o comportamento do crescimento e desenvolvimento de novas cultivares de cana-de-açúcar provindas do melhoramento para a região sul, buscar cultivares que se adaptem a região e criar novas alternativas de cultivo com maior sustentabilidade e preservação de recursos naturais.

#### 1.4 NOVAS ESTRATEGIAS E TECNOLOGIAS PARA CANA-DE-AÇÚCAR

O plantio da cana-de-açúcar passa, na última década, por uma fase de mecanização em todos os setores de produção, com o objetivo de melhorar o rendimento da cultura e permitir máxima expansão da cultura. Além disso, busca maior eficiência do uso dos recursos vegetais e do solo (AFERRI et al., 2016; CAMPANA et al., 2016).

Devido as diferentes condições edafoclimáticas encontradas na região canavieira Centro-Sul, uma estratégia utilizada é a criação de pequenos programas de melhoramento. Esta estratégia não impede a seleção de um genótipo de ampla adaptação, porém, proporciona ganhos à produção nacional por criar, em um período mais enxuto de 7 a 8 anos, um genótipo adaptado as diferentes regiões (LANDELL & BRESSIANI, 2008).

##### 1.4.1 Produção de mudas Pré-Brotadas

No plantio convencional de cana-de-açúcar utilizava-se de 15 a 21 gemas por metro, o que representa em torno de 11 a 14 toneladas de toletes por hectare. Porém, com a mecanização dos plantios, o volume de toletes a ser utilizado ultrapassa 20 toneladas por hectare, que representam até 60 gemas por metro. Além disso, essa prática aumenta a difusão de doenças e pragas nos canaviais novos e dificulta o controle inicial das mesmas (LANDELL et al., 2012). A qualidade das mudas é de fundamental importância para a produtividade final, pois influencia diretamente na sobrevivência e crescimento das mesmas, exerce supressão maior de plantas daninhas e reduz os custos de manejo do canavial (MORGADO et al., 2000; AFERRI et al., 2016).

O sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB) foi desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e teve respostas satisfatórias, como a redução do volume de mudas para aproximadamente 2 toneladas por hectare, o que permite a destinação do material excedente

para a indústria sucroenergética. Além disso, esse sistema diminui o tempo de produção das mudas, melhora seu vigor, facilita o manejo fitossanitário das mesmas e dá homogeneidade ao canavial, o que garante aumento de aproximadamente 30 % na produtividade e diminuição dos custos de implantação e manejo (LANDELL et al., 2012).

#### **1.4.2 Melhoramento da cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar, por ser base da produção de etanol, fonte de energia renovável e menos poluente (GOES et al., 2009; MORAIS et al., 2015), ganhou destaque mundial com o aumento de produtividade devido ao emprego de tecnologias do plantio a colheita e, principalmente, aos programas de melhoramento do mundo todo, que desenvolvem clones específicos, adaptados a diferentes condições climáticas, e priorizam cultivares com alta produtividade, tolerância a seca e alto teor de sacarose nos colmos (MORAIS et al., 2015).

O melhoramento da cana-de-açúcar no Brasil é realizado por diversas instituições públicas e privadas. Nas instituições públicas, destacam-se os programas do Instituto Agrônomo de Campinas, que desenvolve cultivares da sigla IAC, o Centro de Tecnologia Canavieira, que desenvolve cultivares da sigla CTC, que incorporou o programa das cultivares SP da Coopersucar, e a Rede Interuniversitária para Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (Ridesa), que desenvolve cultivares da sigla RB. Segundo Daros et al (2015), as cultivares da Ridesa são responsáveis por 68% das variedades cultivadas no Brasil na safra de 2014/2015.

Atualmente, a Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, aderiu ao programa de melhoramento de cana-de-açúcar, desenvolvendo genótipos com a sigla UFSM, com o intuito de disponibilizar aos produtores cultivares de cana-de-açúcar com tolerância a baixas temperaturas e superioridade agrônômica.

#### **1.5 HIPÓTESES**

Os genótipos de cana-de-açúcar desenvolvidos pelo programa de melhoramento da UFSM possuem um crescimento e desenvolvimento inicial mais acelerado por serem desenvolvidos a tolerar baixas temperaturas.

O crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar não é afetado pela precipitação pluviométrica na região noroeste e central do Rio Grande do Sul, devido ao regime hídrico que ocorre nestas regiões.

## 1.6 OBJETIVO GERAL

Analisar o crescimento e desenvolvimento de cinco genótipos de cana-de-açúcar protegidas pela UFSM campus Frederico Westphalen, tolerantes a baixas temperaturas.

## 1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a soma térmica necessária para emergência e estabelecimento dos genótipos de cana-de-açúcar UFSM.

Analisar os componentes de rendimento, bem como avaliar o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar na região noroeste e central do Rio Grande do Sul.

Determinar a variável meteorologia com maior influência sob a produtividade da cana-de-açúcar na região noroeste e central do Rio Grande do Sul.

Determinar o componente de rendimento mais afetado pelas variáveis meteorológicas na região noroeste e central do Rio Grande do Sul.

## 2 ARTIGO I – SOMA TÉRMICA PARA ESTABELECIMENTO DE NOVOS GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR

2.1 RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo determinar a soma térmica necessária do plantio à emergência de toletes de cana-de-açúcar e o filocrono de mudas da emergência até a emissão da quarta folha de genótipos de cana-de-açúcar desenvolvidos para o cultivo na região sul do Brasil. Um experimento em casa de vegetação, com 15 genótipos foi conduzido em Frederico Westphalen - RS. Os genótipos de cana-de-açúcar utilizados foram UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, RB855156, RB966928, RB946903, RB925345, RB965902, RB867515, RB925268, RB935744, RB845210, IAC87-3396. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 4 repetições. Calculou-se a soma térmica necessária do plantio a emergência e a soma térmica da emergência até a emissão da quarta folha e seu respectivo filocrono ( $^{\circ}\text{C folha}^{-1}$ ). A soma térmica, bem como o filocrono, mostrou grande variação entre os genótipos. Os genótipos UFSM FW obtiveram os melhores desempenhos e a cultivar UFSM LUCI FW foi a com menores taxas de soma térmica e filocrono necessário para emissão de folhas, evidenciando superioridade no crescimento e desenvolvimento nas condições meteorológicas e climáticas da região sul.

**Palavras chave:** *saccharum* sp., Soma térmica, Filocrono, Melhoramento.

### THERMAL SUM FOR ESTABLISHMENT OF NEW SUGARCANE GENOTYPES

2.2 ABSTRACT: The present work had as objective to determine the necessary thermal sum, from the planting of the emergence of sugarcane, and the phyllochron of seedlings from the emergency to the emission of the fourth leaf, of sugarcane genotypes developed for cultivation in the southern region of Brazil. A greenhouse experiment with 15 genotypes was conducted in Frederico Westphalen - RS. The sugarcane genotypes used were, UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, RB855156, RB966928, RB946903, RB925345, RB965902, RB867515, RB925268, RB935744, RB845210, IAC87-3396. The experimental design was a randomized complete block design with four replications, it was calculated the necessary thermal sum of the planting up until the emergency. and the thermal sum of the emergency to emission of the fourth leaf, and the thermal sum of the emergency until emission of the fourth leaf, and its respective phyllochron ( $^{\circ}\text{C sheet}^{-1}$ ). The

thermal sum as well as the phyllochron, showed great variation among the genotypes, with the UWM FW genotypes obtaining the best performances. being UFSM LUCI FW to cultivate with the lowest rates of thermal sum and phyllochron necessary for leaf emission, evidencing superiority in growth and development in the meteorological and climatic conditions of the southern region.

**Key Words:** *saccharum* sp., Thermal sum, Philocron, Improvement.

### 2.3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* ssp.) é cultivada em todo o território brasileiro. É considerada uma planta com adaptação ao clima tropical e subtropical e cultivada entre as latitudes de 35° S e N (CAPUTO et al., 2008; BRUNINI, 2010). Segundo Brunini (2010), com a finalidade de expandir as fronteiras agrícolas para a cultura da cana-de-açúcar, é necessário realizar a caracterização das exigências agroclimáticas da cultura, bem como as condições das regiões com potencial produtivo em todo território brasileiro, além das regiões tradicionais de cultivo, como a região centro sul do país.

Segundo Moraes et al. (2014), o conhecimento da variabilidade das condições meteorológicas durante o período de crescimento da cana-de-açúcar é de fundamental importância para estimativas de produtividade.

As atividades metabólicas e fisiológicas da planta são reguladas pela temperatura do ar. A exigência de temperatura/energia para determinada atividade é variada entre espécies e, dentro de cada espécie, dependendo do estágio fenológico de desenvolvimento da planta, há diferença nas exigências térmicas (FLOSS, 2011; LOPES & LIMA, 2015; TAIZ et al., 2017).

Segundo Matsuoka e Santos (2015), a temperatura do ar é um dos principais fatores que influenciam diretamente nos processos fisiológicos de fotossíntese, crescimento, floração, balanço hídrico, respiração e absorção de minerais. Para Marin et al. (2008), a temperatura do ar da região sul, por ter grande variação anual, afeta a cultura de cana-de-açúcar de forma mais acentuada do que na região sudeste, onde a cana-de-açúcar experimenta uma faixa pequena de variação de temperatura.

A determinação da soma térmica (graus-dia acumulado) é fundamental para avaliar a duração do ciclo fenológico da planta, levando em consideração que o tempo cronológico pode

oscilar devido a variações meteorológicas (OLIVEIRA et al., 2012). Para Teruel et al (1997), o desenvolvimento da cana-de-açúcar pode ser estimado utilizando-se do somatório de graus-dia.

Segundo Caetano e Casaroli (2017), o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar é positivamente correlacionado com a soma térmica acumulada em graus dias. Assim, sugerem que os estudos a respeito do crescimento da cana-de-açúcar devem levar em consideração um conjunto de variáveis meteorológicas, incluindo a soma térmica acumulada.

O intervalo entre o aparecimento sucessivo de folhas e nós em cana-de-açúcar é altamente sensível a temperatura e este intervalo é chamado de filocrono (CAMPBELL et al., 1998; BANDEIRA et al., 2018). Segundo Bandeira et al. (2018), para descrever melhor o tempo fisiológico da planta, o filocrono é expresso em tempo térmico e pode ser calculado pelo acúmulo diário da diferença entre a temperatura média do ar e a temperatura basal inferior. Por se tratar do tempo necessário para o aparecimento de folhas sucessivas em uma planta, o filocrono é amplamente utilizado para caracterizar o crescimento e desenvolvimento da planta (MENDONÇA et al., 2012).

Atualmente, a Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, aderiu ao programa de melhoramento de cana-de-açúcar desenvolvendo cultivares com a sigla UFSM, buscando como principal característica das novas cultivares, a tolerância a baixas temperaturas. Que o principal fator que limita o desenvolvimento da cultura no Rio Grande do Sul.

Os genótipos UFSM FW foram os primeiros genótipos de cana-de-açúcar protegidas no ministério da agricultura, proveniente de indução de mutação, no qual os novos genótipos foram comprovadas a partir de caracteres morfológicos, claramente distinguíveis da cultivar da qual se originou, de acordo com a lei nº 9.456/97 de proteção de cultivares.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos relacionados ao desenvolvimento inicial das mudas de cana-de-açúcar desenvolvidas pelos laboratórios de Agroclimatologia e Melhoramento de Plantas da Universidade Federal de Santa Maria, quantificando a soma térmica necessária para a emergência dos toletes e a soma térmica necessária para atingir 4 folhas expandidas.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus de Frederico Westphalen, sob as coordenadas geográficas 27°39'56"

LS – 53°42'94" LW. O clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical (ALVARES et al., 2013).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições. Foram analisados 5 genótipos de cana-de açúcar desenvolvidas pela UFSM, primeiros genótipos de cana-de-açúcar desenvolvidas a partir de mutação e selecionadas a partir da tolerância a baixas temperaturas, 9 genótipos da Ridesa (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro) recomendadas para cultivo no Rio Grande do Sul (SILVA et al., 2012) e 1 genótipo do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas – Centro de Cana) por ser material progenitor dos genótipos UFSM FW, totalizando 15 genótipos da cana-de-açúcar e 60 unidades experimentais, sendo cada unidade experimental composta por 9 plantas. Os materiais utilizados foram UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, RB855156, RB966928, RB946903, RB925345, RB965902, RB867515, RB925268, RB935744, RB845210, IAC87-3396.

O experimento foi implantado no dia 08 de junho de 2018. Cada unidade experimental foi composta por 9 mini-toletes, que foram plantados em tubetes de 250 cm<sup>3</sup>, a uma profundidade de 4 cm. Foi utilizado substrato comercial formulado com casca de pinus, cinzas, vermiculita, serragem e bioestabilizados, com adição de 0,50% de corretivos de acidez, 0,50% de fosfato natural e 0,60% de fertilizante mineral N-P-K.

Os mini-toletes foram extraídos de colmos sadios com 10 meses de idade e cortados a 4 cm de comprimento. Cada mini-tolete ficou com uma gema. Foram utilizados apenas gemas do terço médio do colmo para padronizar o experimento. Após o corte, foi realizado o tratamento com fungicida para eliminar eventuais fungos patogênicos seguindo a metodologia proposta por Landell et al. (2012).

Os dados de temperatura instantânea, máxima e mínima foram coletados diariamente, dentro da casa de vegetação, às 9h, 15h e 21h, com auxílio de termo-higrômetro.

A temperatura média diária foi calculada pelo método do INMET, através da seguinte fórmula:

$$T_{méd} = \frac{T_{9h} + T_{máx} + T_{mín} + 2.T_{21h}}{5}$$

Onde:  $T_{méd}$  é a temperatura média do dia,  $T_{9h}$  é a temperatura correspondente às 9:00 horas do dia,  $T_{máx}$  é temperatura máxima do dia,  $T_{mín}$  é temperatura mínima do dia, e  $T_{21h}$  é a temperatura correspondente às 21:00 horas do dia.

A soma térmica diária foi determinada considerando a temperatura basal inferior ( $T_b$ ) de 10 °C para a cultura da cana-de-açúcar, valor utilizado por (SINCLAIR et al., 2004; SMIT



& SINGELS, 2006; STRECK et al., 2010; CASTRO-NAVA et al., 2016; MORAIS et al., 2018), sendo os Graus Dia ( $GD_i$ ) obtidos pelas seguintes equações (NOVA et al., 1972; PEREIRA et al., 2007).

Para dias em que a temperatura mínima foi superior a  $T_b$ .

$$GD_i = T_{méd_i} - T_b$$

Onde  $T_{méd_i}$  representa a temperatura média do dia. Nos dias em que a  $T_b$  foi maior ou igual a Temperatura mínima ( $T_{mín}$ ):

$$GD_i = \frac{(T_{máx_i} - T_b)^2}{2(T_{máx_i} - T_{mín_i})}$$

Onde  $T_{máx_i}$  e  $T_{mín_i}$  representam a temperatura máxima e mínima do dia, respectivamente.

O acúmulo do  $GD_i$ , da data do plantio até a emergência resultou na Soma de Graus Dia ( $\sum GD$ ), que é a constante térmica necessária para a planta realizar o processo de crescimento e/ou desenvolvimento.

Diariamente foram feitas contagens de emergência de plantas. Foi considerada emergida a planta visível sob a superfície do substrato. A data de emergência de cada unidade experimental foi considerada quando 50% das plantas estavam visíveis acima da superfície do substrato. Diariamente foi realizada a contagem de plantas visíveis em cada unidade experimental, até a emergência total de todas. Na sequência, realizou-se o cálculo retroativo para determinar a data em que 50% das plantas estavam emergidas segundo a metodologia utilizada por Hanauer *et al.* (2014) e Castro-Nava *et al.*, (2016).

Após a emergência total das plantas, uma planta por unidade experimental foi marcada e acompanhada diariamente na emissão de suas folhas até emitir 4 folhas, que precisavam estar totalmente expandidas. Em seguida, foi calculada a soma térmica necessária da data da emergência até a data do aparecimento da quarta folha. Na sequência, adotou-se como o filocrono da fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar o valor médio da soma térmica necessária para a emissão das 4 folhas, no qual a planta se encontra em tamanho para ser transplantada.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo programa GENES, sendo as médias comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott, a um nível de 5% de probabilidade de erro (CRUZ, 2013).

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi constatado diferença significativa entre os genótipos para a soma térmica do plantio até a emergência, e a soma térmica da emergência até o aparecimento da quarta folha expandida, com o coeficiente de variação menores que 10 %, demonstrando pouca variação dentro dos tratamentos (Tabela 1).

**Tabela 1.**– Análise de variância para a soma térmica do plantio a emergência dos toletes (STE) e soma térmica da emergência até emissão da quarta folha (ST<sub>4f</sub>) e filocrono.

FV	GL	Quadrado médio		
		STE	ST <sub>4f</sub>	Filocrono
Blocos	3	292,303	1651,234	103,202
Genótipos	14	6604,338**	24741,055**	1546,316**
Resíduo	42	123,349	836,457	52,278
CV (%)		6,05	8,61	8,61

\*\* significativo a 5% pelo teste f

Os valores da soma térmica do plantio a emergência variaram de 145,52 graus-dia a 292,31 graus-dia (Tabela 2). Pode ser observado que os genótipos UFSM necessitam de menor soma térmica acumulada do plantio até a emergência, desta forma as mesmas possuem melhor aclimação a regiões com temperaturas mais frias, como o caso da região no qual o estudo foi realizado, sendo que a soma térmica acumulada se correlaciona positivamente com a produtividade da cana-de-açúcar (CAETANO & CASAROLI, 2017).

Os genótipos UFSM necessitam de menor soma térmica e, conseqüente, menor acúmulo de energia térmica para emissão de folhas consecutivas durante o estabelecimento da cultura, mostrando, assim, a superioridade destas sobre os demais genótipos analisados.

A germinação de plantas daninhas é inibida sob o dossel vegetativo das plantas de cultivo. Desta forma, a emergência e emissão de folhas mais rápida antecipa o fechamento do dossel vegetativo da cultura, diminui a emergência de plantas daninhas e aumenta a produtividade da cana-de-açúcar pela diminuição da competição entre as plantas daninhas e a cultura (GIROTTO et al., 2011; BATLLA & BENECH-ARNOLD, 2014).

**Tabela 2** - Soma Térmica acumulada do plantio até a emergência (STE), Soma térmica acumulada da emergência até o aparecimento da quarta folha (ST<sub>4f</sub>), para 15 variedades de cana-de-açúcar. Frederico Westphalen 2018

Genótipos	STE (°C)	ST <sub>4f</sub> (°C)	Filocrono (°C)
UFSM LUCI FW	145,52 a	236,14 a	59,03 a
UFSM DINA FW	147,75 a	251,52 a	62,88 a
RB965902	155,28 a	464,26 e	116,07 e
RB925268	156,15 a	349,68 c	87,42 c
RB867515	160,72 a	471,48 e	117,87 e
UFSM MARI FW	163,12 a	244,43 a	61,11 a
IAC87-3396	164,97 a	258,08 a	64,52 a
UFSM PRETA FW	166,33 a	285,61 b	71,40 b
UFSM XIKA FW	182,38 b	285,95 b	71,49 b
RB935744	187,01 b	425,88 d	106,47 d
RB965345	188,40 b	321,90 c	80,47 c
RB946903	188,40 b	404,32 d	101,08 d
RB855156	202,89 b	319,52 c	79,88 c
RB845210	254,21 c	377,98 d	94,49 d
RB966928	292,31 d	339,36 c	84,84 c
CV (%)	6,05	8,61	8,61

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott.

O filocrono variou de 59,03 a 117,87 °C dia folha<sup>-1</sup> (Tabela 2), com os valores mais baixos de filocrono encontrados os genótipos provenientes do programa de melhoramento da UFSM FW, que tem como propósito o melhoramento e seleção de cultivares mais tolerantes ao frio. Segundo Hermes et al. (2001), a soma térmica necessária para a emissão de folhas sucessivas é um parâmetro importante a ser analisado, sendo utilizado em modelos de simulação de culturas.

Para os genótipos UFSM o valor médio de filocrono foi de 65 °C dia folha<sup>-1</sup>, Hoffman et al., (2018) avaliaram 14 genótipos em 4 anos de cultivo na África do Sul, em ambiente com temperatura controlada e estabeleceram um valor de filocrono médio de 70 °C dia folha<sup>-1</sup>. Em experimento conduzido no México com 3 genótipos, sob altas temperaturas, as folhas levaram em média 75 °C dia folha<sup>-1</sup> no momento da emergência (CASTRO-NAVA et al., 2016). Já Hanauer et al. (2014) encontraram filocrono de 103,9 a 113,5 °C dia folha<sup>-1</sup> para 3 genótipos em um ciclo de cana-planta e cana-soca, cultivados em Santa Maria/RS. (SINCLAIR et al.,

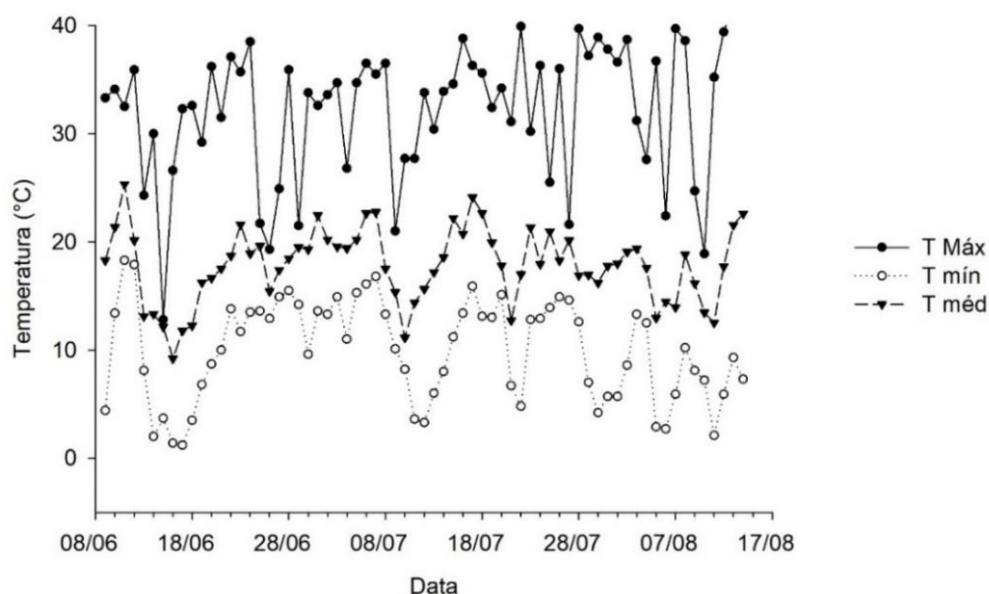
2004) encontraram uma variação de 87-118 dia folha<sup>-1</sup> para 4 genótipos cultivados nos Estados Unidos.

No presente estudo, o genótipo que necessitou de maior acúmulo térmico para emissão de folhas foi a cultivar RB867515, com um valor de filocrono médio de 117.87 dia folha<sup>-1</sup>. Porém, Marin *et al.* (2015) encontraram um filocrono médio de 89 dia folha<sup>-1</sup> para a mesma cultivar, mas para a região sudeste, onde a amplitude térmica é menor e a temperatura média do ar se mantém mais elevada.

Segundo Barbieri *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2015), a cana-de-açúcar tem um crescimento prejudicado na fase de emergência e estabelecimento da cultura, que pode ser nulo quando a temperatura média do ar é inferior a 15 °C. Para que as plantas tenham um crescimento e desenvolvimento adequado, necessitam de temperaturas médias acima de 18 °C. A temperatura entre 18 °C e 31°C é ideal para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar (MARIN *et al.*, 2009; BARBIERI *et al.*, 2015).

No presente estudo, durante o período experimental, a temperatura mínima atingida foi de 1.2 °C, a temperatura máxima foi de 42.1 °C e a temperatura média de 17.8 °C (Figura 1), com amplitude térmica de 35.1 °C. Esta variação na temperatura interfere no crescimento e desenvolvimento da planta (TAIZ *et al.*, 2017), afeta a emissão de folhas e eleva a necessidade térmica para atividades metabólicas e fisiológicas da planta.

**Figura 1** – Temperatura máxima (-●-) Temperatura Mínima (··○··) Temperatura média (-▼-), para o período experimental de 08 de junho a 17 de agosto de 2018, Frederico Westphalen.



Fonte: Autor

## 2.6 CONCLUSÕES

Os genótipos UFSM possuem menor exigência para emissão sucessiva das folhas.

Os genótipos UFSM demonstraram superioridade agrônômica para a região sul do país por seu crescimento e desenvolvimento ser menos afetado pelas baixas temperaturas comuns nesta região.

## 2.7 AGRADECIMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

## 2.8 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728. 2013.

BANDEIRA, A. H., et al. Morfologia foliar de sorgo sacarino cultivado em diferentes espaçamentos entre linhas e épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.17, n.1, p.63-75. 2018.

BARBIERI, V., et al. Modelos matemático-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. In: F. C. D. Silva, B. J. R. Alves, *et al* (Ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2015. Modelos matemático-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar, p.436-489

BATLLA, D.; R. L. BENECH-ARNOLD. Weed seed germination and the light environment: Implications for weed management. **Weed Biology and Management**, v.14, n.2, p.77-87. 2014.

BRUNINI, O. Ambiente climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: L. L. Dinardo-Miranda, A. C. M. Vasconcelos, *et al* (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas, SP: IAC, 2010. Ambiente climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar, p.205

CAETANO, J. M.; D. CASAROLI. Sugarcane yield estimation for climatic conditions in the center of state of Goiás. **Revista Ceres**, v.64, n.3, p. 298-306..

CAMPBELL, J. A., et al. Temperature effects on node appearance in sugarcane. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.25, p.815-818. 1998.

CAPUTO, M. M., et al. respostas de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v.67, n.1, p.15-23. 2008.

CASTRO-NAVA, S., et al. Leaf Growth and Canopy Development of Three Sugarcane Genotypes under High Temperature Rainfed Conditions in Northeastern Mexico. **International Journal of Agronomy**, v.2016, p.1-7. 2016.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276. 2013.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das lantãs cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo. 2011. 743 p.

GIROTTO, M., et al. Eficiência fotossintética da cana-de-açúcar submetida à aplicação de atrazine e tebuthiuron em pré-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.2, p.134-142. 2011.

HANAUER, J. G., et al. Desenvolvimento e crescimento foliar e produtividade de cana-de-açúcar em cultivo de cana-planta e de cana-soca. **Bioscience Journal**, v.30, n.4, p.1077-1086. 2014.

HERMES, C. C., et al. Emissão de folhas de alface em função da soma térmica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.269-275. 2001.

HOFFMAN, N., et al. Predicting genotypic differences in irrigated sugarcane yield using the Canegro model and independent trait parameter estimates. **European Journal of Agronomy**, v.96, p.13-21. 2018.

LANDELL, M. G. D. A., et al. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Campinas, SP: Documentos IAC: 16 p. 2012.

LOPES, N. F.; M. G. S. LIMA. **Fisiologia da Produção**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2015. 492 p.

MARIN, F. R., et al. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1449-1455. 2008.

MARIN, F. R., et al. Cana-de-açúcar. In: J. E. B. A. Monteiro (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. Cana-de-açúcar, p.530

MARIN, F. R., et al. Sugarcane model intercomparison: Structural differences and uncertainties under current and potential future climates. **Environmental Modelling & Software**, v.72, p.372-386. 2015.

MATSUOKA, S.; E. G. D. D. SANTOS. Ecofisiologia da brotação e desenvolvimento da cana-de-açúcar. In: F. C. D. Silva, B. J. R. Alves, *et al* (Ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos** Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2015. Ecofisiologia da brotação e desenvolvimento da cana-de-açúcar, p.586.

MENDONÇA, H. F. C., et al. Estimativa do filocrono de morangueiro em sistemas consorciado e solteiro em ambientes protegidos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, n.1, p.15-23. 2012.

MORAES, R. A., et al. Determination of total accumulated rainfall, global radiation, evapotranspiration and degree-days originated from the ECMWF Model to sugarcane crop. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.2, p.322-331. 2014.

MORAIS, K. P., et al. Dinâmica da parte aérea em cana-de-açúcar. **Stab**, v.36, n.3, p.35-37. 2018.

NOVA, N. A. V., et al. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia. 1972

OLIVEIRA, A. S. D., et al. Determinação do tempo térmico para o desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.11, p.1223-1228. 2012.

PEREIRA, A. R., et al., Eds. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba, SP: ESALQ Departamento de Ciências Exatas, p.202ed. 2007.

SILVA, F. C., et al. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: F. C. Silva, B. J. R. Alves, *et al* (Ed.). **Sistema de Produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada a produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2015. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima, p.288-359

SILVA, S. D. D. A., et al. Recomendação de variedades de cana-de-açúcar para o estado do Rio Grande do Sul. Pelotas, RS: Embrapa 2012.

SINCLAIR, T. R., et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v.88, n.2-3, p.171-178. 2004.

SMIT, M. A.; A. SINGELS. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, n.2-3, p.91-97. 2006.

STRECK, N. A., et al. Leaf development and growth of selected sugarcane clones in a subtropical environment. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p.1049-1057. 2010.

TAIZ, L., et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 2017

TERUEL, D. A., et al. Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. **Scientia Agrícola**, v.54, p.39-44. 1997.

### **3 ARTIGO II – FENOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DA REGIÃO CENTRAL E NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

3.1 RESUMO: O objetivo deste trabalho foi determinar a duração dos estádios fenológicos da cultura da cana-de-açúcar para as condições meteorológicas da região noroeste e central do Rio Grande do Sul. Para isto, experimentos de campo a partir de mudas pré-brotadas foram conduzidos em Frederico Westphalen e Cruz Alta. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com 4 repetições. Foram utilizados 6 genótipos de cana-de-açúcar: a IAC87-3396 e mais 5 genótipos do programa de melhoramento da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que são as UFSM XIKA FW, UFSM MARI FW, UFSM DINA FW, UFSM PRETA FW e UFSM LUCI FW. Durante a fase de crescimento e desenvolvimento foram avaliados o número de colmos por metro (NCM), o diâmetro da base do colmo (DC), a estatura do colmo (ES), e determinado o rendimento de toneladas de colmo por hectare (TCH) durante sete datas: aos 38, 73, 103, 147, 175, 224, 266 dias após o transplante das mudas. A fase de plantio até o estabelecimento das mudas, devido à baixa temperatura registrado no período, foi o mais lento e levou 107 dias para ocorrer. O a fase de máximo crescimento ocorreu dos 103 aos 147 dias após o transplante, foi o responsável por 37 e 41% da alongação dos colmos para Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente. Desta forma, conclui-se que a fase de emergência e estabelecimento da cultura é o mais lento, a fase de alongamento dos colmos é mais acelerado nas condições meteorológicas das regiões em estudo e o desenvolvimento e crescimento da cultura são afetados diretamente pela temperatura média do ar.

**Palavras chave:** *Saccharum* ssp.. Crescimento. Desenvolvimento.

### **SUGAR CANE PHENOLOGY FOR THE METEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE CENTRAL AND NORTHWEST REGION OF RIO GRANDE DO SUL**

3.2 ABSTRACT: The objective of this work was to determine the duration of the phenological stages of the sugarcane crop for the meteorological conditions of the northwest and central region of Rio Grande do Sul. For this, Field experiments from pre-budded seedlings were conducted at Frederico Westphalen and Cruz Alta. The experimental design was a completely randomized block with 4 replicates. Were used six genotypes of sugarcane: IAC87-3396 and



another 5 genotypes of the breeding program of the Federal University of Santa Maria (UFSM), which are UFSM XIKA FW, UFSM MARI FW, UFSM DINA FW, UFSM PRETA FW and UFSM LUCI FW, During the growth and development phase, the number of stems per meter (NCM) was evaluated, the diameter of the stem base (DC), the height of the stem (ES), and the yield of tonnes of stem per hectare (TCH), was determined over seven dates: at 38, 73, 103, 147, 175, 224, 266 days after transplanting the seedlings. The planting phase until the establishment of the seedlings, due to the low temperature recorded in the period, was the slowest and took 107 days to occur. The period of maximum growth and accumulation of HCT occurred from 103 to 147 days after transplantation and was responsible for 48 and 47% of TCH accumulation. and 37 and 41% of the stem elongation for Frederico Westphalen and Cruz Alta, respectively. Thus, it is concluded that the stage of emergence and establishment of culture is the slowest, the stems elongation phase is more accelerated in the meteorological conditions of the studied regions, the development and growth of the crop are directly affected by the average air temperature.

**Key Wrods:** *Saccharum* sp.. Growth, Development.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é de extrema importância para o Brasil por ser base da produção de açúcar e etanol, que é fonte de energia renovável e menos poluente se comparado com os combustíveis fósseis. Sua expressividade também se estende à comercialização in natura para alimentação animal e sua contribuição para a questão social através da geração de empregos (UNICA, 2004; BRAGATO et al., 2008).

Segundo Caputo et al. (2008), as condições meteorológicas ideais para a cultura são duas estações distintas: a primeira quente e úmida, proporcionando melhor emergência, rebrota, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo; em seguida, é importante a ocorrência de uma estação fria e/ou seca, para promover a maturação e estimular o acúmulo de açúcares nos colmos da cana-de-açúcar.

Segundo Maluf et al. (2008), sem levar em consideração fatores climáticos e aspectos agronômicos, a cana-de-açúcar tem sido cultivada no Rio Grande do Sul com variadas finalidades, como a produção de forragem, aguardente, açúcar mascavo e rapaduras. Com o aumento da demanda desta cultura, principalmente pela sua utilização na produção de etanol,

ela obteve maior importância e, conseqüentemente, maiores investimentos em pesquisa, com o objetivo de viabilizar o cultivo e diminuir a dependência de produtos derivados da cultura de outros Estados.

A partir do zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar realizado em 2008, apontaram-se as regiões sem restrições de solo e clima para a implantação da cultura para a região Sul. A ocorrência de geada é um dos graves problemas enfrentados pela cultura, pois pode restringir seu desenvolvimento e crescimento (MALUF et al., 2008).

Nos últimos anos, há um aumento na demanda mundial de açúcar e etanol, o que faz com que os canaviais avancem para regiões na qual a cultura não tinha muita importância, trazendo consigo grandes reflexos econômicos e importantes efeitos na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias para o setor, como, por exemplo, o lançamento de novas cultivares melhor adaptadas as regiões, além da mecanização da colheita e plantio (CARDOZO & SENTELHAS, 2013).

Surge, assim, a necessidade de pesquisa quanto ao comportamento do crescimento e desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, que busca cultivares que se aclimatam a região e cria novas alternativas de cultivo em vista da sustentabilidade e preservação dos recursos naturais.

A fenologia da cana-de-açúcar é dividida em quatro estádios: estágio de brotação e emergência, estágio de perfilhamento, estágio de crescimento dos colmos e estágio de maturação dos colmos (GASCHO & SHIH, 1983).

O primeiro estágio de desenvolvimento é o de brotação e estabelecimento e leva em torno de 20 a 30 dias, a depender da umidade do solo. O perfilhamento inicia em média aos 40 dias após o plantio dos toletes e pode durar até aos 120 dias. O estágio de crescimento dos colmos inicia por volta dos 120 dias após o plantio ou corte e vai até aos 270 dias, estágio no qual a planta acumula em torno de 75% da matéria seca. O último estágio, o de maturação dos colmos, inicia após aos 270 dias e vai até os 360 dias em plantios anuais, mas pode se estender por mais 6 meses. Neste último estágio ocorre a redução das taxas de crescimento e, conseqüentemente, um aumento no acúmulo de sacarose nos colmos (DIOLA & SANTOS, 2010).

O objetivo deste trabalho é caracterizar os estádios fenológicos da cana-de-açúcar determinando a duração dos estádios da cultura em dois locais no Estado do Rio Grande do Sul a partir de análise de crescimento e desenvolvimento da cultura e determinar o principal fator meteorológico que interage com o crescimento e desenvolvimento da cultura.

### 3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido através de dois experimentos: um conduzido em Frederico Westphalen - RS, no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/FW), sob as coordenadas geográficas 27°39'56" LS – 53°42'94" LW; o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Alumino Férrico e o clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical (ALVARES et al., 2013); o segundo experimento foi conduzido em uma propriedade rural do município de Cruz Alta - RS, sob as coordenadas geográficas 28°42'36" S e 53°43'12" W; o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico e o clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical (ALVARES et al., 2013).

O delineamento experimental escolhido foi o de blocos casualizado, com quatro repetições. O fator A é composto de 6 níveis, constituídos por seis genótipos de cana-de-açúcar, UFSM XIKA FW, UFSM MARI FW, UFSM DINA FW, UFSM PRETA FW, UFSM LUCI FW e IAC87-3396, sendo os cinco primeiros materiais desenvolvidos pela UFSM, e protegidos no Ministério da Agricultura, e a última cultivar, a IAC87-3396, utilizada por ser o genótipo usado para a indução de mutação para obtenção dos genótipos de código UFSM.

Os genótipos UFSM FW são os primeiros genótipos de cana-de-açúcar protegidos no ministério da agricultura do programa de melhoramento da UFSM/FW, e os primeiros genótipos de cana-de-açúcar provenientes de indução de mutação do Brasil, no qual a nova cultivar foi comprovada a partir de caracteres morfológicos claramente distinguíveis da cultivar da qual se originou, de acordo com a lei n° 9.456/97 de proteção de cultivares (BRASIL, 1997).

O método de propagação foi o de mudas pré-brotadas, com o plantio dos mini-toletes realizado no dia 28 de junho de 2017, conduzido em ambiente protegido, e o transplante ocorreu nos dias 18 de outubro de 2017 em Frederico Westphalen – RS e em 29 de outubro de 2017 para Cruz Alta – RS. O espaçamento de plantio utilizado foi o de 1.5 metros entre linhas e 0.5 metros entre plantas, seguindo as instruções e recomendação utilizadas pelo Instituto Agrônômico de Campinas (LANDELL et al., 2012).

O solo foi previamente preparado com correção do pH, com duas subsolagens e uma gradagem da área para incorporação do calcário e para posterior plantio das mudas. A adubação de NPK foi realizada em linha de plantio, respeitando as indicações técnicas para a cultura nos estados do RS e SC (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016).

As determinações medição de diâmetro do colmo na porção basal, próximo ao solo, a medição da altura dos perfilhos e a contagem dos mesmos por metro linear de sulco, foram realizadas aos 38, 73, 103, 147, 175, 224 e 266 dias após o transplante (DAT).

Os dados meteorológicos foram coletados na estação meteorológica automática do INMET de Frederico Westphalen, sob coordenadas 27°23'44" S 53°25'45" W, e Cruz Alta, sob coordenadas 28°36'12" S 53°40'24" W, distantes a 500 e 10.000 metros do experimento, respectivamente. Foram acompanhados a temperatura e o balanço hídrico de ambos os locais, com o balanço hídrico sequencial calculado através do uso da metodologia proposta por Rolim et al. (1998).

Para o cálculo do balanço hídrico sequencial é necessário estimar a capacidade de água disponível no solo (CAD), que é de 157 e 113 mm para Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente.

Após a tabulação dos dados, as variáveis foram submetidas a análise de variância com o uso do teste F, ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo programa GENES (CRUZ, 2013). Posteriormente, foi aplicada análise de regressão para as variáveis que apresentaram significância as pelo programa Sisvar (FERREIRA, 2011).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de variância, constatou-se que houve significância entre as datas de avaliação em todas as variáveis analisadas e locais, mostrando que a cana-de-açúcar teve comportamento parecido nos dois locais analisados (Tabela 1).

**Tabela 1** – Valores de F calculados pela análise de variância para Número de Colmos por Metro (NCM), Estatura de plantas (ES), e Produção de Colmos (TCH), em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA).

Causas da variação	NCM		ES		TCH	
	FW	CA	FW	CA	FW	CA
Datas (D)	267.824**	134.621**	3491.975**	1282.676**	178.86**	123.327**
Genótipos (G)	1.743 <sup>ns</sup>	2.379*	5.428**	9.723**	0.378 <sup>ns</sup>	5.72**
D x G	0.884 <sup>ns</sup>	1.216 <sup>ns</sup>	0.214 <sup>ns</sup>	1.294 <sup>ns</sup>	1.349 <sup>ns</sup>	1.504 <sup>ns</sup>
CV	16.7	16.1	12.4	7.3	26.2	26.6

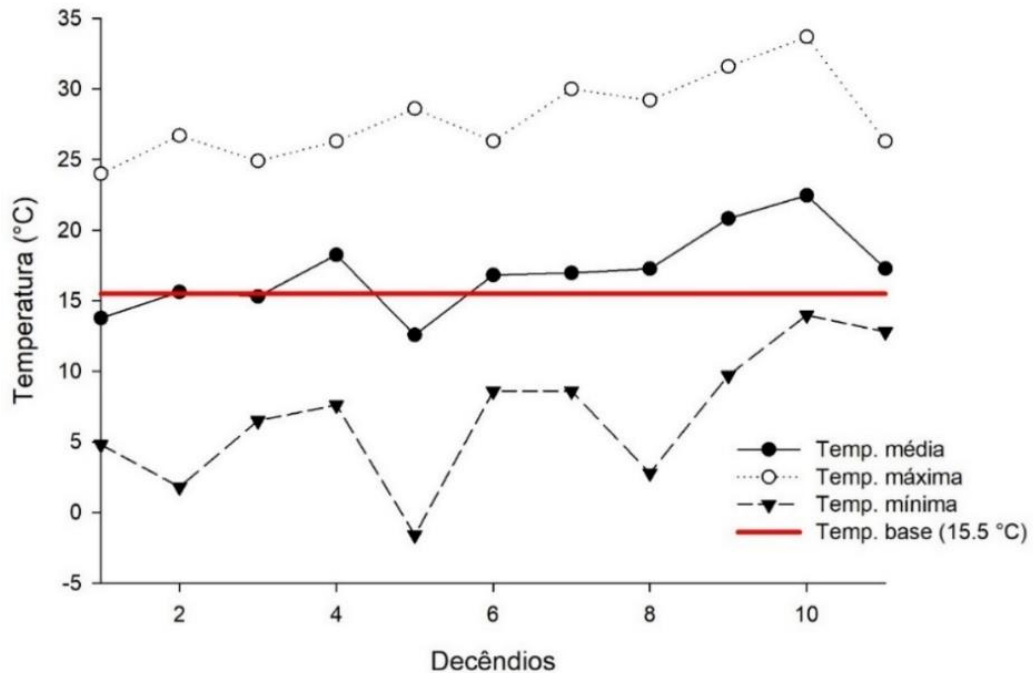
<sup>ns</sup>, \*, \*\* não significativo, significativo a 5 % e a 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Do plantio dos toletes até a emergência transcorreram-se de 30 a 35 dias, diferente de Diola e Santos (2010), e Barbieri et al. (2015), no qual o período foi de 10 a 30 dias.

Considerando o período de plantio até o estabelecimento da cultura, no qual a planta se encontra em condições de ser transplantada a campo, levou 107 dias, que foi a data no qual foi realizado o transplântio das mudas a campo. Marin et al. (2009) estabeleceram a duração do estágio de brotação e estabelecimento em média de 40 dias, podendo chegar até 60 dias; porém, para ambos os casos, os autores determinaram a duração do estágio fenológico de plantio ao estabelecimento para as condições meteorológicas da região sudeste, no qual as temperaturas médias variam de 20 a 24 °C (ALVARES et al., 2013), enquanto nas condições locais a temperatura média variou de 12,6 a 22,5 °C, e as extremas variaram de -1,6 a 33,7 °C (Figura 1) nos decêndios. Em síntese, o aumento da duração da fase de plantio até o estabelecimento em comparação aos autores citados deu-se em razão da temperatura que é inferior na região sul do país, o que prolonga o ciclo da cultura (LOPES & LIMA, 2015; SILVA et al., 2015).

A cultura tem um crescimento prejudicado na fase de emergência e estabelecimento da cultura, que pode ser nulo, quando a temperatura média do ar é inferior a 15 °C, que é a temperatura base para esta fase (BARBIERI et al., 2015; SILVA et al., 2015). Para que as plantas tenham um crescimento e desenvolvimento adequado, além de boa disponibilidade hídrica, necessitam de temperaturas médias acima de 18 °C (BARBIERI et al., 2015). Desta forma como a temperatura média do ar nos primeiros 80 dias estava muito próximo a temperatura de 15 °C, o crescimento e desenvolvimento foi praticamente nulo neste período, fazendo com que o estágio fenológico de brotação ao estabelecimento da cultura se prolongasse.

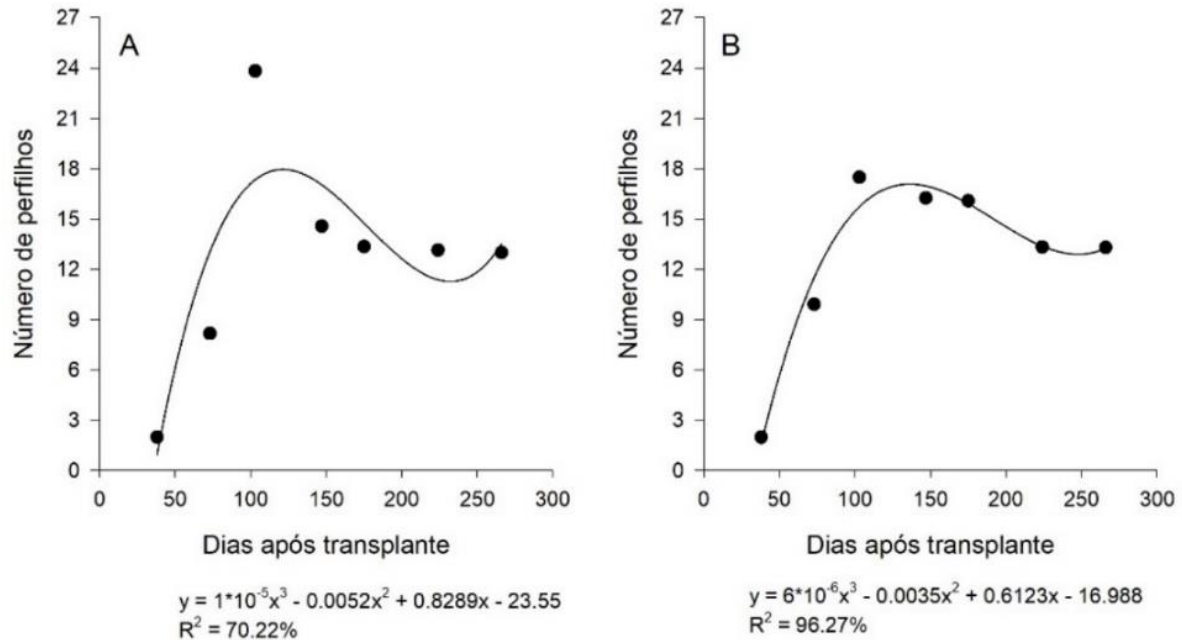
**Figura 1** – Temperaturas Máximas, Temperaturas Mínimas, Temperaturas Médias, e temperatura basal inferior durante a produção de mudas de cana-de-açúcar, Frederico Westphalen 2017.



Fonte: Autor

Em ambos os locais o número de perfilhos aumentou gradativamente, atingindo 23,8 e 17,5 perfilhos por metro linear em Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente (Figura 2). Pode-se, portanto, estabelecer que a fase de perfilhamento e estabelecimento durou 103 dias aproximadamente em ambos os locais. Estes valores foram um pouco superiores aos encontrados para a região sudeste, onde variam de 50 a 80 dias (DIOLA & SANTOS, 2010; BARBIERI et al., 2015).

**Figura 2**– Número de perfilhos por metro linear durante a fase de transplante a colheita, para Frederico Westphalen (A), e Cruz Alta (B).

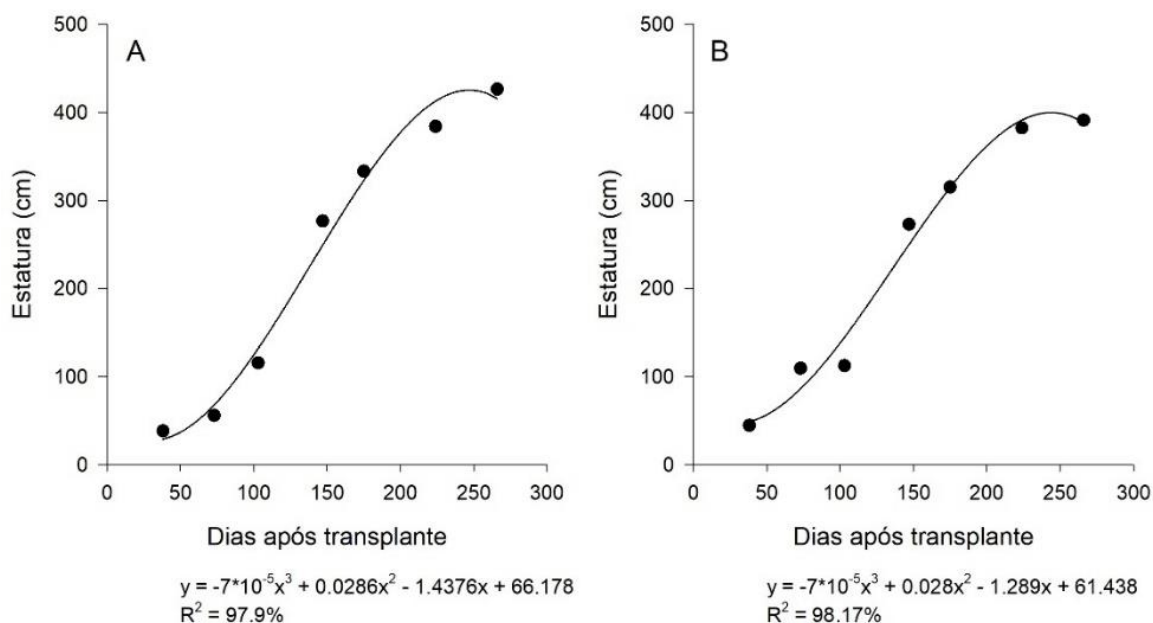


Fonte: Autor

Analisando a estatura das plantas de cana-de-açúcar verifica-se que o crescimento de colmos iniciou-se aos 103 DAT e se prolongou até os 224 DAT (Figura 3), Os resultados corroboram com os encontrados por Machado et al. (2009) que mostraram que a fase de crescimento dos colmos foi até os 250 dias após o transplante dos mesmos, porém não houve um período no qual houve um incremento mais acelerado, verificou-se que o período de crescimento mais acelerado ocorreu dos 103 aos 147 DAT, para ambos os locais (Figura 3), com um incremento de 37.8 e 41% na estatura neste período, em Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente.

Segundo Barbieri et al. (2015), durante o crescimento vegetativo é importante que a planta tenha disponibilidade hídrica para desenvolver os processos fisiológicos. Segundo Mauri et al (2017), a cana-de-açúcar não sofre redução de crescimento e desenvolvimento quando submetidos a um déficit hídrico de até 40 mm durante o ciclo da cultura.

**Figura 3** – Análise da regressão entre estatura de perfilhos e dias após transplante Frederico Westphalen (A) e Cruz Alta (B).



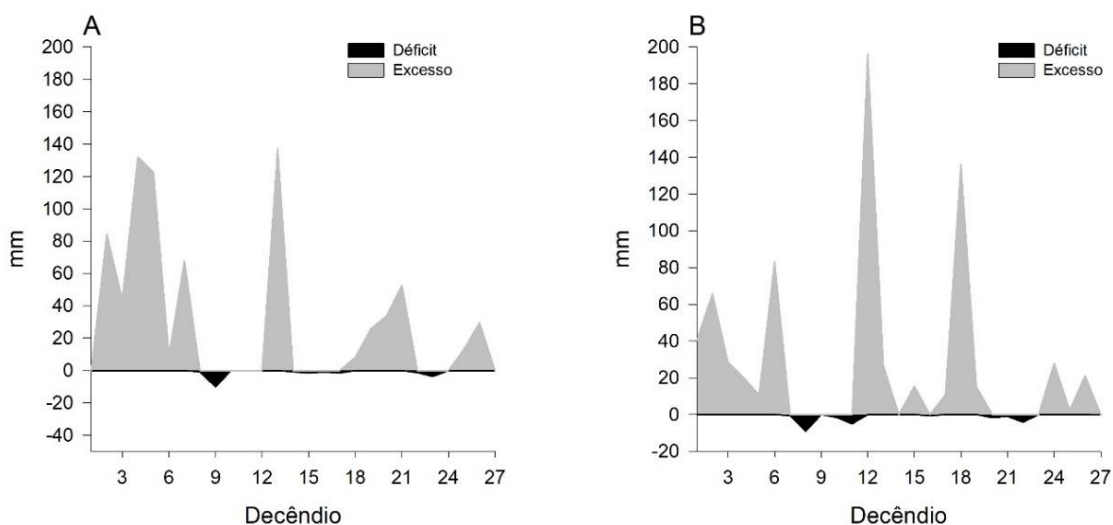
Fonte: Autor

A partir do balanço hídrico (Figura 4) dos dois locais, conclui-se que, em ambos os experimentos, o recurso hídrico não afetou o desenvolvimento da mesma, pois a precipitação foi bem distribuída e o déficit total durante o ciclo da cultura foi de 20 e 23 mm para Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente, e durante o período que a cultura teve seu máximo crescimento, não houve déficit hídrico, que compreende o 11º até o 15º decêndio (Figura 4).

Segundo Carvalho et al. (2015), com o cenário de eventuais mudanças climáticas, a tendência é de aumento das temperaturas e redução da precipitação na região nordeste do Brasil, provocando redução em áreas e produtividade, e a região sul surge como uma alternativa a expansão da cultura. Para a região no qual o presente estudo foi realizado, o recurso hídrico não afeta o crescimento da cultura, tendo em vista a boa distribuição das precipitações ao longo do ano, chegando a um acumulado anual de 1990 a 2500 mm (ALVARES et al., 2013).



**Figura 4** – Balanço hídrico sequencial para Frederico Westphalen (A) e Cruz Alta (B) durante o período experimental.



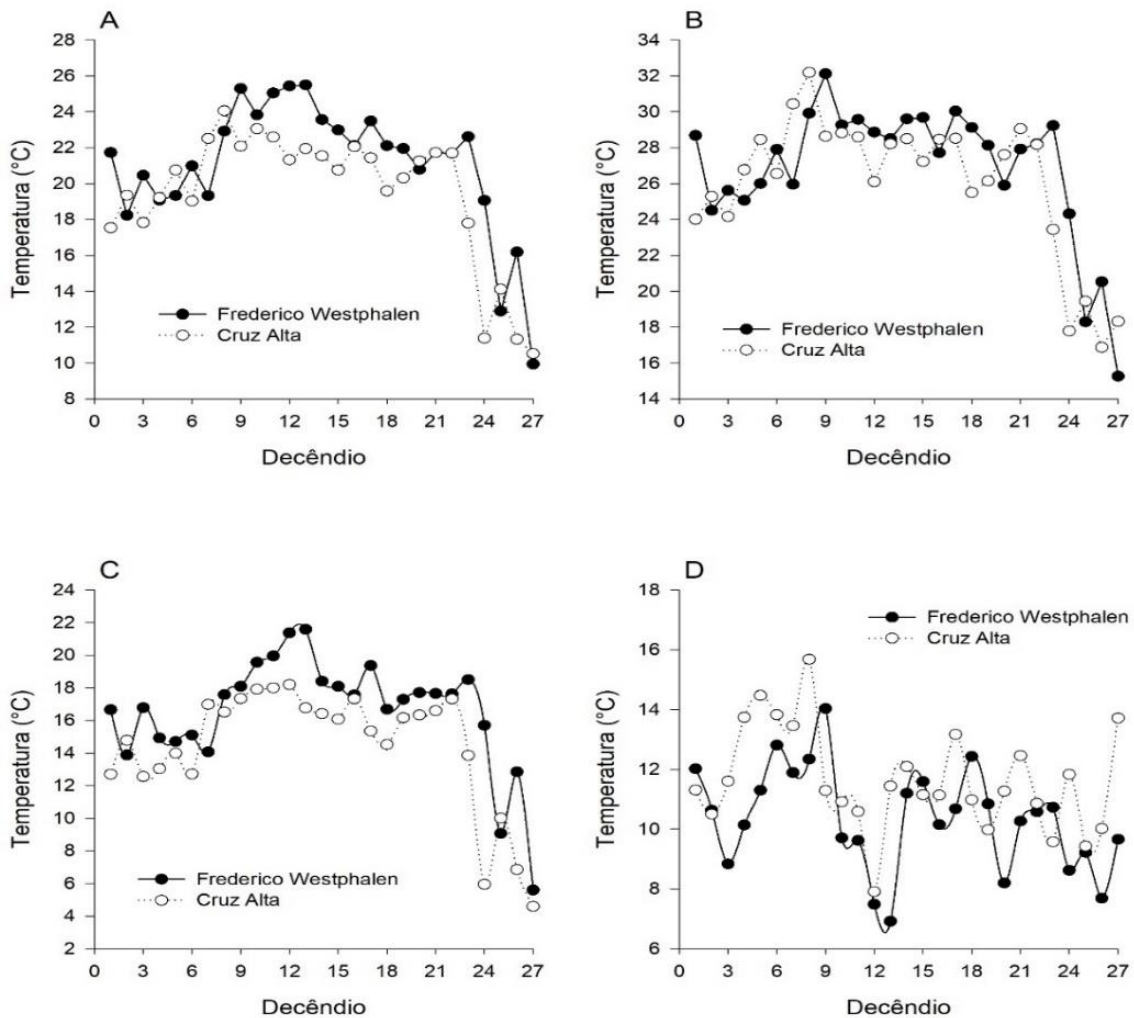
Fonte: Autor

Para que o crescimento ocorra de forma acelerada, ou seja, a planta tenha seu potencial fisiológico maximizado, sem que ocorram perdas à cultura, é essencial que não ocorram temperaturas abaixo da temperatura basal inferior e acima da temperatura basal superior (BARBIERI et al., 2015), mantendo-se preferencialmente entre 18 °C e 31 °C (MARIN et al., 2009; BARBIERI et al., 2015).

Analisando a temperatura média máxima e mínima (Figura 5 A, B e C), verifica-se que o período de máximo crescimento coincide com as maiores temperaturas (decêndio 10 ao 15), corroborando com Barbieri et al. (2015), e Silva et al. (2015). Segundo estes autores, para que o máximo de crescimento ocorra, a temperatura média deve ser acima de 21 °C e a máxima abaixo de 32 °C. Segundo os mesmos autores, a baixa amplitude térmica também favorece o crescimento da cultura, corroborando com os resultados encontrados na Figura 5 D, mostrando que o período de maior crescimento é o período que há a menor amplitude térmica.

A partir dos 240 dias após o transplante, observa-se que o crescimento das plantas (Figura 3) é reduzido devido a diminuição gradativa da temperatura e ocorre o início do acúmulo de sacarose configurando o estágio de maturação da cana-de-açúcar. Para a maturação, ou seja, a redução do crescimento vegetativo e o acúmulo de sacarose, é necessário ocorrer um déficit hídrico ou uma diminuição da temperatura (DARLI et al., 2008; CARDOZO & SENTELHAS, 2013; BARBIERI et al., 2015), corroborando com o observado nos experimentos conduzidos neste trabalho.

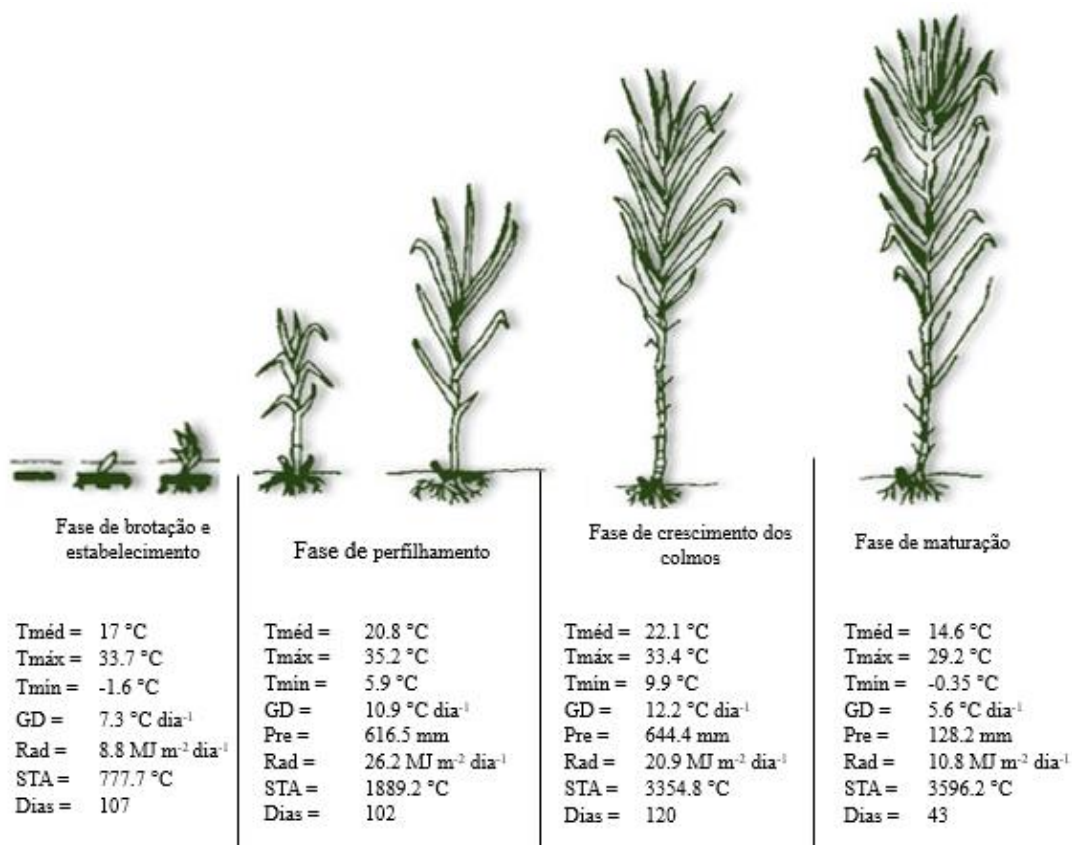
**Figura 5** – Temperatura Média (A), Temperatura Máxima (B), Temperatura Mínima (C) e Amplitude Térmica (D), para Frederico Westphalen e Cruz Alta durante o período de crescimento e desenvolvimento da cultura no campo.



Fonte: Autor

A partir dos dados apresentados, é possível ajustar a escala fenológica para a cana-de-açúcar para as regiões noroeste e central do Rio Grande do Sul (Figura 7), no qual é possível verificar que a fase de crescimento de colmos é a fase com temperaturas mais elevadas e, conseqüentemente, maior acúmulo de graus-dias, o que indica uma resposta positiva do crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar ao acúmulo da soma térmica..

**Figura 6** – Fenologia da cana-de-açúcar, T<sub>méd</sub> = temperatura média; T<sub>máx</sub> = temperatura máxima; T<sub>mín</sub> = temperatura mínima; GD = graus-dia; Pre = precipitação; Rad = radiação; STA = soma termica acumulada; Dias = duração cronologica da fase.



Fonte: adaptado de (GASCHO & SHIH, 1983).

### 3.6 CONCLUSÕES

A cultura da cana-de-açúcar na região noroeste central do Rio Grande do Sul, tem um comportamento diferente de outras regiões, na qual os estádios de emergência a estabelecimento e perfilhamento da cultura é mais lento devido a baixas temperaturas do ar. Porém, o crescimento e alongação de colmos é mais acelerado devido à elevação da temperatura e boa disponibilidade hídrica.

A região noroeste e central do Rio Grande do Sul possui condições climáticas favoráveis para o crescimento e desenvolvimento da cultura, com precipitações regulares e temperatura elevada durante a fase de crescimento do colmo, e períodos de temperaturas baixas que propiciam a maturação da cana-de-açúcar e o máximo acúmulo de sacarose.

### 3.7 AGRADECIMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

### 3.8 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728. 2013.

BARBIERI, V., et al. Modelos matemático-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. In: F. C. D. Silva, B. J. R. Alves, *et al* (Ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2015. Modelos matemático-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar, p.436-489.

BRAGATO, I. R., et al. Produção de açúcar e álcool vs. responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas. **Revista Gestão & Produção**, v.15, n.1, p.89-100. 2008.

BRASIL. Decreto-lei nº 9.456, de 25 de Abril de 1997. **Lei de Proteção de Cultivares**. Brasília, DF 1997.

CAPUTO, M. M., et al. respostas de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v.67, n.1, p.15-23. 2008.

CARDOZO, N. P.; P. C. SENTELHAS. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agricola**, v.70, n.6, p.449-456. 2013.

CARVALHO, A. L. D., et al. Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. **Renewable Energy**, v.78, p.26-34. 2015.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276. 2013.

DARLI, A. B., et al. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, v.13, n.1, p.1-11. 2008.

DIOLA, V.; F. SANTOS. Fisiologia. In: F. Santos, A. Borém, *et al* (Ed.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa: Editora UFV, 2010. Fisiologia, p.25-49

FABRIS, L. B., et al. Produtividade e desempenho de cana soca cultivada em diferentes espaçamentos e doses de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Agrarian**, v.6, n.21, p.252-258. 2013.

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

GASCHO, G. J.; S. F. SHIH. Sugarcane. In: I. D. Teere e M. M. Peet (Ed.). **Crop-water relations**. New York: A wirley interscience, 1983. Sugarcane, p.445-479

LANDELL, M. G. D. A., et al. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Campinas, SP: Documentos IAC: 16 p. 2012.

LOPES, N. F.; M. G. S. LIMA. **Fisiologia da Produção**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2015. 492 p.

MACHADO, R. S., et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1575-1582. 2009.

MALUF, J. R. T., et al. Zoneamento agroclimático atualizado para a cultura da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, visando à produção de açúcar e álcool. Fepagro. Porto Alegre: Boletim Fepagro: 78 p. 2008.

MARIN, F. R., et al. Cana-de-açúcar. In: J. E. B. A. Monteiro (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. Cana-de-açúcar, p.530

MARTINS, A. L. M.; M. G. A. LANDELL. Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC. Pindorama: Instituto Agrônomo: 45 p. 1995.

MAURI, R., et al. Water Relations at the Initial Sugarcane Growth Phase under Variable Water Deficit. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.2, p.268-276. 2017.

OLIVEIRA, R. A. D., et al. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.2, p.71-76. 2007.

ROLIM, G. S., et al. Planilhas no ambiente EXCEL<sup>TM</sup> para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de culturas e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.1, p.133-137. 1998.

SILVA, F. C., et al. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: F. C. Silva, B. J. R. Alves, *et al* (Ed.). **Sistema de Produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada a produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2015. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima, p.288-359

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para o estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. - [s. l.] : Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. 2016

UNICA. Açúcar e álcool: responsabilidade social numa história de desenvolvimento sustentável. São Paulo: União da Indústria de Cana-de-açúcar: 16 p. 2004.

#### **4 ARTIGO III – PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE RENDIMENTO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA DIFERENTES REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL**

4.1 RESUMO: O objetivo deste trabalho é determinar a produtividade e os componentes de rendimento de seis genótipos de cana-de-açúcar, no sistema de mudas pré-brotadas, nos municípios de Frederico Westphalen, na região noroeste, e Cruz Alta, na região central, ambos no Estado do Rio Grande do Sul. Cultivadas sob dois espaçamentos 0,33 e 0,50 metros entre plantas. Os genótipos de cana-de-açúcar utilizados foram: UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, IAC87-3396. Os genótipos UFSM são provenientes do processo de mutação do programa de melhoramento da Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen, e possuem tolerância a baixas temperaturas. O delineamento experimental foi o fatorial de blocos casualizados com 4 repetições. Foi determinado a produtividade de colmos por hectare e a influência direta e indireta dos componentes de rendimento, diâmetro médio de colmo (DC), número médio de colmos por metro (NCM) e comprimento médio de colmos (CC) sobre a produtividade a partir de correlação de Pearson e análise de trilha, sendo constatado que o cultivo no espaçamento de 0.33 metros entre plantas, proporcionou maior produtividade com aumento de 22,9%. Em Frederico Westphalen, a produtividade de toneladas de colmos por hectare (TCH) foi 22,1 % superior a Cruz Alta, NCM e o CC são os caracteres com maior influência sobre a produtividade, e ambos os locais de estudo obtiveram alto desempenho produtivo, sendo recomendados para o cultivo da cana-de-açúcar.

**Palavras chaves:** *Sacharum* ssp.. Produção. Melhoramento. Componentes de rendimento.

#### **PRODUCTIVITY AND COMPONENTS OF YIELD OF SUGARCAN GENOTYPES TO DIFFERENT REGIONS OF RIO GRANDE DO SUL**

4.2 ABSTRACT: The objective of this study is to determine the yield and the yield components of six sugarcane genotypes, in the pre-sprouted seedlings system, in the municipalities of Frederico Westphalen, in the northwest region, and Cruz Alta, in the central region, both in the State of Rio Grande do Sul. Cultivated under two spacings 0.33 and 0.50 meters between plants. The genotypes of sugarcane used were: UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, IAC87-3396. The UFSM genotypes come from the

process of mutation of the breeding program of the Federal University of Santa Maria campus of Frederico Westphalen and have tolerance to low temperatures. The experimental design was the randomized block factorial with 4 replicates. It was determined sugarcane productivity per hectare, and the direct and indirect influence of yield components, mean diameter of stem (DC), number of stems per meter (NCM), and mean length of stems (CC), about on productivity, from Pearson correlation and path analysis, being verified that the cultivation in spacing of 0.33 meters among plants, provided higher productivity with increase of 22.9%. In Frederico Westphalen, productivity of tons of stems per hectare (TCH) was 22.1% higher than Cruz Alta, NCM and CC are the characters with the greatest influence on productivity, and both places of study obtained high productive performance, being recommended for the cultivation of sugarcane.

**Key words:** *Saccharum ssp.*. Production. Breeding. Yield components.

#### 4.3 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é de extrema importância para o Brasil por ser base da produção de açúcar e etanol, este último como fonte de energia renovável e menos poluente comparado com os combustíveis fósseis. Sua expressividade também se estende à comercialização in natura para alimentação animal e contribui para a questão social através da geração de empregos (UNICA, 2004; BRAGATO et al., 2008).

Caputo et al. (2008) classificam a importância da cultura da cana-de-açúcar em decorrência de sua múltipla utilidade, sendo utilizada como forragem para alimentação animal e como matéria prima para fabricação de rapaduras, melado, aguardente, álcool e açúcar. Seus resíduos também são de valiosa importância econômica: o vinhoto pode ser empregado como adubo, rico em nitrogênio, e o bagaço empregado como fonte de energia térmica.

Segundo Silva et al. (2014), a cultura se destaca pelo seu alto potencial de produção de biomassa e energia anual por unidade de área. Acrescentam que, a cultura vem se destacando desde 2006 e, devido ao seu potencial, estima-se um acréscimo de 40 % na área plantada e um aumento de 100 % na produção até o ano de 2024.

Os avanços tecnológicos para a cultura, tais como o controle biológico, o reaproveitamento de resíduos como torta de filtro e vinhaça, as operações mecanizadas com piloto automático, as novas variedades genéticas e o controle de qualidade, garantem à

produção brasileira grande excelência, que justificam o país como um dos principais exportadores do mundo no setor sucroalcooleiro, e maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção anual de 768 milhões de toneladas, seguido por Índia com, 341 milhões de toneladas (FAO, 2018). Entretanto, mesmo com todos os avanços alcançados, ainda existe a necessidade de estudos que permitam incrementar ainda mais produtividade e qualidade, visando aumentar a margem de lucro dos produtores.

Segundo Cardozo e Sentelhas (2013), há um aumento na demanda mundial de açúcar e etanol, o que faz com que os canaviais avancem para regiões na qual a cultura não tinha muita importância, trazendo consigo grandes reflexos econômicos e importantes efeitos na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias para o setor, como o lançamento de novas cultivares melhor adaptadas as novas regiões, além da mecanização da colheita e plantio.

As condições meteorológicas têm grande influência sobre a qualidade e produtividade da cana-de-açúcar, principalmente a temperatura e precipitação. Para (SILVA et al., 2015; ZHAO & LI, 2015), o estresse hídrico afeta o crescimento e desenvolvimento da cultura, provocando modificações anatômicas, morfológicas, bioquímicas e fisiológicas, sendo um fator limitante de crescimento e produtividade das culturas; a temperatura, por sua vez, afeta a cultura pela influência direta no metabolismo, provocando danos à anatomia, morfologia, bioquímica e fisiologia e afeta a respiração de manutenção e fotossíntese da planta, tanto sob altas ou baixas temperaturas (LOPES & LIMA, 2015).

Frente à demanda de aumento da produção e do esgotamento de áreas para o cultivo da cana-de-açúcar na região sudeste, a mesma vem se expandindo para novas regiões. Segundo Maluf et al. (2008), a cana-de-açúcar tem sido cultivada no Rio Grande do Sul com variadas finalidades: produção de forragem, aguardente, açúcar mascavo, rapaduras, sem levar em consideração fatores climáticos e aspectos agronômicos. Com o aumento da demanda desta cultura, principalmente pela sua utilização na produção de etanol, ela obteve maior importância e, conseqüentemente, maiores investimentos em pesquisa, com o objetivo de viabilizar o cultivo e diminuir a dependência de produtos derivados da cultura de outros Estados.

Segundo dados da Conab (2018), a produção da safra 2017 de cana-de-açúcar foi de 633,27 milhões de toneladas de colmo. Para a safra de 2018/19, a estimativa da entidade é de aumento de 0,4% na produção total, mesmo com a redução de 0,8% da área de colheita; para isso, a produtividade, que foi de 72,543  $\text{Tha}^{-1}$  em 2017, terá um aumento estimado de 1,1% e atingirá o valor esperado de 73,373  $\text{Tha}^{-1}$ .



A produtividade média dos canaviais na região Sul é de 64,16  $\text{Tha}^{-1}$ . Esse número é considerado baixo para a cultura. A região sul possui uma das produtividades mais baixas em comparação as demais regiões, o que está atrelado, principalmente, a falta de investimentos no setor e a falta de estudos sobre a viabilidade e de novas cultivares melhor adaptadas para a região (CONAB, 2018)

O Rio Grande do Sul possui, atualmente, apenas uma usina de beneficiamento de cana-de-açúcar para a produção de álcool, com produção anual de 2.485 mil litros, mas com expectativa de aumento de 28,8% para a safra 2018/19, e com área de cultivo estimada em 1,2 mil hectares. A produção e áreas cultivadas no Rio Grande do Sul são pouco relevantes no cenário nacional, fazendo com que a maioria dos produtos derivados da cana-de-açúcar, principalmente etanol e açúcar, sejam comprados de outros estados da federação (CONAB, 2018).

Apesar da produção de cana-de-açúcar do Rio Grande do Sul ser pouco expressiva no cenário nacional, com área cultivada de apenas 1,2 mil hectares, as áreas aptas para a expansão da cultura no estado são de 104,7 mil hectares, tornando o estado capaz de aumentar em 87 vezes a área atual de cultivo (MANZATTO et al., 2009).

A partir do zoneamento agroclimático, apontou-se as regiões sem restrições de solo e clima para a implantação da cultura. Na região Sul, um dos graves problemas enfrentados pela cultura é o risco ocorrência de geadas (MALUF et al., 2008), que podem restringir seu desenvolvimento.

Segundo Maluf et al. (2008) o zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar, para Rio Grande do Sul a região noroeste do estado possui indicação de cultivo por possuir baixo risco de geadas e precipitação pluviométrica acima do exigido pela cultura sendo a mesma bem distribuída, já a região central do estado possui alta precipitação pluviometria sendo a mesma bem distribuída, porém não possui indicação de cultivo devido ao alto risco de danos a cultura pela baixa temperatura.

A metade norte do Rio Grande do sul satisfaz a exigência da cultura não sendo um fator restritivo para a cultura, porém na metade sul do estado a precipitação é inferior em alguns anos agrícolas e distribuída de forma irregular podendo prejudicar o crescimento e desenvolvimento da cultura.

O objetivo deste trabalho é avaliar os aspectos de produtividade de genótipos de cana-de-açúcar desenvolvidos pelo programa de melhoramento em cana-de-açúcar da Universidade Federal de Santa Maria e a produtividade e qualidade do mesmo, bem como determinar a

influência direta e indireta dos componentes de produção sobre a produtividade de colmos por hectare.

#### 4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido através de dois experimentos: um conduzido em Frederico Westphalen - RS, no campus da Universidade Federal de Santa Maria, sob as coordenadas geográficas 27°39'56" LS – 53°42'94" LW; o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Alumino Férrico e o clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical (ALVARES et al., 2013), o segundo experimento foi conduzido em uma propriedade rural do município de Cruz Alta - RS, sob as coordenadas geográficas 28°42'36" S e 53°43'12" W; o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico e o clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical (ALVARES et al., 2013).

O delineamento experimental escolhido para Frederico Westphalen foi o de blocos casualizado e fatorial, com quatro repetições. O fator A é composto de 6 níveis, constituídos por seis genótipos: UFSM XIKA FW, UFSM MARI FW, UFSM DINA FW, UFSM PRETA FW, UFSM LUCI FW e IAC87-3396. Os cinco primeiros genótipos são protegidos no Ministério da Agricultura pela UFSM, e o último genótipo, a IAC87-3396, por ser o genótipo utilizado para a indução de mutação para obtenção dos genótipos de código UFSM. Já o fator B conta de 2 níveis, sendo eles dois espaçamentos 0,5m e 0,33m entre plantas, representando uma densidade de 13.333 e 20.200 mudas por hectare.

O delineamento experimental escolhido para Cruz Alta foi o de blocos casualizados com 4 repetições, sendo os tratamentos constituídos por seis genótipos: UFSM XIKA FW, UFSM MARI FW, UFSM DINA FW, UFSM PRETA FW, UFSM LUCI FW e IAC 87-3396. Os cinco primeiros genótipos são protegidos no Ministério da Agricultura pela UFSM, e o último genótipo, a IAC87-3396, por ser o genótipo utilizado para a indução de mutação para obtenção dos genótipos de código UFSM FW.

Os genótipos UFSM FW são os primeiros genótipos de cana-de-açúcar protegidas no ministério da agricultura, e os primeiros genótipos de cana-de-açúcar provenientes de indução de mutação, na qual a nova cultivar foi comprovada a partir de caracteres morfológicos, claramente distinguíveis do genótipo da qual se originou, de acordo com a lei n° 9.456/97 de proteção de cultivares.

O método de propagação foi o de mudas pré-brotadas, com o plantio dos mini-toletes realizado no dia 28 de junho de 2017, conduzido em ambiente protegido. o transplante ocorreu

nos dias 18 de outubro de 2017 em Frederico Westphalen – RS e em 29 de outubro de 2017 para Cruz Alta – RS.

O solo foi previamente preparado com correção do pH, e subsequente realizado duas subsolagens e uma gradagem da área para incorporação do calcário e preparo para o plantio das mudas. A adubação de NPK foi realizada em linha de plantio, respeitando as indicações técnicas para a cultura nos estados do RS e SC (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016).

A colheita ocorreu 347 dias após o plantio dos toletes, para ambos os experimentos, e foi avaliado o rendimento e seus componentes a partir da coleta de 2 colmos por unidade experimental. Foi realizada a aferição de área folhar (AF) de cada colmo, índice de área folhar (IAF), contagem de números de colmo por metro linear, estatura de planta, comprimento do colmo, número de nós, comprimento de entrenós, peso do colmo, peso do bagaço úmido e peso do bagaço seco, porcentagem de fibra, sólidos solúveis totais dos terços e do caldo, volume de caldo, diâmetro do colmo e índice de maturação.

Para a aferição da AF, utilizou-se a metodologia proposta por Hermann e Câmara (1999), através da equação:  $AFc = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$ , Onde: AFc representa a área folhar do colmo; C representa o comprimento da folha +3 do colmo; L representa a maior largura da folha +3; 0,75 é o fator de forma; N número de folhas expandidas e com pelo menos 20% de área verde. O IAF denominado por Watson (1947) é a razão entre a área folhar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo ( $m^2m^{-2}$ ).

Com auxílio de fita métrica, foi realizada a aferição do comprimento do colmo e do comprimento da ponteira dos colmos. Com o auxílio de paquímetro digital, foi realizada a aferição do diâmetro de colmo. Os colmos foram pesados em balança de precisão para determinar a massa fresca do mesmo e o rendimento de toneladas de colmos por hectare, multiplicando a massa média dos colmos pela quantidade dos mesmos por hectare.

Em seguida, o colmo foi processado em moenda para extração do caldo. A partir deste processo, avaliou-se o volume de caldo extraído, brix do caldo, massa do bagaço úmido e a massa do bagaço seco após sua secagem em estufa de ar forçado.

O bagaço úmido foi levado para estufa de secagem até adquirir massa constante para determinação da quantidade de fibra (%) pelo método de Tanimoto, descrito no manual da Consecana (2006) e calculado pela seguinte equação:  $F = [(100 \times PBS) - (PBU \times B)] \div [5 \times (100 - B)]$ , onde: PBS representa o peso do bagaço seco; PBU representa o peso do bagaço úmido; e B representa o brix do caldo.

Para a aferição dos sólidos solúveis totais dos terços, dois colmos de cada parcela foram coletados ao final do ciclo da cultura, e divididas em base, meio e ápice, e em cada uma destas porções foi realizado a análise dos sólidos solúveis com auxílio de refratômetro analógico.

Após todos estes processos, foi calculado o índice de maturação da cana-de-açúcar, no qual são coletados o valor de sólidos solúveis totais da base e do ápice do colmo, e o índice é calculado a partir da divisão do sólidos solúveis do ápice pelo sólidos solúveis do da base do colmo (CESNIK & MIOCQUE, 2004; MOURA et al., 2014; SILVA et al., 2015).

Após a tabulação dos dados, as variáveis foram submetidas a análise de variância utilizando o teste F, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Posteriormente, para as variáveis com variação significativa, foi aplicado o teste de comparação de médias de Scott e Knott. Em seguida foi obtida as estimativas de correlação de Pearson entre os caracteres avaliados e, posteriormente, os caracteres que determinam a produtividade de colmos foram submetidos a análise de trilha para determinar os efeitos diretos e indiretos de cada um dos componentes analisados, bem como a determinação do sentido do efeito. Todas as análises foram realizadas pelo programa Genes (CRUZ, 2013).

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância (Tabela 1), foi constatado que não houve diferença significativa entre os genótipos analisados em todos os parâmetros avaliados e não houve interação entre os fatores espaçamento e genótipos. Apenas foi constatado significância entre os espaçamentos de 0,50 e 0,33 metros entre plantas na produtividade, índice de área folhar e no número de colmos por metro linear.

**Tabela 1** – Resultado da análise de variância para Comprimento de colmo (CC), Peso do Colmo (PC), Produtividade (PD), Índice de Área Folhar (IAF), Número de Colmos por metro de sulco (NCM), Brix Caldo (BC), Brix Ápice (BA), Brix Médio (BM), Brix Base (BB) e Estatura de Plantas (AL), para 6 genótipos de cana-de-açúcar avaliados em cana planta sob duas densidades de plantio em Frederico Westphalen, 2018.

FV	GL	Quadrado Médio				
		CC	PC	PD	IAF	NCM
Blocos	3	819.58 <sup>ns</sup>	68503.38 <sup>ns</sup>	411.89 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	2.06 <sup>ns</sup>
Genótipos	5	472.86 <sup>ns</sup>	29129.9 <sup>ns</sup>	406.59 <sup>ns</sup>	0.4 <sup>ns</sup>	5.06 <sup>ns</sup>
Espaçamento	1	867.0 <sup>ns</sup>	50537.63 <sup>ns</sup>	19775.85 <sup>**</sup>	28.97 <sup>**</sup>	234.17 <sup>**</sup>
Gen. X Esp.	5	463.4 <sup>ns</sup>	18099.39 <sup>ns</sup>	501.15 <sup>ns</sup>	0.8 <sup>ns</sup>	2.14 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	507.86 <sup>ns</sup>	38252.06 <sup>ns</sup>	651.3 <sup>ns</sup>	1.16 <sup>ns</sup>	2.8 <sup>ns</sup>
CV (%)		11.4	12.6	16.3	17.2	11

FV	GL	Quadrado Médio				
		BC	BA	BM	BB	AL
Blocos	3	6.68 <sup>ns</sup>	8.82 <sup>ns</sup>	4.38 <sup>ns</sup>	7.87 <sup>ns</sup>	2144.97 <sup>ns</sup>
Genótipos	5	0.93 <sup>ns</sup>	2.04 <sup>ns</sup>	0.86 <sup>ns</sup>	1.44 <sup>ns</sup>	635.34 <sup>ns</sup>
Espaçamento	1	1.06 <sup>ns</sup>	6.23 <sup>ns</sup>	0.85 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	251.85 <sup>ns</sup>
Gen. X Esp.	5	0.91 <sup>ns</sup>	2.76 <sup>ns</sup>	0.75 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	1187.75 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	1.15 <sup>ns</sup>	2.37 <sup>ns</sup>	1.26 <sup>ns</sup>	1.11 <sup>ns</sup>	727.37 <sup>ns</sup>
CV (%)		6.12	9.8	6.3	5.6	6.4

\*\* significativo a 1 %; ns = não significativo.

Para o experimento conduzido em Frederico Westphalen, constata-se a diferença na produtividade alcançada entre os espaçamentos (Tabela 2). Para o espaçamento de 0,50 m foi de 136 t ha<sup>-1</sup> e para o espaçamento de 0,33 m a produtividade foi de 177 t ha<sup>-1</sup>; ou seja, a redução do espaçamento entre plantas proporcionou um aumento de 22,9% ou 40,6 t ha<sup>-1</sup>, resultados que diferem de Oliveira (2016), que testou três diferentes densidades de plantio e não encontrou diferença significativa entre estes para a variável produtividade de colmos para o município de Santa Cruz das Palmeiras/SP.

**Tabela 2** – Produtividade de toneladas por hectare (PD), Índice de Área folhar (IAF) e Número de colmos por metro no sulco (NCM), em dois espaçamentos de plantio de 0,33 e 0,50 metros entre plantas, Frederico Westphalen 2018.

Espaçamento	PD	IAF	NCM
0.33	177.1 a	7.03 a	17.4 a
0.5	136.5 b	5.47 b	13 b
CV (%)	16,3	17,2	11,01

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade de erro.

Verificou-se que ambos os caracteres tiveram correlação positiva, porém, apenas o caractere NC foi significativo a 1% pelo teste *t* (Tabela 3), sendo este coeficiente relativamente elevado, indicando que para um eventual aumento de NC ocorreria aumento em TCH, corroborando com os resultados encontrados por Ferreira et al. (2007), que encontrou um coeficiente de 0,60 para este mesmo caractere; Silva, F. L. D et al. (2009b) encontrou correlação de 0,73; e Espósito et al. (2011), encontraram coeficientes que variaram entre 0,80 e 0,94 para 4 análises realizadas em cana-planta e cana-soca.

**Tabela 3** - Correlação entre comprimento do colmo, diâmetros do colmo e número de colmos por metro linear de sulco, com a produtividade da cana-de-açúcar em dois espaçamentos 0,33 e 0,50 m entre plantas, em Frederico Westphalen 2018.

Variáveis	Correlação	Grau da correlação
Comprimento do Colmo	0.252505	Fraca
Diâmetro Colmo	0.088313	Bem fraca
Número de Colmos por metro Linear	0.767411 **	Forte

\*\* significativo a 1% pelo teste t.

Segundo Silva et al (2009b), a correlação tem grande utilidade pois apresenta o tipo de influência (positiva e negativa), e a magnitude da mesma, porém ela não fornece os efeitos diretos e indiretos entre os caracteres sobre a produtividade. Dessa forma, é recomendado realizar a análise de trilha (Tabela 4), que demonstrou que os efeitos diretos de todos os caracteres foram positivos e os efeitos indiretos foram todos negativos, sendo possível constatar que o efeito direto do NC sobre TCH foi de 0,93 e foi reduzido para 0,76 devido os efeitos negativos

do DC e CC sobre o NC. Este resultado corroborou com os encontrados por Ferreira et al. (2007), que obteve respostas similares, e diferem de Espósito et al (2011) e Silva et al (2009b), que encontraram efeitos indiretos positivos de DC e CC sobre TCH via NC.

**Tabela 4** – Análise de trilha dos componentes de produção Comprimento de Colmo (CC), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Colmos por metro linear (NCM) sobre a produção em toneladas de colmos por hectare (TCH).

Caracteres	Estimativa
CC	
Efeito direto sobre TCH	0.4489
Efeito indireto via DC	-0.0342
Efeito indireto via NCM	-0.1622
Total	0.2525
DC	
Efeito direto sobre TCH	0.3547
Efeito indireto via CC	-0.0342
Efeito indireto via NCM	-0.2382
Total	0.0731
NCM	
Efeito direto sobre TCH	0.9356
Efeito indireto via CC	-0.0778
Efeito indireto via DC	-0.0903
Total	0.7674**
P <sub>a</sub>	0.3778
R <sup>2</sup>	0.8573

\*\* significativo a 1% pelo teste *t*. P<sub>a</sub> Efeito da variável residual; e R<sup>2</sup> coeficiente de determinação

O IAF foi superior no espaçamento de 0,33 em 22,2% (Tabela 2), proporcionando maior interceptação de radiação solar, aumentando sua capacidade fotossintética (JUNIOR et al., 2015), pela correlação de Pearson (Tabela 5) a variável que obteve a maior correlação com o IAF, foi o número de colmos por metro linear de sulco, sendo o principal caractere responsável pela diferença significativa no IAF entre os espaçamentos.

**Tabela 5** – Coeficientes de correlação de Pearson para a média de largura e comprimento da folha +3 do colmo, número médio de folhas com mais de 20% de área verde, área folhar média dos colmos, e media de colmos por 1 metro de sulco com o Índice de Área Folhar da cana-de-açúcar em dois espaçamentos 0,33 e 0,50 m entre plantas em Frederico Westphalen 2018.

Variável	Correlação	Grau da correlação
Largura da folha +3	0.1875 <sup>ns</sup>	Bem fraca
Comprimento da folha +3	0.4989 <sup>**</sup>	Moderada
Número de folhas	0.21 <sup>ns</sup>	Fraca
Área folhar do colmo	0.485 <sup>**</sup>	Moderada
Colmos por metro	0.7348 <sup>**</sup>	Forte

\*\* Significativo a 1% pelo teste t; ns – não significativo.

O número de colmos por metro linear (Tabela 2) no espaçamento 0,33 m foi estatisticamente superior em 25,3%, sendo este a principal variável responsável pela variação do índice de área folhar e pela produtividade entre as diferentes densidades de plantas.

Foi possível constatar que a densidade de plantas não influencia alguns caracteres como comprimento de colmo e diâmetro de colmo, resultado que corrobora com os encontrados por Oliveira (2016), que constatou que a densidade de plantio não influi em alguns caracteres como comprimento de colmo e influi apenas no número de colmos industrializáveis por área.

Nenhum dos parâmetros analisados diferiu pelos testes estatísticos (Tabela 6), porém foi constatado maior concentração de sólidos solúveis nos genótipos UFSM, com o genótipo UFSM LUCI FW obtendo maior concentração na base do colmo, meio do colmo e no sólidos solúveis médio do caldo, sendo que na primeira variável obteve um aumento de 6% na concentração dos sólidos solúveis em comparação com a cultivar testemunha IAC87-3396. Já nos sólidos solúveis totais do caldo, a mesma cultivar obteve um incremento de 4,4% em comparação com a testemunha, valores que apesar de não diferirem estatisticamente, demonstram a superioridade agrônômica das variedades desenvolvidas especificamente para as condições meteorológicas locais da região sul, dando qualidade ao colmo e maior rentabilidade da cultura.

Os valores de Sólidos solúveis do caldo encontrados variaram de 17,2 a 18,0. Entretanto, Anjos et al. (2006), em experimento realizado em Minas Gerais, encontrou teores que variaram de 16,7 a 17,48, o que demonstra o potencial da cultura no Estado do Rio Grande do Sul.



Segundo critérios de Silva et al. (2015), que caracteriza o estágio de maturação da cana-de-açúcar a partir do IM no qual valores de entre 0.6 e 0.85 é caracterizado como estágio de cana em processo de maturação e IM entre 0,85 e 1 é caracterizado como cana madura, desta forma os genótipos encontram-se entre o estágio final do processo de maturação e inicial de cana madura.

**Tabela 6** – Comparação de médias das variáveis Sólidos Solúveis Totais da Base (BB), Sólidos Solúveis Totais do Meio (BM), Sólidos Solúveis Totais do Ápice (BA), Sólidos Solúveis Totais do caldo (BC) e Índice de Maturação (IM), de 6 variedades de cana planta em Frederico Westphalen, Frederico Westphalen 2018.

Genótipos	BB (%)	BM (%)	BA (%)	BC (%)	IM
IAC87-3396	18.5	17.6	15.5	17.2	0.84
UFSM XIKA FW	18.7	17.6	15.5	17.2	0.83
UFSM LUCI FW	19.6	18.3	16.1	18.0	0.82
UFSM PRETA FW	19.0	18.2	16.2	17.8	0.85
UFSM DINA FW	19.3	17.6	15.7	17.5	0.81
UFSM MARI FW	18.7	17.9	16.4	17.6	0.88
CV (%)	5.6	6.3	7.6	5.7	6.9

Analisando os locais de implantação dos experimentos (Tabela 7), é possível constatar diferenças significativas nas variáveis comprimento do colmo, peso de colmo, produtividade, sólidos solúveis totais do caldo, e dos diferentes terços do colmo, diâmetro do ápice, peso do bagaço seco e úmido, volume de caldo e comprimento de entrenós entre os locais em estudo.

**Tabela 7** – Quadrado médio do erro para o cultivo da cana-de-açúcar em Cruz Alta e Frederico Westphalen com espaçamento de 0,50 m entre plantas Comprimento do Colmo (CC), Peso da Cana (PC), Produtividade (PD), Índice de área Folhar (IAF), Número de colmos por metro no sulco (NC), Sólidos solúveis do Caldo (BC), Sólidos solúveis do Ápice (BA), Sólidos solúveis do Meio (BM), Sólidos solúveis do Base (BA), Estatura da planta (ES), Diâmetro Colmo (DC), Peso de Bagaço Úmido por colmo (BU), Volume de Caldo por colmo (VC), Comprimento de entrenós (CE), Peso de Bagaço seco de cada colmo (BS), Número de entrenós por colmo (NN) Índice de Maturação (IM) e porcentagem de fibra no colmo

		QM					
FV	GL	CC	PC	PD	IAF	NCM	BC
Blocos	3	8.99 <sup>ns</sup>	51600.13 <sup>ns</sup>	114.60 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	2.71 <sup>ns</sup>	4.51 <sup>ns</sup>
Genótipos	5	581.43 <sup>ns</sup>	17195.46 <sup>ns</sup>	366.06 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	1.85 <sup>ns</sup>	0.67 <sup>ns</sup>
Locais	1	11750.02 <sup>**</sup>	1677259.33 <sup>**</sup>	10952.51 <sup>**</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	1.13 <sup>ns</sup>	35.81 <sup>**</sup>
L x G <sup>1</sup>	5	455.77 <sup>ns</sup>	22434.13 <sup>ns</sup>	190.30 <sup>ns</sup>	0.66 <sup>ns</sup>	2.03 <sup>ns</sup>	0.80 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	238.03 <sup>ns</sup>	30665.46 <sup>ns</sup>	335.64 <sup>ns</sup>	0.80 <sup>ns</sup>	2.41 <sup>ns</sup>	1.13 <sup>ns</sup>
CV (%)		8.3	12.6	15.1	16.6	11.8	16.8
		QM					
FV	GL	ES	BU	VC	DC	BS	BA
Blocos	3	1231.75 <sup>ns</sup>	2919.65 <sup>ns</sup>	25036.94 <sup>ns</sup>	0.94 <sup>ns</sup>	115.03 <sup>ns</sup>	5.32 <sup>ns</sup>
Genótipos	5	619.75 <sup>ns</sup>	8930.38 <sup>ns</sup>	12877.94 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>ns</sup>	878.11 <sup>ns</sup>	6.41 <sup>ns</sup>
Locais	1	14896.65 <sup>ns</sup>	641082.97 <sup>**</sup>	315657.42 <sup>**</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	45726.50 <sup>**</sup>	22.21 <sup>*</sup>
L x G <sup>1</sup>	5	708.66 <sup>ns</sup>	8904.94 <sup>ns</sup>	2943.98 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>**</sup>	513.54 <sup>ns</sup>	2.75 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	407.45 <sup>ns</sup>	6136.32 <sup>ns</sup>	11722.26 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	609.53 <sup>ns</sup>	2.10 <sup>ns</sup>
CV (%)		4.9	12.8	15.4	4.4	12.6	9.4
		QM					
FV	GL	BM	BB	CE	NN	IM	F
Blocos	3	4.34 <sup>ns</sup>	4.12 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>s</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.0014 <sup>ns</sup>	11.52 <sup>ns</sup>
Genótipos	5	1.28 <sup>ns</sup>	0.42 <sup>ns</sup>	3.55 <sup>ns</sup>	2.47 <sup>ns</sup>	0.0033 <sup>ns</sup>	13.58 <sup>ns</sup>
Locais	1	46.22 <sup>**</sup>	40.70 <sup>**</sup>	90.82 <sup>**</sup>	3.52 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	148.23 <sup>ns</sup>
L x G <sup>1</sup>	5	1.47 <sup>ns</sup>	0.61 <sup>ns</sup>	1.28 <sup>ns</sup>	0.61 <sup>ns</sup>	0.0094 <sup>ns</sup>	16.19 <sup>ns</sup>
Resíduo	33	1.59 <sup>ns</sup>	1.22 <sup>s</sup>	1.89 <sup>ns</sup>	2.21 <sup>ns</sup>	0.0047 <sup>ns</sup>	17.70 <sup>ns</sup>
CV (%)		17	18	9.9	11	7.9	18.8

\* e \*\* significativo a 5 e 1% respectivamente; ns = não significativo. <sup>1</sup> interação entre Locais e genótipos

A variável comprimento de colmo (Tabela 8), foi superior no experimento localizado em Frederico Westphalen. Neste, o comprimento do colmo obteve um acréscimo de 15,48% em seu tamanho. O mesmo foi constatado no comprimento de entrenós, que obteve média de 15,26 cm em Frederico Westphalen, resultado 18,02% maior que em Cruz Alta. Foi o comprimento de entrenós a variável que influenciou o aumento de comprimento de colmos. O número de nós não obteve diferença significativa e obteve médias de 13,3 e 13,8 para Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente.

**Tabela 8** – Comprimento de colmo (CC), Massa de Colmo (PC) Massa do bagaço úmido (BU), Volume de Caldo (VC), Produção de Colmo em Toneladas por hectare (PD), Comprimento de entrenós (CE), Massa do Bagaço seco (BS), Sólidos solúveis do Caldo (BC), Sólidos solúveis da base (BB), Sólidos solúveis do meio (BM), Sólidos solúveis do ápice (BA), Estatura de planta (ES), para a cana-planta em dois locais de cultivo Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA) em 2018.

Local	Variável					
	CC	PD	PC	BU	VC	BS
FW	202.19 a	136.46 a	1578.50 a	726.06 a	784.90 a	227.32 a
CRA	170.90 b	106.25 b	1204.64 b	494.92 b	622.71 b	15.59 b

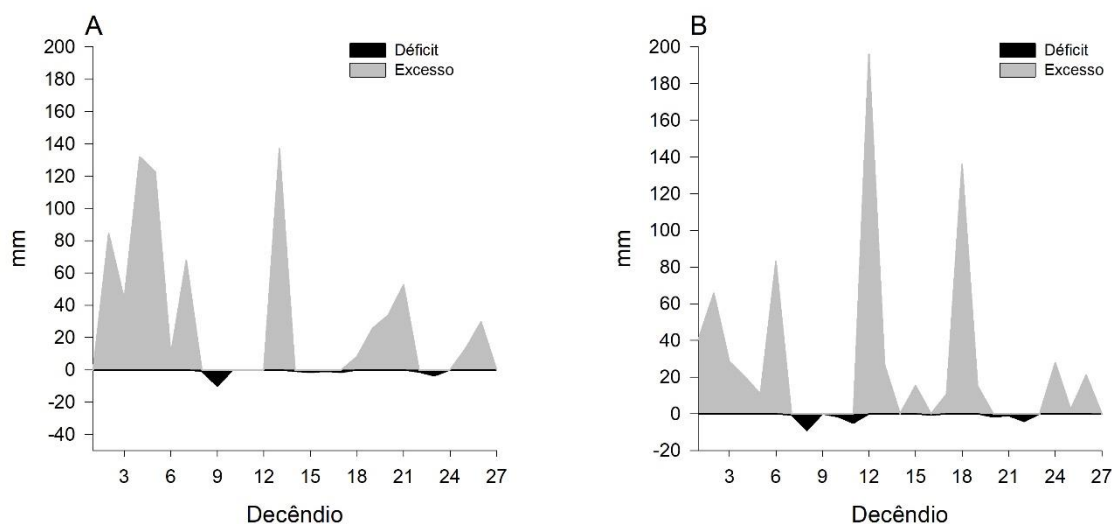
Local	Variável					
	CE	ES	BC	BB	BM	BA
FW	15.26 a	426.62 a	17.66 a	18.90 a	18.00 a	17.9 a
CRA	12.51 b	391.40 b	15.93 b	17.05 b	16.03 b	14.7 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste de Scott e Knott

Abreu et al. (2013), constataram que em Alagoas - AL a irregularidade da precipitação afeta o crescimento e desenvolvimento da cultura. O mesmo foi constatado na Paraíba por Silva et al. (2009a), que avaliaram o efeito de irrigação sobre o crescimento dos colmos e verificaram aumento médio de 16% no comprimento dos mesmos quando estes foram submetidos a irrigação. Carvalho et al. (2009), avaliando diferentes níveis de irrigação, constataram que o aumento da disponibilidade hídrica afeta diretamente a produção de colmos. Oliveira et al. (2010) concluíam que a disponibilidade hídrica nas fases de desenvolvimento é o principal fator que afeta o crescimento dos colmos em altura e acúmulo de matéria seca.

Durante o período do plantio das mudas a campo até a colheita foi registrado uma precipitação total acumulada de 1395.4 mm em Frederico Westphalen e 1383.8 mm em Cruz Alta. Analisando o balanço hídrico sequencial dos dois locais (Figura 1), é possível verificar que o recurso hídrico não afetou o crescimento da cultura, o déficit hídrico durante o período foi de 20 e 23 mm para Frederico Westphalen e Cruz alta, respectivamente, segundo Mauri et al (2017), a cana-de-açúcar não sofre redução de crescimento e desenvolvimento quando submetidos a um déficit hídrico de até 40 mm durante o ciclo da cultura.

**Figura 1** – Balanço hídrico sequencial para Frederico Westphalen (A) e Cruz Alta (B), durante o período experimental.



Fonte: Autor

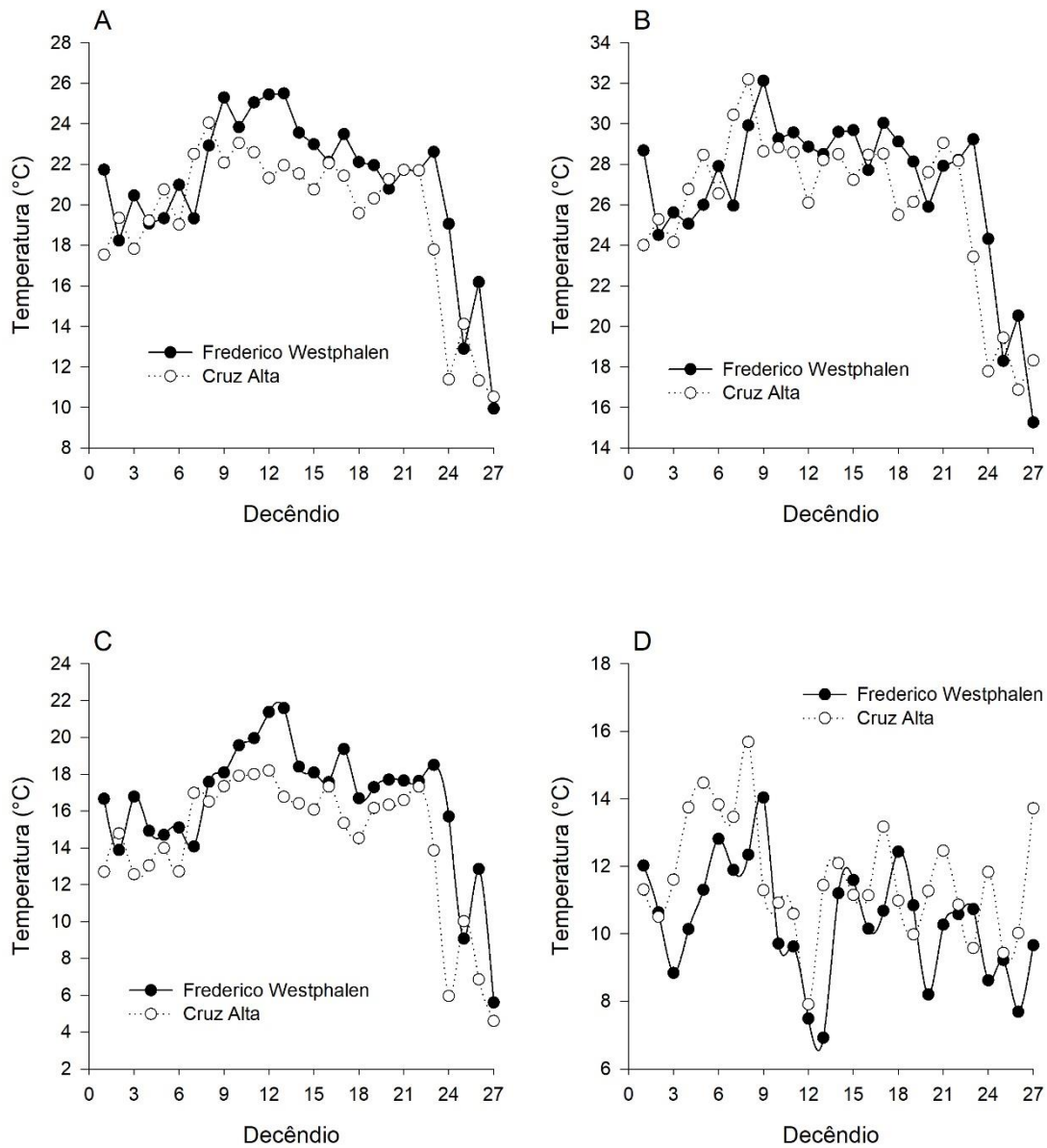
Analisando a temperatura média do ar durante o ciclo de crescimento da cultura, constatou-se que a mesma obteve uma média de 21,3 e 19,6 °C em Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente. Tais números demonstram 1,7 °C diários de diferença na temperatura entre os locais, sendo que em Frederico Westphalen a mesma manteve-se superior na maioria dos decêndios (Figura 2.A). A temperatura máxima (Figura 2.B) esteve levemente superior em média de 1 °C em Frederico Westphalen. A temperatura mínima (Figura 2.C) esteve em média de 2,2 °C superior em Frederico Westphalen. Estas temperaturas afetaram a amplitude térmica, que se mostrou em média 1,3 °C maior em Cruz Alta (Figura 2.D), esta variação na amplitude térmica afeta o crescimento e desenvolvimento da planta (BARBIERI et al., 2015; SILVA et al., 2015; TAIZ et al., 2017). Desta forma, é possível afirmar que o fator

que influenciou no aumento do comprimento dos entrenós e colmos é a temperatura média do ar.

Silva et al. (2015) consideram a temperatura o principal fator meteorológico envolvido no desenvolvimento vegetativo da cultura. O crescimento vegetativo na cultura ocorre de forma significativa quando a temperatura média é superior a 21 °C, em temperaturas acima de 35 °C e abaixo de 15,5 °C, as condições de crescimento são desfavoráveis. Lopes e Lima (2015) argumentam que espécies C4, dentre as quais está a cana-de-açúcar, possuem melhor desempenho em ambientes com temperaturas moderadas e são tolerantes a altas temperaturas e tem desenvolvimento inferior em temperaturas baixas. Estes dados corroboram com (JADOSKI et al., 2011; SILVA & SEGATO, 2011; CARVALHO & FURTADO, 2013; MANHÃES et al., 2015), que afirmam que a temperatura é o principal fator que afeta o crescimento e desenvolvimento da cultura, e temperaturas abaixo de 20 °C afetam o alongamento dos colmos, podendo este ser nulo.

Porém, a baixa temperatura é de importância fundamental para o sucesso da cultura na região sul, pois ela é fundamental para acelerar o processo de maturação da cana-de-açúcar (SCARPARI & BEAUCLAIR, 2004; SCARPARI & BEAUCLAIR, 2009; SILVA & SEGATO, 2011; CARDOZO & SENTELHAS, 2013).

**Figura 2** – Temperatura Média (A) Temperatura Máxima (B), Temperatura Mínima (C) e Amplitude Térmica (D), de Frederico Westphalen e Cruz Alta durante os 27 decêndios que a cultura esteve a campo.



Fonte: Autor

Como visto na tabela 8, a produtividade de toneladas de colmo por hectare obteve diferença significativa entre os locais, sendo este de 136,46 e 106,25 T ha<sup>-1</sup> em Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente. Nota-se uma diferença de 22,1 % na produtividade entre os locais analisados. Este aumento está correlacionado com o comprimento dos colmos

(Tabela 9) e não com o número de colmos, como visto anteriormente ao analisarmos diferentes densidades de plantio em apenas um local.

**Tabela 9** – Correlação entre Comprimento do Colmo, Diâmetros do colmo e número de colmos por metro linear de sulco, com a produtividade da cana-de-açúcar de Frederico Westphalen e Cruz Alta.

Variável	Correlação	Grau da correlação
Comprimento do Colmo	0.7333**	Forte
Diâmetro Colmo	0.2781 <sup>ns</sup>	Fraca
Número de colmos por metro linear	0.3306*	Fraca

\*\* e \* Significativo a 1 e 5% respectivamente pelo teste t; ns – não significativo.

As estimativas da correlação de Pearson para a produção de toneladas de colmo por hectare e seus componentes comprimento de colmo, diâmetro de colmo e número de colmos por metro linear foi significativo a 1% para comprimento de colmos e 5% para o número de colmos por metro linear. Verificou-se que todos os coeficientes foram positivos. Porém, apenas para o comprimento de colmo o coeficiente de correlação foi superior a 0,70 (Tabela 9), sugerindo que este foi o componente que obteve a maior influência na diferença de produtividade dos dois locais analisados. Estes resultados vão de encontro aos encontrados por Silva et al., (2009b) e Espósito et al., (2011), no qual a variável com maior influência na produtividade foi o número de colmos; porém, para ambos os autores, os experimentos foram conduzidos em apenas um local, dados estes que corroboram com os encontrados quando foi trabalhado apenas em um local com densidades diferentes.

Silva et al. (2009b) salientam que a correlação estabelece a quantificação da magnitude da interferência e estabelece o caractere principal. Porém o mesmo não fornece a importância relativa de cada um dos caracteres analisados, bem como os efeitos diretos e indiretos destes caracteres sobre uma variável resposta. Neste contexto, conforme a tabela 10, os efeitos diretos dos caracteres CC, DC e NC foram todos positivos sobre a produção de TCH. Porém, o caractere NC apresentou efeito indireto negativo sobre o TCH via os caracteres CC e DC, da mesma forma que estes exerceram efeito indireto negativo sobre o TCH.

**Tabela 10** – Análise de trilha dos componentes de produção Comprimento de Colmo (CC), Diâmetro de Colmo (DC), Número de Colmos por metro linear (NCM) sobre a produção em toneladas de colmos por hectare (TCH).

Caracteres	Estimativa
CC	
Efeito direto sobre TCH	0.7403
Efeito indireto via DC	0.0677
Efeito indireto via NC	-0.0748
Total	0.7333 **
DC	
Efeito direto sobre TCH	0.1584
Efeito indireto via CC	0.3164
Efeito indireto via NC	-0.1966
Total	0.2781
NCM	
Efeito direto sobre TCH	0.5027
Efeito indireto via CC	-0.0619
Efeito indireto via DC	-0.1102
Total	0.3306 *
P <sub>a</sub>	0.7531
R <sup>2</sup>	0.4968

\*\* e \* significativo a 1 e 5% respectivamente; P<sub>a</sub> Efeito da variável residual; e R<sup>2</sup> coeficiente de determinação

Quanto à altura de plantas (comprimento de colmo mais comprimento da ponteira), elas obtiveram maior altura em Frederico Westphalen, com 426,6 cm de altura, 8,26% superior ao cultivo de Cruz Alta. Esta diferença é reflexo do maior comprimento de colmos, pois o comprimento da ponteira não diferiu estatisticamente entre os fatores analisados.

A massa de colmo, volume de caldo, massa fresca de bagaço e massa seca de bagaço obtiveram diferença significativa entre os locais de avaliação, com média de mais de 20% superior em Frederico Westphalen (Tabela 8), que são resultados da maior produtividade e reflexos do maior comprimento dos colmos deste local.

O valor de sólidos solúveis totais obteve um incremento significativo mostrando diferença estatística, sendo este superior em Frederico Westphalen, tanto na divisão dos terços



da planta como no caldo do colmo como um todo. Esta diferença é justificada pela amplitude térmica que atua como um fator favorável ao processo de maturação que age sobre a planta, diminuindo seu crescimento e acelerando o processo de maturação (SILVA et al., 2015). Todavia, o processo de maturação age sobre a planta e diminui apenas a razão entre a % brix do ápice para a base do colmo e não necessariamente o aumento da % de brix do colmo.

Para o caractere diâmetro de colmo (Tabela 11), houve diferença significativa entre os genótipos e locais, porém, como demonstrado na correlação de Pearson (Tabela 9) e análise de trilha (Tabela 10), a mesma não interferiu significativamente na produtividade, constatando-se apenas que o diâmetro médio de colmos para os genótipos UFSM LUCI FW e UFSM DINA FW foi menor em Cruz Alta. Da mesma forma, os genótipos UFSM XIKA FW e UFSM PRETA FW obtiveram médias de diâmetro de colmo menores entre os genótipos para Frederico Westphalen.

**Tabela 11** – Diâmetro médio de colmos para 6 genótipos de cana-de-açúcar em Frederico Westphalen (FW) e Cruz Alta (CA).

Genótipos	DC	
	CA	FW
IAC87-3396	2.91 Aa	3.06 Aa
UFSM XIKA FW	2.84 Aa	2.78 Ab
UFSM LUCI FW	2.82 Ba	3.17 Aa
UFSM PRETA FW	3.00 Aa	2.94 Ab
UFSM DINA FW	2.80 Ba	3.14 Aa
UFSM MARI FW	3.01 Aa	3.05 Aa

Letras maiúsculas na linha comparam locais de cultivo; letras minúsculas na coluna comparam genótipos de cana-de-açúcar; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 1% e 5% pelo teste de Scott e Knott.

#### 4.6 CONCLUSÕES

As variedades UFSM FW, mostraram superioridade agrônômica em relação a cultivar IAC87-3396, em relação ao teor de sólidos solúveis totais, mostraram equivalência na produtividade de toneladas de colmo por hectare.

Ambos os locais de estudo mostraram bom desempenho da cultura na produtividade sendo esta superior à média nacional, desta forma ambos os locais são indicados para o cultivo da cana-de-açúcar.

Os principais caracteres responsáveis pela produtividade do canavial é o número de colmos por metro de sulco e comprimento de colmos. O espaçamento entre plantas no plantio da cultura afetada diretamente a produtividade sendo o espaçamento de 0,33 metros entre plantas, o mais indicado para altas produtividades.

#### 4.7 AGRADECIMENTO

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

#### 4.8 REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. D., et al. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, v.72, n.3, p.262-270. 2013.

ALVARES, C. A., et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728. 2013.

ANJOS, I. A. D., et al. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.1, p.59-63. 2006.

BARBIERI, V., et al. Modelos matemático-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. In: F. C. D. Silva, B. J. R. Alves, *et al* (Ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2015. Modelos matemático-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar, p.436-489

BRAGATO, I. R., et al. Produção de açúcar e álcool vs. responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas. **Revista Gestão & Produção**, v.15, n.1, p.89-100. 2008.

CAPUTO, M. M., et al. respostas de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v.67, n.1, p.15-23. 2008.

CARDOZO, N. P.; P. C. SENTELHAS. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agricola**, v.70, n.6, p.449-456. 2013.

CARVALHO, C. M. D., et al. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.1, p.72-77. 2009.

CARVALHO, S. A. D.; A. T. FURTADO. O melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil e o desafio das mudanças climáticas globais. **Revista Gestão e Conexões**, v.2, n.1, p.22-46. 2013.

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

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Companhia nacional de abastecimento. Brasília: Conab. 5 2018.

CONSECANA. Conselho dos produtores de cana-de-açúcar e açúcar e álcool do Estado de São Paulo - Manual de instruções. Consecana-Sp. Piracicaba, SP: 112 p. 2006.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276. 2013.

ESPÓSITO, D. P., et al. Análise de trilha usando valores fenotípicos e genotípicos para componentes do rendimento na seleção de famílias de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**. 2011.

FAO. FAOSTAT: Browse data: Rankings Production - Crops. 2018 2018.

FERREIRA, F. M., et al. Relações fenotípicas e genotípicas entre componentes de produção em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.66, n.4, p.605-610. 2007.

HERMANN, E. R.; G. M. S. CÂMARA. Um método simples para estimar a área folhar da cana-de-açúcar. **Stab**, v.17, n.5, p.32-34. 1999.

JADOSKI, C. J., et al. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologica**, v.3, n.2, p.169-175. 2011.

JUNIOR, G. R. M., et al. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: F. C. Silva, B. J. R. Alves, *et al* (Ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada a produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. Melhoramento da cana-de-açúcar

LOPES, N. F.; M. G. S. LIMA. **Fisiologia da Produção**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2015. 492 p.

MALUF, J. R. T., et al. Zoneamento agroclimático atualizado para a cultura da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, visando à produção de açúcar e álcool. Fepagro. Porto Alegre: Boletim Fepagro: 78 p. 2008.

MANHÃES, C. M. C., et al. Factors that affect sprouting and tillering of sugar cane. **Revista Vértices**, v.17, n.1, p.163-181. 2015.

MANZATTO, C. V., et al. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Embrapa. Rio de Janeiro: Embrapa Solos: 55 p. 2009.

MAURI, R., et al. Water Relations at the Initial Sugarcane Growth Phase under Variable Water Deficit. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.2, p.268-276. 2017.

MOURA, L. C. D., et al. Índice de maturação da cana-de-açúcar fertirrigada sobre diferentes lâminas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.1, p.64-76. 2014.

OLIVEIRA, E. C. A. D., et al. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p.951-960. 2010.

OLIVEIRA, T. C. D. **Densidade de plantio e manejo da adubação em cana-planta proveniente de mudas pré-brotadas**. (Dissertação). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. 126 p.

SCARPARI, M. S.; E. G. F. BEAUCLAIR. Sugarcane maturity estimation through edaphic-climatic parameters. **Scientia Agrícola**, v.61, n.5, p.486-491. 2004.

SCARPARI, M. S.; E. G. F. D. BEAUCLAIR. Physiological model to estimate the maturity of sugarcane. **Scientia Agrícola**, v.66, n.5, p.622-628. 2009.

SILVA, C. T. S., et al. 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**, v.3, n.1, p.3-12. 2009a.

SILVA, F. C., et al. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima. In: F. C. Silva, B. J. R. Alves, *et al* (Ed.). **Sistema de Produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada a produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, v.1, 2015. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima, p.288-359

SILVA, F. L. D., et al. Análise de trilha para os componentes de produção de cana-de-açúcar via blup. **Revista Ceres**, p.308-314. 2009b.

SILVA, M. A., et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.241-249. 2014.

SILVA, R. F. D. S.; S. V. SEGATO. Importancia do uso de maturadores vegetais na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, v.8, n.2. 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para o estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. - [s. l.] : Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. 2016

TAIZ, L., et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 2017

UNICA. Açúcar e álcool: responsabilidade social numa história de desenvolvimento sustentável. São Paulo: União da Indústria de Cana-de-açúcar: 16 p. 2004.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops: : I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties, and within and between Years. **Annals of Botany**, v.11, n.41, p.41-76. 1947.

ZHAO, D.; Y.-R. LI. Climate change and sugarcane production: potential impact and mitigation strategies. **International Journal of Agronomy**, v.2015, p.1-10. 2015.

## 5 ARTIGO IV – FATORES METEOROLÓGICOS RESPONSÁVEIS PELO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DOIS LOCAIS DO RIO GRANDE DO SUL

5.1 RESUMO: O objetivo deste trabalho é determinar a variável meteorológica com maior contribuição na produtividade de colmos de cana-de-açúcar em duas regiões do Rio Grande do Sul, nos municípios de Frederico Westphalen, na região noroeste, e Cruz Alta, na região central. O experimento foi implantado sob dois espaçamentos entre plantas: 0.33 e 0.50 metros. Os genótipos de cana-de-açúcar utilizados foram: UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, IAC87-3396. Os genótipos UFSM são provenientes do processo de mutação do programa de melhoramento da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, e possuem tolerância a baixas temperaturas. O delineamento experimental foi o fatorial de blocos casualizados com 4 repetições. Os caracteres morfológicos responsáveis pela produtividade utilizados nos modelos foram diâmetro médio de colmo (DC), número médio de colmos por metro de sulco (NCM) e estatura média de colmos (ES). As variáveis meteorológicas utilizadas foram a temperatura mínima (Tmin), precipitação pluviométrica (Pre), radiação solar incidente (Rad) e soma térmica acumulada (STA). Foi realizada a correlação de Pearson, correlações canônicas e regressão de Stepwise entre os caracteres morfológicos e as variáveis meteorológicas e foi constatado que a temperatura do ar é a variável com maior influência na produtividade da cana-de-açúcar nas regiões estudadas e a soma térmica acumulada é a variável com maior correlação e contribuição no DC e ES.

**Palavras chave:** *saccharum* sp., Graus-dia. Regressão múltipla. Correlação canônica. Produtividade

## METEOROLOGICAL FACTORS RESPONSIBLE FOR THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SUGARCANE IN TWO LOCATIONS IN RIO GRANDE DO SUL

5.2 ABSTRACT: The objective of this work is to determine the meteorological variable with the greatest contribution to the productivity of sugarcane stalks in two regions of Rio Grande do Sul, in the municipalities of Frederico Westphalen, in the northwest region, and Cruz Alta in the central region. The experiment was implanted under two spacings 0.33 and 0.50 meters

between plants. The sugarcane genotypes used were: UFSM XIKA FW, UFSM LUCI FW, UFSM PRETA FW, UFSM DINA FW, UFSM MARI FW, IAC87-3396. The UFSM genotypes come from the process of mutation of the breeding program of the Federal University of Santa Maria campus of Frederico Westphalen and have tolerance to low temperatures. The experimental design was the randomized block factorial with 4 replicates. The morphological characters responsible for the productivity used in the models were average stem diameter (DC), mean number of stems per meter of furrow (NCM) and mean height of stems (ES), the meteorological variables used were the minimum temperature (Tmin), rainfall (Pre), solar radiation (Rad) and accumulated thermal time (STA), with Pearson's correlation, canonical correlations and Stepwise regression between morphological characters and meteorological variables, being that the air temperature is the variable with the greatest influence on sugarcane productivity in the studied regions. The accumulated thermal sum is the variable with the highest correlation and contribution in the DC and ES.

**Key Words:** *Saccharum* sp.. Day degrees. Multiple regression. Canonical correlation. Productivity.

### 5.3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* ssp) é cultivada em todo o território brasileiro, é considerada uma planta com aclimatação a clima tropical e subtropical e cultivada entre as latitudes de 35° S e N (CAPUTO et al., 2008).

Segundo Silva et al. (2014), a cultura se destaca devido seu alto potencial de produção de biomassa e energia anual por unidade de área. Segundo o mesmo autor, a cultura vem se destacando desde 2006 e, devido ao seu potencial, estima-se um aumento de 40 % na área plantada e de 100 % na produção até o ano de 2024.

Segundo Bocca e Rodrigues (2016); Everingham et al. (2016) e Pagani et al. (2017), os modelos para previsão de rendimento da cultura são importantes para a gestão operacional do setor sucroenergético, influenciando nas decisões agrícolas e na operação e manutenção da indústria.

Os modelos de simulação adotados para a cana-de-açúcar podem simular diferentes cenários de forma a otimizar recursos, além de aumentar o entendimento dos processos que envolvem o crescimento e a produtividade (SUGUITANI, 2006).

Segundo Carvalho et al. (2015), as correlações canônicas permitem determinar associações entre grupos de caracteres, possibilitando identificar características e variáveis importantes para o desempenho das culturas. Este método responde de forma linear, permitindo analisar as relações entre os grupos de caracteres, sendo necessário o mínimo de dois caracteres no grupo das variáveis dependentes, com o número de correlações igual ao menor grupo (CRUZ et al., 2012).

Segundo a metodologia proposta por Martins e Landell (1995), e utilizado por Oliveira et al. (2007) e Fabris et al. (2013), o rendimento da cana-de-açúcar pode ser estimado ao utilizar como variáveis o diâmetro da base do colmo, o número de colmos por metro linear de sulco e a estatura de planta.

O crescimento e desenvolvimento vegetal e, por consequência, a produtividade de culturas, está associado a uma série de fatores bióticos e abióticos dos quais se destacam os elementos meteorológicos (SCHWERZ, 2017). Desta forma, os elementos meteorológicos podem ser testados a partir do procedimento da correlação de canônica e pelo regressão do método de Stepwise, modelo que testa as variáveis independentes quanto sua inserção ou remoção nas equações, utilizando como critérios a significância estatística e o coeficiente de correlação entre as variáveis dependentes e independentes (FIORENTIN et al., 2015).

O objetivo deste trabalho é determinar e quantificar a influência das variáveis meteorológicas na produtividade da cana-de-açúcar a partir da correlação canônica entre caracteres morfológicos e variáveis meteorológicas, bem como determinar modelos de regressão linear a partir das variáveis para cada caractere envolvido de forma individual.

#### 5.4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido através de dois experimentos: um conduzido em Frederico Westphalen - RS, no campus da Universidade Federal de Santa Maria, sob as coordenadas geográficas 27°39'56" LS – 53°42'94" LW; o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Alumino Férrico e o clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical (ALVARES et al., 2013); o segundo experimento foi conduzido em uma propriedade rural do município de Cruz Alta - RS, sob as coordenadas geográficas 28°42'36" S e 53°43'12" W; o solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico e o clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical Alvares et al. (2013).

O delineamento experimental escolhido para Frederico Westphalen foi o de blocos casualizado e fatorial, com quatro repetições. O fator A é composto de 6 níveis, constituídos



por seis genótipos: UFSM XIKA FW, UFSM MARI FW, UFSM DINA FW, UFSM PRETA FW, UFSM LUCI FW e IAC87-3396, sendo os cinco primeiros materiais protegidos no Ministério da Agricultura pela UFSM, e a última cultivar, a IAC87-3396, utilizada por ser o genótipo utilizado para a indução de mutação para obtenção dos genótipos de código UFSM. O fator B conta de dois espaçamentos entre plantas de 0,33 metros e 0,5 metros.

O delineamento experimental escolhido para Cruz Alta foi o de blocos casualizados com 4 repetições, sendo os tratamentos constituídos por seis genótipos: UFSM XIKA FW, UFSM MARI FW, UFSM DINA FW, UFSM PRETA FW, UFSM LUCI FW e IAC 87-3396. Os cinco primeiros materiais são protegidos no Ministério da Agricultura pela UFSM, e última cultivar, a IAC 87-3396, utilizada por ser o genótipo utilizado para a indução de mutação para obtenção dos genótipos de código UFSM FW, no espaçamento de 0,5 metros entre plantas.

Os genótipos UFSM FW são os primeiros genótipos de cana-de-açúcar protegidas no ministério da agricultura e os primeiros genótipos de cana-de-açúcar provenientes de indução de mutação, na qual o novo genótipo foi comprovada a partir de caracteres morfológicos, claramente distinguíveis do genótipo da qual se originou, de acordo com a lei n° 9.456/97 de proteção de cultivares.

O método de propagação foi o de mudas pré-brotadas, com o plantio dos mini-toletes realizado no dia 28 de junho de 2017, conduzido em ambiente protegido, e o transplante ocorreu nos dias 18 de outubro de 2017 em Frederico Westphalen – RS e em 29 de outubro de 2017 para Cruz Alta – RS.

O solo foi previamente preparado com correção do pH, com duas subsolagens e uma gradagem da área para incorporação do calcário e preparo para o plantio das mudas. A adubação de NPK foi realizada em linha de plantio, respeitando as indicações técnicas para a cultura nos estados do RS e SC (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016).

Aos 38, 73, 103, 147, 175, 224 e 266 dias após o transplante, foram realizadas as medições fenométricas de diâmetro do colmo na porção basal, próximo ao solo, e da altura dos perfilhos em dois colmos por unidade experimental e realizado a contagem de perfilhos por metro linear de sulco para determinação do acúmulo de massa de colmos, sendo estes os principais caracteres morfológicos, determinantes da produtividade de colmos por hectare (MARTINS & LANDELL, 1995; OLIVEIRA et al., 2007; FABRIS et al., 2013).

Os dados meteorológicos foram coletados na estação meteorológica automática do INMET de Frederico Westphalen, sob coordenadas 27°23'44" S 53°25'45" W, e Cruz Alta,

sob coordenadas 28°36'12" S 53°40'24" W, distantes a 500 e 10.000 metros do experimento, respectivamente.

A soma térmica diária foi determinada considerando a temperatura basal inferior ( $T_b$ ) de 10 °C para a cultura da cana-de-açúcar, valor utilizado por (SINCLAIR et al., 2004; SMIT & SINGELS, 2006; STRECK et al., 2010; CASTRO-NAVA et al., 2016; MORAIS et al., 2018), sendo os Graus Dia ( $GD_i$ ) obtidos pelas seguintes equações (NOVA et al., 1972; PEREIRA et al., 2007).

Para dias em que a temperatura mínima foi superior a  $T_b$ :

$$GD_i = T_{méd_i} - T_b$$

Onde  $T_{méd_i}$  representa a temperatura média do dia.

Nos dias em que a  $T_b$  foi maior ou igual a Temperatura mínima ( $T_{mín}$ ):

$$GD_i = \frac{(T_{máx_i} - T_b)^2}{2(T_{máx_i} - T_{mín_i})}$$

Onde  $T_{máx_i}$  e  $T_{mín_i}$  representam a temperatura máxima e mínima do dia, respectivamente.

A soma térmica acumulada ou acúmulo do  $GD_i$ , da data do transplântio até a emergência resultou na Soma de Graus Dia ( $\sum GD$ ), que é a constante térmica necessária para a planta realizar o processo de crescimento e/ou desenvolvimento.

Após tabelados os dados, foram testados todos os pressupostos: normalidade, linearidade e multicolinearidade. Foram estimados os coeficientes de Pearson entre todas as variáveis. A hipótese de nulidade ( $H_0: r_1 = r_2 = \dots = r_n = 0, s = \min(p, q)$ ) para as correlações canônicas foi realizada por meio do teste do qui-quadrado (CRUZ, 2013). Após, foi procedido com a análise de regressão linear pelo método de Stepwise ( $p \leq 0.15$ ), utilizando o software SAS 9.0 (SAS INSTITUTE 2002), no qual as variáveis meteorológicas foram consideradas variáveis de entrada independentes e os caracteres morfológicos foram considerados variáveis dependentes.

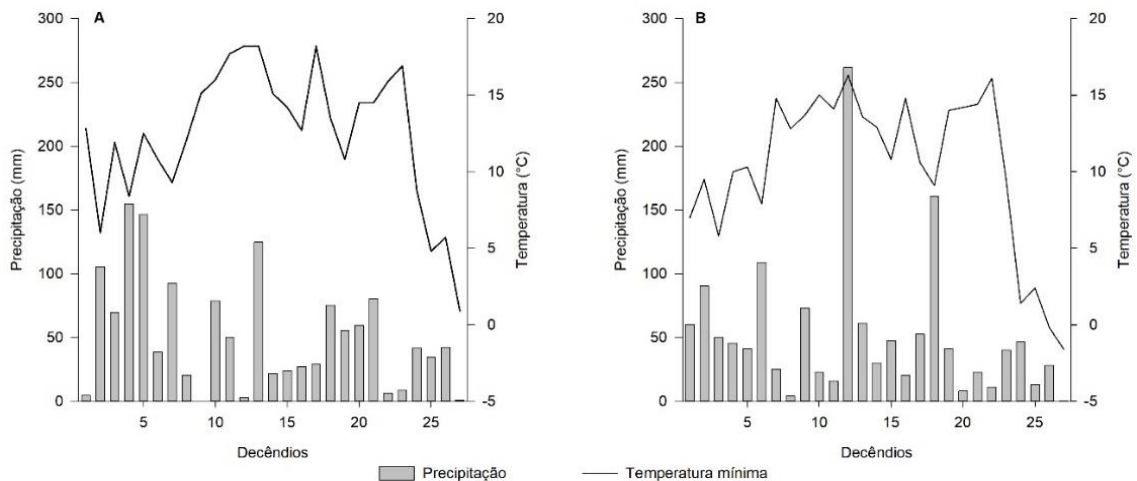
## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do teste de multicolinearidade, as variáveis de temperatura média e máxima, amplitude térmica, radiação solar acumulada, precipitação pluviometria acumulada, umidade média, mínima e máxima do ar, foram excluídas da análise de correlação. As variáveis

meteorológicas selecionadas para os modelos de regressão foram a temperatura mínima, a radiação solar, a precipitação e a soma térmica acumulada (Graus-dias).

Os dados meteorológicos foram agrupados em decêndios, totalizando 27, no qual são apresentados a precipitação e a temperatura mínima, conforme a Figura 1. A temperatura mínima teve variação média de 2.1 °C entre os dois locais, com índices maiores em FW. A precipitação foi bem distribuída durante todo o ciclo da cultura para ambos os locais, totalizando 1395.4 e 1383.6 mm para Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente.

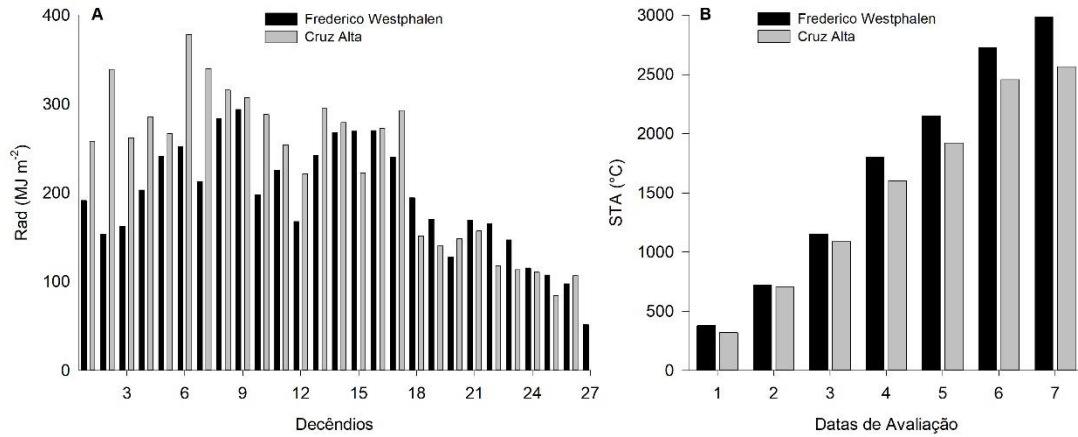
**Figura 1** — Precipitação e Temperatura mínima para Frederico Westphalen (A), e Cruz Alta (B), durante o período experimental.



Fonte: Autor

O somatório da radiação solar incidente (Figura 2a) variou de 193 a 225 MJ m<sup>-2</sup> em Frederico Westphalen e Cruz Alta respectivamente. A soma térmica acumulada (Figura 2b), foi superior em Frederico Westphalen, chegando a 14%, seguindo o mesmo comportamento da temperatura mínima (Figura 1) que foi em média 16.8% superior em Frederico Westphalen comparado com Cruz Alta.

**Figura 2** – (A) Radiação solar global incidente ( $\text{Rad MJ m}^{-2}$ ); (B) soma térmica acumulada ( $^{\circ}\text{C dia}^{-1}$ ), para Frederico Westphalen e Cruz Alta durante o período experimental.



Fonte: Autor

Na análise da correlação de Pearson (Tabela 1), foi possível observar que a variável meteorológica que possui a maior correlação com os caracteres morfológicos responsáveis pela produtividade é a soma térmica acumulada. O grau desta correlação foi muito forte. Estes dados diferem daqueles encontrados por Dias et al. (1999), que não encontraram correlação significativa entre as variáveis de produtividade e soma térmica acumulada para a região noroeste do Estado de São Paulo.

**Tabela 1.** – Correlação de Pearson entre os caracteres morfológicos (CM) e as variáveis meteorológicas (Var.) para Frederico Westphalen e Cruz Alta.

variáveis	Frederico Westphalen		Cruz Alta		
	Correlação	Grau da correlação	Correlação	Grau da correlação	
DC	Tmín	0.133*	Fraca	-0.017 <sup>ns</sup>	Fraca
	Pre	-0.512**	Regular	-0.053 <sup>ns</sup>	Fraca
	Rad	0.007 <sup>ns</sup>	Fraca	-0.565**	Regular
	STA	0.817**	Forte	0.758**	Forte
ES	Tmín	-0.141**	Fraca	-0.288**	Fraca
	Pre	-0.407**	Regular	-0.007 <sup>ns</sup>	Fraca
	Rad	-0.206**	Fraca	-0.769**	Forte
	STA	0.969**	Muito forte	0.972**	Muito forte
NCM	Tmín	0.486**	Regular	-0.365**	Regular
	Pre	-0.585**	Regular	-0.140 <sup>ns</sup>	Fraca
	Rad	0.200**	Fraca	-0.321**	Regular
	STA	0.383**	Regular	0.532**	Regular

\* e \*\* significativo a 5% e 1% respectivamente <sup>ns</sup> não significativo; DC = diâmetro da base do colmo; ES = estatura de planta; NCM = número de colmos por metro; Rad = radiação solar; Tmín = temperatura mínima; Pre = precipitação pluviométrica; STA = Soma Térmica Acumulada

A análise de correlação canônica revelou efeitos significativos para o 1º e 2º par canônico com coeficiente  $r = 0.97$  e  $0.74$ , respectivamente, para Frederico Westphalen e coeficiente  $r = 0.98$  e  $0.67$ , respectivamente, para Cruz Alta, revelando, desta forma, que ocorrem associações entre o grupo de caracteres morfológicos e o grupo de variáveis meteorológicas. Desta maneira, pressupõe-se que qualquer modificação em alguma variável meteorológica influenciaria diretamente em algum caractere morfológico, causando efeitos na produtividade.

Vamos analisar o primeiro par canônico: o maior valor absoluto do grupo 1 foi registrado para o caractere ES, sendo este positivo e de  $0.98$  e  $0.99$  para Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente, revelando relações positivas com a soma térmica (graus-dias) e relações negativas com as demais variáveis analisadas.

No segundo par canônico: para ambos os experimentos, o maior valor absoluto para o primeiro grupo foi registrado para o caractere NCM, com correlação de  $0.77$  e  $0.81$  para

Frederico Westphalen e Cruz Alta respectivamente, sendo que o mesmo revela relações positivas com a temperatura mínima e relações negativas com a precipitação pluviométrica.

**Tabela 2** – Cargas canônicas para os caracteres determinantes do TCH em dois locais Frederico Westphalen e Cruz Alta. O experimento de Frederico Westphalen foi conduzido sob duas densidades e Cruz Alta sob uma única densidade de plantio

Caracteres	Frederico Westphalen			Cruz Alta		
	Grupo I			Grupo I		
	1 <sup>o*</sup>	2 <sup>o*</sup>	3 <sup>o</sup>	1 <sup>o*</sup>	2 <sup>o*</sup>	3 <sup>o</sup>
DC	0.88491	0.23333	0.40309	0.78535	0.286	0.54903
ES	0.98507	-0.1695	0.03016	0.99244	-0.1213	0.01882
NCM	0.49106	0.77325	-0.4012	0.57767	0.81606	-0.0186
	Grupo II			Grupo II		
Tmín	-0.0313	0.88018	0.08638	-0.22067	0.89544	0.24008
Pre	-0.4975	-0.5686	0.23232	-0.02681	-0.2274	0.17205
Rad	-0.1463	0.53774	0.50427	-0.77034	0.21234	-0.157
STA	0.98287	-0.1657	-0.0769	0.99107	-0.0567	0.05608
r	0.97	0.74	0.19	0.98	0.67	0.12
GL	12	6	2	12	6	2

\* Par canônico significativo pelo teste do qui-quadrado a 5%; Tmín = temperatura mínima; Pre = precipitação pluviométrica; Rad = radiação solar; STA = Soma Térmica Acumulada.

No método Stepwise, a primeira variável a ser adicionado foi o STA que teve a maior contribuição nos modelos, e a variável que teve a menor participação nos modelos foi a radiação solar. Caron et al. (2018), avaliando a produtividade de cana-de-açúcar em sistema agroflorestal, obtiveram rendimento acima de 60 toneladas de colmos por hectare, compatível com a média de produtividade para região sul do país (CONAB, 2018), mesmo sendo cultivada em sub-bosque de angico com uma redução de mais de 20% da radiação fotossinteticamente ativa, contribuindo, assim, com os resultados alcançados neste estudo no qual a radiação solar não é a principal variável determinante da produtividade da cana-de-açúcar.

As equações geradas pelas regressões de Stepwise mostraram a necessidade de mais de uma variável meteorológica para compor o modelo (Tabela 3), corroborando com Schwerz (2017), que obteve as mesmas respostas em sistemas agroflorestais de tungue e cana-de-açúcar. Desta forma, é possível afirmar que a produtividade da cana-de-açúcar não é afetada apenas por uma variável meteorológica isolada, mas por uma combinação de variáveis, como pode ser

observado na tabela 3, corroborando com Kumar et al (2016) que afirma que uma combinação entre variáveis meteorológicas e componentes de rendimento podem dar uma estimativa da produtividade.

No método Stepwise, o componente de rendimento que obteve o maior coeficiente de determinação foi a estatura da planta, com o coeficiente de 0.95 e 0.96 para Frederico Westphalen e Cruz Alta, respectivamente, sendo a STA a variável com maior contribuição nos modelos para ambos os locais. Kumar et al (2016) obtiveram o maior coeficiente de determinação da regressão de 0.89. Também verificaram maior contribuição nas equações para a variável precipitação, porém para a região sudeste, com regime pluviométrico inferior e temperaturas mais elevadas (ALVARES et al., 2013).

**Tabela 3** – Modelos de regressão para os caracteres morfológicos diâmetro de colmo (DC), estatura de planta (ES), e número de colmos por metro linear de sulco (NCM), responsáveis pela produtividade da cana-de-açúcar em Frederico Westphalen e Cruz Alta.

local	Equação de regressão	R <sup>2</sup>	Contribuição
Frederico W.	DC = 0.959 + 0.041(Tmin) - 0.001(Pre) + 0.001(STA)	0.76	STA = 66.8% Tmin = 8.9% Pre = 0.9%
	ES = -105.956 - 4.585(Tmin) - 0.127(Pre) + 0.212(Rad) + 0.149(STA)	0.95	STA = 93.9% Rad = 0.5% Tmin = 0.1% Pre = 0.2%
	NCM = 8.53 + 0.711(Tmin) - 0.002(Pre) + 0.002(STA)	0.57	Pre = 34.3% Tmin = 15% STA = 7.8%
Cruz Alta	DC = 0.406 + 0.0007(Rad) + 0.0008(STA)	0.59	STA = 57.5% Rad = 2.1%
	ES = -168.864 - 2.412(Tmin) + 0.141(Rad) + 0.195(STA)	0.96	STA = 94.5% Rad = 1% Tmin = 0.4%
	NCM = 0.021 + 0.69(Tmin) + 0.005(STA)	0.58	STA = 28.3% Tmin = 29.3%

Rad = radiação solar; Tméd = temperatura média; Tmin = temperatura mínima; Tmáx = temperatura máxima; Pre = precipitação pluviométrica; STA = soma térmica acumulada.

A partir das análises de correlação de Pearson (Tabela 1), correlação canônicas (Tabela 2) e regressão de Stepwise (Tabela 3), foi possível afirmar que a variável que tem maior contribuição no desenvolvimento da cana-de-açúcar nas regiões central e noroeste do Rio

Grande do Sul é a temperatura por meio da soma térmica acumulada, resultado que diferencia dos encontrados por (DIAS et al., 1999; DARLI et al., 2008; LI & YANG, 2014; KUMAR et al., 2016; JUNIOR et al., 2017), na qual a principal variável que afeta o crescimento e desenvolvimento é a precipitação pluviométrica. Porém, para as regiões em estudo, a precipitação anual é de 1990 a 2500 mm anuais (ALVARES et al., 2013). Esse volume, associado a uma boa distribuição ao longo do ano devido ao regime pluviométrico isoigro da região sul, não afeta a cana-de-açúcar.

## 5.6 CONCLUSÃO

A soma térmica é o fator com maior influência sobre os caracteres morfológicos da cana-de-açúcar.

A precipitação pluviométrica e a radiação solar tem pouca influência sobre os componentes do rendimento da cana-de-açúcar nas regiões de estudo, devido ao regime hídrico das regiões.

A cana-de-açúcar tem potencial de exploração nas duas regiões de estudo, e os programas de melhoramento em cana-de-açúcar para a região sul do país devem priorizar as pesquisas em tolerância do estresse abiótico, principalmente a temperatura mínima, diminuindo, desta forma, a constante térmica da cultura para completar o ciclo e aumentar a produtividade.

## 5.7 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

## 5.8 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728. 2013.

BOCCA, F. F.; L. H. A. RODRIGUES. The effect of tuning, feature engineering, and feature selection in data mining applied to rainfed sugarcane yield modelling. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.128, p.67-76. 2016.



- CAPUTO, M. M., et al. respostas de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v.67, n.1, p.15-23. 2008.
- CARON, B. O., et al. Growth of tree species and sugarcane production in agroforestry systems. **An Acad Bras Cienc**, v.90, n.2 suppl 1, p.2425-2436. 2018.
- CARVALHO, I. R., et al. Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes de produção em trigo de duplo propósito. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.8, p.690-697. 2015.
- CASTRO-NAVA, S., et al. Leaf Growth and Canopy Development of Three Sugarcane Genotypes under High Temperature Rainfed Conditions in Northeastern Mexico. **International Journal of Agronomy**, v.2016, p.1-7. 2016.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Companhia nacional de abastecimento. Brasília: Conab. 5 2018.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276. 2013.
- CRUZ, C. D., et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV. 2012
- DARLI, A. B., et al. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, v.13, n.1, p.1-11. 2008.
- DIAS, F. L. F., et al. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v.23, n.3, p.627-634. 1999.
- EVERINGHAM, Y., et al. Accurate prediction of sugarcane yield using a random forest algorithm. **Agronomy for Sustainable Development**, v.36, n.2, p.27. 2016.
- FABRIS, L. B., et al. Produtividade e desempenho de cana soca cultivada em diferentes espaçamentos e doses de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Agrarian**, v.6, n.21, p.252-258. 2013.
- FIORENTIN, L. D., et al. quantificação e modelagem de biomassa e carbono da regeneração natural em área de floresta ombrófila mista. **Revista Brasileira de Biometria**, v.33, p.261-267. 2015.
- JUNIOR, A. S. D. A., et al. Demanda hídrica da cana-de-açúcar, por balanço de energia, na microrregião de Teresina, Piauí. **agrometeoros**, v.25, n.1, p.217-226. 2017.
- KUMAR, N., et al. **Crop yield forecasting of paddy and sugarcane through modified Hendrick and Scholl technique for South Gujarat**, v.67. 2016. 405-410 p.
- LI, Y.-R.; L.-T. YANG. Sugarcane Agriculture and Sugar Industry in China. **Sugar Tech**, v.17, n.1, p.1-8. 2014.

MARTINS, A. L. M.; M. G. A. LANDELL. Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC. Pindorama: Instituto Agrônomo: 45 p. 1995.

MORAIS, K. P., et al. Dinâmica da parte aérea em cana-de-açúcar. **Stab**, v.36, n.3, p.35-37. 2018.

NOVA, N. A. V., et al. **Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia. 1972

OLIVEIRA, R. A. D., et al. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.2, p.71-76. 2007.

PAGANI, V., et al. Forecasting sugarcane yields using agro-climatic indicators and Canegro model: A case study in the main production region in Brazil. **Agricultural Systems**, v.154, p.45-52. 2017.

PEREIRA, A. R., et al., Eds. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba, SP: ESALQ Departamento de Ciências Exatas, p.202ed. 2007.

SCHWERZ, F. **Interações dinâmicas no crescimento de tungue e cana-de-açúcar em sistemas agroflorestais**. Pós Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2017. 143 p.

SILVA, M. A., et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.241-249. 2014.

SINCLAIR, T. R., et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v.88, n.2-3, p.171-178. 2004.

SMIT, M. A.; A. SINGELS. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, n.2-3, p.91-97. 2006.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para o estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. - [s. l.] : Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. 2016

STRECK, N. A., et al. Leaf development and growth of selected sugarcane clones in a subtropical environment. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p.1049-1057. 2010.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosaic**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2006. 60 p.

## 6 DISCUSSÃO GERAL

O conhecimento das interações entre o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar com as variáveis meteorológicas são de fundamental importância para obtenção de sucesso na implantação e manejo da cultura, visando alta produtividade e qualidade de colmos.

O crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar é influenciado diretamente pela temperatura. A soma térmica acumulada é a principal variável que influencia o crescimento dos colmos e a produtividade de ambos os locais analisados neste estudo.

Os genótipos de cana-de-açúcar UFSM, se comparados com os demais genótipos registrados para o cultivo no Rio grande do Sul, mostraram superioridade agrônômica, pois possuem menor soma térmica acumulada necessária do plantio até emergência e também possuem um valor de filocrono, da primeira a quarta folha, menor que os demais genótipos analisados, evidenciando um crescimento e desenvolvimento mais acelerado sob as condições de temperaturas mais baixas, que são comuns na região de estudo.

Analisando as fases de desenvolvimento da cana-de-açúcar para a região noroeste e central do Rio Grande do Sul, constata-se que as fases de emergência e estabelecimento e, sucessivamente, a fase de perfilhamento, são mais lentas cronologicamente em comparação as demais regiões produtoras de cana-de-açúcar do Brasil. Já a fase de crescimento de colmos e maturação é mais acelerada. Esta variação nas fases de desenvolvimento da cultura é influenciada pela temperatura do ar, que é mais baixa durante as duas primeiras fases de desenvolvimento, prolongando-as.

A fase de crescimento de colmos é acelerada devido a um aumento na temperatura do ar neste período, associado a boas condições hídricas, que faz com que os processos bioquímicos da planta ocorram de forma eficiente, proporcionando maior crescimento e desenvolvimento acelerado. Já a fase de maturação, da mesma forma que na antecessora, é mais acelerada devido a queda da temperatura do ar e diminuição da precipitação, que faz com que a planta diminua os processos bioquímicos e cesse o crescimento de colmos, começando a acumular açúcares no colmo.

Quanto a produtividade de colmos por hectare, ela diferiu entre os locais. Em Frederico Westphalen, a produção foi 22,1% superior a Cruz Alta. Esta diferença está diretamente relacionada ao comprimento dos colmos, que foi 15,48% superior em Frederico Westphalen.

Analisando a produtividade de toneladas de colmo por hectare em diferentes densidades de plantio de mudas pré-brotadas, o espaçamento de 0.33 metros entre plantas na linha de

plantio fornece maior produtividade de colmos por hectare, proporcionando aumento de 22.9% em relação ao espaçamento de 0.50 metros entre plantas. Este acréscimo é diretamente relacionado ao aumento no número de colmos por metro linear, que foi superior em 25.3 % no espaçamento de 0.33 metros, proporcionando, desta forma, maior produtividade de colmos por hectare.

A partir da correlação canônica foi possível inferir que a soma térmica acumulada foi a variável meteorológica que exerceu maior influência sobre a estatura de plantas e, conseqüentemente, no comprimento de colmos em Frederico Westphalen e Cruz Alta. E o número de colmos por metro linear sofre influência direta da temperatura mínima, sendo as duas correlações positivas, ou seja, quanto maior a soma térmica acumulada, maior a estatura de plantas, e quanto maior a temperatura mínima, maior o número de colmos por metro linear de sulco.

Na análise de regressão de Stepwise entre os componentes de rendimento da cana-de-açúcar (diâmetro de colmo, estatura de planta e número de colmos por metro linear de sulco) e as variáveis meteorológicas (radiação solar incidente, precipitação pluviométrica, temperatura mínima e soma térmica acumulada), o componente de rendimento mais afetado pelas variáveis meteorológicas foi o comprimento de colmos, e a soma térmica acumulada foi a variável que exerceu maior influência sobre este componente e, conseqüentemente, sobre a produtividade.

A partir destas análises, pode-se afirmar que a temperatura mínima e a soma térmica acumulada são as principais variáveis meteorológicas que influenciam o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar em ambos os locais analisados neste estudo.

Os valores de sólidos solúveis totais nos genótipos UFSM mostraram-se superiores, sem diferirem estatisticamente pelos métodos avaliados. Porém, eles se mostram importantes, pois demonstram a superioridade agrônômica dos genótipos provindos do programa de melhoramento da Universidade Federal Santa Maria, campus de Frederico Westphalen.

O próximo passo deste estudo é analisar o crescimento e desenvolvimento da cana-soca e cana-planta durante os anos de 2018/19 e 2019/20, com a finalidade de obtenção do valor de cultivo e uso das variedades UFSM para obtenção do registro de cultivares. Além disso, analisar o rendimento da cana-soca sob duas densidades de plantio, correlacionando com as variáveis meteorológicas.

Com base nos estudos realizados, a região noroeste e central do Estado possuem alto potencial para o cultivo da cana-de-açúcar, pois possuem tanto qualidade industrial como produção de colmos por hectare superior à média de produtividade do Estado e do País. Este

fato deve-se a boa disponibilidade hídrica durante o ano agrícola da cultura, o que não compromete o crescimento e desenvolvimento dos colmos, e a temperatura mínima que, apesar de reduzir as fases iniciais de desenvolvimento da cultura, não compromete as demais fases de crescimento e desenvolvimento em ambos os locais e contribui para acelerar o processo de maturação dos colmos e o acúmulo de sacarose nos colmos.

## **7 CONCLUSÃO GERAL**

A cana-de-açúcar responde positivamente a soma térmica acumulada no crescimento e desenvolvimento dos colmos. A região noroeste e central do estado possuem potencial para o cultivo da cana-de-açúcar.

Os genótipos de cana-de-açúcar UFSM possuem menor exigência térmica para emergência e estabelecimento da mesma e mostraram superioridade agronômica na qualidade de colmos e produtividade de colmos por hectare, fazendo-as recomendadas para o cultivo na região noroeste e central do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

- AFERRI, G., et al. Custo de produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar - MPB. **Pesquisa & Tecnologia**, v.13, n.2. 2016.
- ALOVISI, A. M. T., et al. Efeito residual da aplicação de silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e na produtividade da cana-soca. **Agrarian**, v.11, n.40, p.150-158. 2018.
- BRAGATO, I. R., et al. Produção de açúcar e álcool vs. responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas. **Revista Gestão & Produção**, v.15, n.1, p.89-100. 2008.
- BRUNINI, O. Ambiente climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: L. L. Dinardo-Miranda, A. C. M. Vasconcelos, *et al* (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas, SP: IAC, 2010. Ambiente climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar, p.205
- CAMPANA, M. P., et al. Cana-de-açúcar para a produção de material de propagação nos sistemas de mudas pré-brotadas (MPB) e tradicional. 10º Congresso nacional da sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil. Ribeirão Preto – SP: **Anais**, 2016.
- CAPUTO, M. M., et al. respostas de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, v.67, n.1, p.15-23. 2008.
- CARDOZO, N. P.; P. C. SENTELHAS. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agricola**, v.70, n.6, p.449-456. 2013.
- CARDOZO, N. P., et al. Modeling sugarcane ripening as a function of accumulated rainfall in Southern Brazil. **Int J Biometeorol**, v.59, n.12, p.1913-25. 2015.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Companhia nacional de abastecimento. Brasília: Conab. 5 2018.
- DAROS, E., et al. **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**. Curitiba: Graciosa. 2015
- DINARDO-MIRANDA, L. L. Nematóides. In: L. L. Dinardo-Miranda, A. C. M. D. Vasconcelos, *et al* (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. Nematóides, p.405-435
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB: (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33). 1994 ((Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33))
- FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do instituto agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: L. L. Dinardo-Miranda, A. C. M. D. Vasconcelos, *et al* (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, p.31-44
- GOES, T., et al. Novas fronteiras tecnológicas da cana-de-açúcar no Brasil. **Revista de política agrícola**, n.1, p.50-59. 2009.

LANDELL, M. G. D. A.; J. A. BRESSIANI. Melhoramento Genético, caracterização e manejo varietal. In: L. L. Dinardo-Miranda, A. C. M. D. Vasconcelos, *et al* (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronomico, 2008. Melhoramento Genético, caracterização e manejo varietal, p.882

LANDELL, M. G. D. A., et al. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Campinas, SP: Documentos IAC: 16 p. 2012.

LOPES, N. F.; M. G. S. LIMA. **Fisiologia da Produção**. Viçosa, MG: Editora UFV. 2015. 492 p.

MALUF, J. R. T., et al. Zoneamento agroclimático atualizado para a cultura da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, visando à produção de açúcar e álcool. Fepagro. Porto Alegre: Boletim Fepagro: 78 p. 2008.

MANZATTO, C. V., et al. Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Embrapa. Rio de Janeiro: Embrapa Solos: 55 p. 2009.

MAPA. Sistema de acompanhamento da produção canavieira 2018. Disponível em < <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/SAPCAN.html> > acesso em 10 de nov. 2018.

MAURI, R., et al. Water Relations at the Initial Sugarcane Growth Phase under Variable Water Deficit. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.2, p.268-276. 2017.

MORAES, R. A., et al. Determination of total accumulated rainfall, global radiation, evapotranspiration and degree-days originated from the ECMWF Model to sugarcane crop. **Engenharia Agrícola**, v.34, n.2, p.322-331. 2014.

MORAIS, L. K. D., et al. Melhoramento Genético da Cana-de-Açúca. Embrapa. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros: 38 p. 2015.

MORGADO, I. F., et al. Resíduos agroindustriais prensados como substrato para a produção de mudas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.709-712. 2000.

SEGATO, S. V., et al. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: S. V. Segato, A. S. J. Pinto, E., *et al* (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, SP, 2006. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar, p.19-36

SILVA, M. A., et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.241-249. 2014.

TAIZ, L., et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 2017

UNICA. **Açúcar e álcool: responsabilidade social numa história de desenvolvimento sustentável**. São Paulo: União da Indústria de Cana-de-açúcar: 16 p. 2004.

VIANNA, M. D. S.; P. C. SENTELHAS. Simulação do risco de deficit hídrico em regiões de expansão do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.4, p.237-246. 2014.