

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

**PARÂMETROS DE AJUSTES DOS MODELOS DE
DESENVOLVIMENTO FOLIAR DE CANA-DE-
AÇÚCAR**

TESE DE DOUTORADO

Joana Graciela Hanauer

Santa Maria, RS, Brasil

2014

PARÂMETROS DE AJUSTES DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO FOLIAR DE CANA-DE-AÇÚCAR

Joana Graciela Hanauer

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Agronomia

Orientador: Prof. Nereu Augusto Streck

Santa Maria, RS, Brasil

2014

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

Hanauer, Joana Graciela
PARÂMETROS DE AJUSTES DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO
FOLIAR DE CANA-DE-AÇÚCAR / Joana Graciela Hanauer.-2014.
66 p. ; 30cm

Orientador: Nereu Augusto Streck
Coorientador: Arno Bernardo Heldwein
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2014

1. Saccharum officinarum 2. Modelagem 3.
Desenvolvimento foliar 4. Cana-de-açúcar I. Streck, Nereu
Augusto II. Heldwein, Arno Bernardo III. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Joana Graciela Hanauer. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: joana2hanauer@yahoo.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**PARÂMETROS DE AJUSTES DOS MODELOS DE
DESENVOLVIMENTO FOLIAR DE CANA-DE-AÇÚCAR**

elaborada por
Joana Graciela Hanauer

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Doutor em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Nereu Augusto Streck, Ph.D.
(Presidente Orientador)

Cleber Maus Alberto, Dr. (UNIPAMPA)

Genei Antonio Dalmago, Dr. (Embrapa)

Arno Bernardo Heldwein, Dr. (UFSM)

Evandro Zanini Righi, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2014

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças e não me deixado desistir nos momentos difíceis.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização do curso e aperfeiçoamento profissional.

À CAPES pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de doutorado.

À FAPERGS pela bolsa de Iniciação Científica (BIC) a Josana Andreia Langner para auxiliar na condução dos experimentos e coleta de dados, e ao CNPq pela taxa de bancada de bolsa PQ do Prof. Nereu com a qual foi pago o controle de plantas daninhas por capina manual nos experimentos durante o verão 2012/2013. Sem esses dois financiamentos públicos esta tese não seria possível.

Ao professor Nereu pela oportunidade, orientação e ensinamentos durante o mestrado e o doutorado.

À professora Lia pela orientação, amizade e ensinamentos durante a graduação.

Aos meus pais Aquiles e Leonilda pelo apoio e por terem me mostrado o caminho certo.

Aos meus irmãos, familiares e amigos que sempre me apoiaram durante a realização deste trabalho.

Ao meu namorado Marcelo pela ajuda e compreensão durante a coleta de dados e elaboração da tese.

Agradecimento aos colegas e amigos do Grupo de Agrometeorologia pela amizade e ajuda especialmente na coleta dos dados durante vários anos de trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia pelo auxílio nos trabalhos a campo.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia e do Curso de Agronomia pelos ensinamentos repassados.

Aos membros da banca avaliadora pela disponibilidade, sugestões e contribuições para melhoria do trabalho.

A todos aqueles não listados e que de alguma maneira contribuíram para a realização do trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

PARÂMETROS DE AJUSTES DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO FOLIAR DE CANA-DE-AÇÚCAR

AUTORA: Joana Graciela Hanauer
ORIENTADOR: Nereu Augusto Streck
Local e data da defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2014

Os objetivos desta tese foram (i) identificar o número de folhas expandidas (NFE) e totais (NFT) a partir do qual ocorre redução da contribuição das reservas do tolete para a taxa de emissão de folhas em cana-de-açúcar e (ii) o efeito de diferentes densidades de colmos no desenvolvimento foliar na cultura da cana-de-açúcar. Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, da Universidade Federal de Santa Maria, na estação de 2012/2013. O clone de cana-de-açúcar utilizado nos experimentos foi SP 711406, por ser um clone de ciclo intermediário e bem adaptado ao local. Para alcançar o primeiro objetivo, descrito no *Capítulo 1*, o delineamento foi o Inteiramente Casualizado com 32 repetições. Foram testados quatro tratamentos: duas vezes o comprimento do entrenó, uma vez o comprimento do entrenó, metade do comprimento do entrenó e somente o nó. Os resultados indicaram que as reservas no tolete de cana-de-açúcar tem a contribuição máxima para a emissão das duas primeiras folhas expandidas e das cinco primeiras folhas totais e a taxa de emissão de folhas subsequentes decresce devido ao esgotamento das reservas do tolete. Para alcançar o segundo objetivo, descrito no *Capítulo 2*, o experimento foi conduzido em sistema de cultivo cana-planta. Nas plantas marcadas foram medidas as variáveis número de folhas expandidas (NFE) e número de folhas totais (NFT) no colmo principal, dimensões lineares das folhas expandidas e posteriormente, no momento da colheita, foram determinados os componentes do rendimento (comprimento total do colmo, fitomassa fresca de colmo comercial, fitomassa seca do colmo comercial, número de nós, número de entrenós, comprimento do entrenó, massa fresca do entrenó e massa seca do entrenó). Concluiu-se que a mudança na velocidade da emissão de folhas (filocrono maior) a partir da 15ª folha é causada por formação de microclima no dossel e devido ao aumento do dreno de fotoassimilados para crescimento dos colmos; e que os componentes do rendimento são afetados de forma negativa por densidades de plantio menores que as recomendadas para a cultura.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*. Modelagem. Desenvolvimento foliar.

ABSTRACT

PhD Thesis
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

PARAMETERS OF ADJUSTMENT OF LEAF DEVELOPMENT MODELS OF SUGARCANE

AUTHOR: Joana Graciela Hanauer

ADVISOR: Nereu Augusto Streck

Location and date of presentation: Santa Maria, February 28th, 2014.

The objectives of this thesis were (i) to identify the expanded leaves number (LN_{exp}) and tips (LN_{tip}) from which there is reduction in the contribution of culm reserves to leaf appearance rate in sugarcane and (ii) the effect of different densities of stem in leaf development in the culture of sugarcane. The experiments were conducted at the experimental area of the Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, during the 2012/2013 growing season. The sugarcane clone used was SP 711406, with intermediate developmental cycle and well adapted to this location. To achieve the first objective, described in *Chapter 1*, the experimental design was randomized with 32 replications. Treatments were culm cuttings with: twice the length of the internode, one internode, half the length of internodes, and no internode. Results indicated that the reserves of the culm cuttings of sugarcane have their maximum contribution to the emission of the first two expanded leaves and of the first five leaf tips, and the appearance rate of subsequent leaves decrease due to reduction in culm cuttings reserves. To achieve the second objective, described in *Chapter 2*, the experiment was conducted in plant cane cultivation system. In plants marked the variables expanded leaves number (LN_{exp}) and tips leaves number (LN_{tip}) in the main stem, linear dimensions of expanded leaves and later, at harvest were determined yield components (total stem length were measured, fresh biomass of commercial stem dry mass commercial stem, number of nodes, number of internodes, internode length, fresh weight and dry weight of internode). It was concluded that the change in rate of leaf emergence (phyllochron greater) from the 15th leaf on is caused by a change in microclimate in the canopy and the increase of the sink strength of photosynthates to stem growth; and yield components are affected negatively by lower densities than those recommended for the crop planting.

Key-words: *Saccharum officinarum*. Modelling. Leaf development.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- FIGURA 1 – Representação esquemática dos tratamentos de diferentes tamanhos de tolete de cana-de-açúcar: T1=duas vezes o comprimento do entrenó (a), T2=uma vez o comprimento do entrenó (b), T3=metade do comprimento do entrenó (c) e T4=somente nó (d). Santa Maria, RS.37
- FIGURA 2 – Valores diários de temperatura mínima, média e máxima do ar, radiação solar global durante o período durante a estação de crescimento 2012/2013 em Santa Maria, RS.38
- FIGURA 3 – Taxa de aparecimento de folhas (TAF) normalizada para número de folhas expandidas (NFE) (painéis da esquerda) e número de folhas totais (NFT) (painéis da direita) para o clone de cana-de-açúcar SP 711406 em quatro tratamentos: (a) e (b) = T1 = duas vezes o tamanho do entrenó, (c) e (d) = T2 = uma vez o tamanho do entrenó, (e) e (f) = T3 = metade do entrenó e (g) e (h) = T4 = somente nó. Santa Maria, RS. 2012/2013..... 39

CAPÍTULO 2

- FIGURA 1 – Evolução do número de perfilhos/m² durante a estação de crescimento 2012/2013. T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m⁻²). T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m⁻²) T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial), e T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial) na estação de crescimento 2012/2013. Santa Maria, RS.57
- FIGURA 2 – Relação entre a soma térmica acumulada e o número de folhas expandidas de um clone de cana-de-açúcar de ciclo Médio SP 711406 em diferentes densidades de colmos (a) = T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m⁻²); (b) = T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m⁻²); (c) = T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial); e (d) = T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial) durante a estação de crescimento 2012/2013 em cultivo de cana-planta. Santa Maria, RS.58

FIGURA 3 – Relação entre a soma térmica acumulada e o número de folhas totais de um clone de cana-de-açúcar de ciclo Médio SP 711406 em diferentes densidades de colmos (a) = T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m⁻²); (b) = T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m⁻²); (c) = T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial); e (d) = T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial) durante a estação de crescimento 2012/2013 em cultivo de cana-planta. Santa Maria, RS.59

FIGURA 4 – Evolução da área foliar acumulada durante a estação de crescimento 2012/2013 para o clone SP 711406. (a) = T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m⁻²); (b) = T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m⁻²); (c) = T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial); e (d) = T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial). Santa Maria, RS.60

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- TABELA 1 – Valores médios de diâmetro (cm), comprimento (cm) e massa fresca (g) dos toletes usados nos quatro tratamentos (T1=duas vezes o tamanho do entrenó, T2=uma vez o tamanho do entrenó, T3=metade do entrenó e T4 somente nó) utilizados no experimento de emissão de folhas na estação de crescimento 2012/2013. Santa Maria, RS.....35
- TABELA 2 – Área foliar acumulada (cm²), do clone SP 711406 de cana-de-açúcar, em quatro tratamentos: T1= duas vezes o comprimento do entrenó; T2= uma vez o comprimento do entrenó; T3= metade do comprimento do entrenó e T4= somente nó, com o clone SP 711406 na estação de crescimento 2012/2013. Santa Maria, RS.36

CAPÍTULO 2

- Tabela 1 – Valores médios mensais de temperatura mínima, média e máxima do ar, radiação solar global e precipitação mensal acumulada e acumulado total durante o período de emissão de folhas do clone de cana-de-açúcar SP 711406 (ciclo médio) na estação de crescimento 2012/2013 em Santa Maria, RS.55
- Tabela 2 – Comprimento de colmo comercial (cm), massa fresca do colmo comercial (g/colmo), massa seca do colmo comercial (g/colmo), número de nós, número de entrenós, comprimento do entrenó (cm), massa fresca do entrenó (g) e massa seca do entrenó (g) no clone SP711406 em quatro tratamentos (T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m⁻²). T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m⁻²) T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial), e T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial) na estação de crescimento 2012/2013. Santa Maria, RS.56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Botânica e importância da Cana-de-açúcar	14
2.2 Crescimento e desenvolvimento vegetal	15
2.3 Influência dos elementos meteorológicos no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar	16
2.3.1 Influência da radiação solar no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	17
2.3.2 Influência do fotoperíodo no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	18
2.3.3 Influência da disponibilidade hídrica no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar	18
2.3.4 Influência da temperatura do ar no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar	19
2.4 Simulação do desenvolvimento vegetal através de modelos matemáticos.....	20
2.5 Zoneamento agroclimático para cultura da cana-de-açúcar.....	21
3 CAPÍTULO 1 - CONTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE TOLETE PARA EMISSÃO DE FOLHAS EM CANA-DE-AÇÚCAR.....	22
RESUMO.....	23
ABSTRACT	23
INTRODUÇÃO	24
MATERIAL E MÉTODOS	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS	31
4 CAPÍTULO 2 - DENSIDADE DE COLMOS E SEU EFEITO NO DESENVOLVIMENTO FOLIAR DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	40
RESUMO	41
ABSTRACT	42
INTRODUÇÃO	42
MATERIAL E MÉTODOS	44
RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	50
5 CONCLUSÕES.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas da economia brasileira. Com a preocupação crescente a respeito da mudança climática, cresce também a necessidade de fontes alternativas de biocombustíveis para substituir o petróleo. Além disso, o etanol produzido a partir a cana-de-açúcar é mais barato do que o etanol produzido a partir de culturas amiláceas como a mandioca, a batata e a batata-doce.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o primeiro em produção de açúcar e etanol, além de possuir disponibilidade de terras cultiváveis para o plantio da cana, sem prejuízo dos outros alimentos, tecnologia de produção e a estrutura na distribuição (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA, 2014a). Atualmente, de toda a energia que o Brasil consome, mais de 47% é provinda de fontes renováveis e nesse contexto o setor sucroenergético tem papel-chave, pois a cana-de-açúcar para a produção de etanol e bioeletricidade é a segunda maior fonte de energia do país, respondendo por 18% de toda a energia consumida (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2014).

Todo açúcar e etanol produzido através da cana-de-açúcar vêm das reservas presentes em seu colmo. Para que estas reservas de sacarose sejam acumuladas é necessário que a planta faça a fotossíntese através de suas folhas, acumulando assim a sobra de sua manutenção nos seus órgãos de reserva, os colmos. Portanto, a emissão de folhas é um processo do desenvolvimento vegetal importante, ligado diretamente ao índice de área foliar e conseqüentemente a fotossíntese. Essa emissão de folhas é afetada por fatores bióticos e abióticos (STRECK, 2002a) e a taxa de aparecimento de folhas em cana-de-açúcar é fortemente dependente da temperatura do ar (INMAN-BAMBER, 1994; BONNET, 1998; CAMPBELL et al., 1998; ROBERTSON et al., 1998).

O cálculo da emissão de folhas é um importante componente em modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas (HODGES, 1991). Modelos matemáticos são frequentemente usados em estudos de crescimento e desenvolvimento vegetal e uma vez adaptados e testados em diferentes condições ambientais, são ferramentas que permitem descrever as interações entre a planta e o ambiente. Os modelos de desenvolvimento são partes importantes de modelos de simulação de culturas (STRECK, 2002a). Porém, nem sempre os modelos conseguem captar com

acuracia suficiente o desenvolvimento da planta, sendo necessária a inclusão de novas funções na sua composição para adaptá-los as culturas. É o que acontece com o modelo de Wang e Engel (1998) que já foi adaptado e testado em várias culturas agrícolas como trigo (STRECK et al., 2003b), arroz (STRECK et al., 2008a), milho (STRECK et al., 2008b), batata (STRECK et al., 2007), batata-doce (ERPEN et al., 2013) e mandioca (SAMBORANHA et al., 2013), mas ainda não foi adaptado e testado na cultura da cana-de-açúcar.

Sendo assim, da mesma forma que Streck et al. (2003b) modificaram e melhoraram a simulação da emissão de folhas em trigo comparado ao modelo original de Wang e Engel (1998), com a inclusão de uma função cronológica que leva em consideração a diminuição da velocidade de emissão de folhas pela redução gradual das reservas presentes na semente, propõe-se encontrar parâmetros de ajuste para o modelo de Wang e Engel (1998) levando em consideração o esgotamento das reservas de sacarose presentes no tolete da cana-de-açúcar e a redução da velocidade de emissão de folhas durante o ciclo de desenvolvimento foliar para ser incluída na função de cronologia dessa cultura.

Dessa forma, essa tese está dividida em dois capítulos, tendo como objetivos:

1. Identificar o número de folhas expandidas (NFE) e totais (NFT) a partir do qual a taxa de emissão de folhas começa a decrescer.
2. Identificar qual o fator que determina a diminuição na velocidade de emissão de folhas (aumento do valor de filocrono) e o efeito de diferentes densidades de colmos no desenvolvimento foliar na cultura da cana-de-açúcar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Botânica e importância da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), gramínea de porte alto, é pertence à família Poaceae, classe Liliopsida, ordem Cyperales. Essa ordem é caracterizada por ter flores pequenas, sem perianto e protegidas por brácteas secas, reunidas em inflorescências do tipo racemos, arranjos em grandes panículas. A cana-de-açúcar reproduz-se tanto sexuadamente, através de sementes, como por propagação assexuada, através do colmo. O fruto é seco do tipo cariopse com semente de endosperma abundante. O caule é um colmo com nós e entrenós. As plantas são eretas, perenes e rizomatosas (ARANHA; YAHN, 1987). A cana-de-açúcar é originária do Sudeste Asiático, na região da Nova Guiné e Indonésia (DANIELS; ROACH, 1987) e da Índia Ocidental (ARANHA; YAHN, 1987). É cultivada em uma ampla faixa de 35°N a 35°S, ou seja, em regiões equatoriais, tropicais e subtropicais (BRUNINI, 2008). Apesar de ser originária de ambientes com ampla disponibilidade de temperatura, radiação solar e água, adaptou-se a diversos climas, onde poderão ocorrer maiores ou menores restrições para sua produção (SUGUITANI; 2006). A cultura tem como produtos o açúcar, o álcool (SZMRECSÁNYI; MOREIRA, 1991) e a sucralose, além de também ser fornecida como forrageira aos animais.

A produção mundial de cana-de-açúcar totaliza quase 1,4 bilhão de toneladas e está localizada predominantemente na faixa tropical do planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, África e do Sudeste Asiático (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2010). Os principais produtores mundiais de cana-de-açúcar são, em ordem decrescente, Brasil, Índia, Tailândia e Austrália (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011). No Brasil, a área plantada com cana-de-açúcar é de 7.409,6 mil ha, com produtividade média de 68,29 t ha⁻¹ (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA, 2014b).

2.2 Crescimento e desenvolvimento vegetal

O crescimento e o desenvolvimento vegetal são processos relacionados e que geralmente, mas não sempre ocorrem simultaneamente. Desenvolvimento vegetal é o processo no qual, células e órgãos passam por vários estágios identificáveis durante o seu ciclo de vida desde a emergência até a senescência das plantas. O crescimento vegetal é o aumento irreversível em alguma dimensão física da planta ou de um de seus órgãos com o tempo, como é o caso do aumento em massa seca e em altura (WILHELM; McMASTER, 1995).

O desenvolvimento vegetal, principalmente durante o desenvolvimento vegetativo, pode ser determinado através da velocidade de emissão de folhas, a qual ao ser integrado no tempo fornece o número de folhas acumuladas na haste principal (NF), o qual é uma excelente medida de desenvolvimento vegetal (STRECK, 2002a; STRECK et al., 2003a). O NF pode ser contabilizado diretamente na planta, ou estimado através do conceito do filocrono. O filocrono é uma variável bastante usada em estudos para caracterização do desenvolvimento vegetal, sendo definido como o intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste da planta (WILHELM & McMASTER, 1995; STRECK et al., 2005). O tempo na definição de filocrono pode ser expresso em soma térmica e neste caso o filocrono tem como unidade $^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$.

O filocrono tem sido estudado em várias culturas como morango (ROSA, 2010), mandioca (SCHONS et al., 2007), batata (STRECK et al., 2009a; PAULA et al., 2005), arroz (STRECK et al., 2008a), milho (STRECK et al., 2008b), berinjela (MALDANER et al., 2009) e cana-de-açúcar (SINCLAIR et al., 2004; STRECK et al., 2010). Em cana-de-açúcar, considerando uma T_b de 10°C , Inman-Bamber (1994) encontrou valores de filocrono variando de 109 e $118^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ até a 14ª folha e 169 e $200^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ acima desta para as cultivares NCo376 e N12, respectivamente. Campbell et al. (1998) encontraram valores de $108,7^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ para a cultivar Q117 e $126,6^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$ para a cultivar Q138, considerando uma T_b de $7,8^{\circ}\text{C}$ e $7,6^{\circ}\text{C}$ para as respectivas cultivares.

O número de folhas e a área foliar de uma cultura podem ser influenciados pela quantidade de reservas presentes no órgão utilizado no momento do plantio. Nos primeiros dias após a emergência, a plântula recebe nutrientes provindos das reservas de energia presentes na sua semente, ou estrutura utilizada para a reprodução, como o tolete, no caso da cana-de-açúcar. Durante esse período inicial tem-se o nível ótimo de emissão de folhas, e a

partir do momento em que essas reservas se esgotam, a taxa de emissão de folhas reduz proporcionalmente à medida que fatores externos que influenciam diretamente sobre a planta, como por exemplo, a temperatura do ar, se modifica em relação à condição ótima. A partir desse momento a planta utiliza as reservas que ela produz através da fotossíntese. Vários autores já determinaram as relações entre o tamanho da estrutura reprodutiva e o desenvolvimento das plantas em aveia-preta (SCHUCH et al., 1999), soja (VANZOLINI; CARVALHO, 2002), trigo (PETERSON et al., 1989; GRIEVE; FRANCOIS, 1992; BREDEMEIER et al., 2001). Na cultura da cana-de-açúcar ainda não se possui o número de folhas que são emitidos com o auxílio das reservas presentes no tolete. Para Magro et al. (2011), num período de cerca de 60 dias, as reservas dos toletes são fundamentais para a evolução do processo de brotação, reduzindo essa dependência à medida que o sistema radicular se desenvolve. Porém, para Lucchesi (2001) a planta sobrevive das reservas nutricionais contidas no tolete por um período de 30 dias.

Na literatura sobre a cultura da cana-de-açúcar é relatado que a partir de aproximadamente 15 folhas, a velocidade de emissão de folhas diminui, ou seja, as folhas que aparecem mais cedo têm uma velocidade de surgimento maior (filocrono menor) do que as folhas que aparecem mais tarde (INMAM-BAMBER, 1994; BONNET, 1998; SINCLAIR et al., 2004, STRECK et al., 2010). Para Sinclair et al. (2004), a redução na velocidade de surgimento de folhas é devido a uma mudança no microclima dentro do dossel de cana-de-açúcar ao longo da estação de crescimento. Porém, para Hanauer (2011) a redução na velocidade de surgimento de folhas é uma mudança na força de dreno causada pelo início de acúmulo de açúcar no colmo da planta, já que em seu trabalho a autora identificou que o início da alongação do colmo nos três clones estudados aconteceu quando o número de folhas totais estava em média com 15 folhas, ou seja, trouxe uma hipótese em bases fisiológicas e não devido ao microambiente. A velocidade de emissão é também influenciada por elementos meteorológicos, os quais são apresentados a seguir.

2.3 Influência dos elementos meteorológicos no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

Devido à cana-de-açúcar ser uma planta perene, sofre a influência das variações dos elementos meteorológicos durante todo o ano. Para elevação dos níveis de sacarose,

importante para a qualidade da matéria-prima fornecida à indústria sucroalcooleira (LEITE, 2008), é necessário que a cultura tenha níveis adequados de umidade no solo e temperatura durante o seu ciclo vegetativo. Assim, tem-se o máximo crescimento na fase vegetativa e o favorecimento de acúmulo de sacarose no colmo na época do corte.

Outra forma de ação dos elementos meteorológicos, por exemplo, é a influência na formação da florescência da cana-de-açúcar. Esta é controlada por um complexo de fatores envolvendo principalmente o fotoperíodo e a temperatura, além da umidade no solo e da radiação solar. O processo de florescência é bastante complexo, envolvendo fitocromo, hormônios, florígeno, ácidos nucleicos e fatores diversos (RODRIGUES, 1995). A seguir serão apresentados os elementos meteorológicos e sua influência em cana-de-açúcar de forma individual.

2.3.1 Influência da radiação solar no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma espécie com metabolismo fotossintético C4, sendo por isso uma cultura de alta eficiência na conversão de energia radiante em química, principalmente se submetida a altas temperaturas e a uma radiação solar intensa (HANAUER, 2011).

A absorção da radiação solar pelas plantas é obtida pelas folhas, portanto a distribuição do ângulo de inserção destas e a totalidade de sua área foliar são determinantes para uma alta eficiência. A distribuição do ângulo de inserção pode ser representada na forma do coeficiente de extinção da radiação solar, que é função da arquitetura do dossel e do ângulo zenital do Sol (MARIN et al., 2009). De acordo com Rodrigues (1995) a posição mais vertical da folha no colmo, traduz-se em maior eficiência fotossintética, normalmente em populações de alta densidade populacional, devido à penetração mais eficiente da luz no dossel.

A radiação solar influencia no rendimento de colmos da cultura e também é responsável pelo desenvolvimento do perfilhamento da cana-de-açúcar. O perfilhamento é favorecido pela radiação solar intensa (MARIN et al., 2009). O máximo do perfilhamento no Hemisfério Sul ocorre nos meses de novembro e dezembro, com uma queda posterior devido à competição intraespecífica por radiação solar (MACHADO, 1987) iniciando-se a senescência dos perfilhos depois de uma interceptação de 70% da RAF (Radiação Fotossinteticamente Ativa).

2.3.2 Influência do fotoperíodo no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

O fotoperíodo influi sobre o desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, sendo mais sensível ao período do escuro do que à duração do dia, sendo considerada planta de dia curto (RODRIGUES, 1995). De acordo com o mesmo autor, em fotoperíodos de 10 a 14 horas o comprimento do colmo aumenta, sendo menores, no entanto, em fotoperíodos longos, entre 16 e 18 horas.

Quanto ao florescimento, as melhores condições acontecem nas regiões equatoriais do globo, onde se tem fotoperíodos de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, com pequenas variações de temperatura do ar. O florescimento é inversamente proporcional à latitude de origem do cultivar, ou seja, cultivares produzidos em São Paulo (21° Sul) tendem a florescer com maior facilidade quanto mais próxima estiverem do Equador, ocorrendo o oposto com variedades produzidas na região equatorial, se levadas para a região subtropical (RODRIGUES, 1995).

2.3.3 Influência da disponibilidade hídrica no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

Associada as temperaturas do ar ótimas e a alta eficiência na conversão de energia radiante, a disponibilidade hídrica é um dos principais condicionantes meteorológicos da produtividade da cultura da cana-de-açúcar. O consumo hídrico é diferenciado entre os diferentes estágios de desenvolvimento da cultura, sendo a sua evapotranspiração, durante seu ciclo vegetativo, função da área foliar e da densidade do sistema radicular (MARIN et al., 2009).

De acordo com Fauconier e Bassereau (1970), a cana-de-açúcar sintetiza 1 kg de matéria seca para cada 150 kg a 200 kg de água transpirada. A necessidade de água para a cultura é maior durante o período de crescimento. O fator de resposta à deficiência hídrica (ky), ou seja, o fator que quantifica a sensibilidade da planta à falta d'água no solo, é igual a 0,75 nas fases de emergência e estabelecimento, caindo para 0,5 durante a fase de desenvolvimento da cultura e 0,1 durante a maturação (DOOREMBOS; KASSAN, 1979).

Porém autores, como Marin et al. (2009), contestam esta abordagem, considerando que a mesma é mais adequada para culturas que formam o produto de interesse econômico a partir do florescimento. A abordagem de Marin et al. (2009) parece ser mais adequada, pois a cana-de-açúcar forma seu produto de interesse econômico (acúmulo de sacarose nos colmos) ainda na fase vegetativa.

2.3.4 Influência da temperatura do ar no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar

A temperatura do ar é um dos fatores mais importantes na produção da cana-de-açúcar, assim como nas demais culturas. As temperaturas do ar do inverno no Rio Grande do Sul caracterizam um período de restrição à cultura, o qual substitui o período de estiagem das regiões tropicais (MALUF et al., 2008). As temperaturas do ar entre 30°C e 34°C são consideradas ideais para o cultivo de cana-de-açúcar, iniciando-se estresse térmico acima de 35°C e praticamente anulando o crescimento com temperaturas acima dos 38°C (MARIN et al., 2009). Além disso, a taxa de aparecimento de folhas em cana-de-açúcar é fortemente dependente da temperatura do ar (INMAN-BAMBER, 1994; BONNET, 1998; CAMPBELL et al., 1998; ROBERTSON et al., 1998). Segundo Sinclair et al. (2004) a temperatura base, ou seja, a temperatura abaixo da qual não há desenvolvimento vegetativo, é igual a 10°C.

Segundo Suguitani (2006), a temperatura ideal para o perfilhamento está na faixa entre 27°C a 32°C, paralisando esse processo com temperaturas abaixo de 5°C e acima de 45°C. As temperaturas do ar baixas entre 7,0 e 20,0 °C ao desativarem o crescimento, promovem a maturação, determinando o acúmulo de sacarose até o ponto de colheita (Ponto de utilização comercial - PUI), sendo que temperaturas em torno de 17°C são benéficas para maturação, enquanto temperaturas de 2,5°C ou menores podem interromper ou limitar a maturação (MALUF et al., 2008).

O efeito da temperatura no desenvolvimento foliar pode ser descrito por modelos matemáticos. Uma das maneiras frequentemente usadas para calcular o número de folhas nos modelos matemáticos é através do conceito de filocrono, definido como o intervalo de tempo entre o aparecimento de duas folhas sucessivas na haste principal (WILHELM; McMASTER, 1995), tendo como unidade °C dia folha⁻¹. Para se obter os valores de filocrono utiliza-se a soma térmica como unidade de tempo. Outra forma para se obter os valores do número de

folhas em modelagem é através de modelos não lineares de resposta a temperatura, como o modelo de Wang e Engel (1998).

2.4 Simulação do desenvolvimento vegetal através de modelos matemáticos

Os modelos matemáticos são usados para se descrever as interações nos agroecossistemas, tornando possível o estudo do impacto de mudanças nos elementos meteorológicos e no clima sobre os mesmos. Há uma grande quantidade de modelos de simulação de rendimento agrícola das culturas agrícolas na literatura, que incluem modelos mecanísticos de elevada complexidade e número de coeficientes e também modelos empíricos mais simples.

Os modelos de simulação do desenvolvimento das culturas podem ser divididos em dois grupos: lineares, que usam o conceito de soma térmica, e os modelos não lineares. A resposta de processos biológicos à temperatura do ar é melhor descrita de forma não linear, considerando-se as temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) de desenvolvimento, pois este processo vegetal é linear apenas em uma faixa pequena entre a temperatura mínima e a temperatura ótima (STRECK, 2002a, 2002b, 2003b). A maneira como o cálculo da Soma Térmica (ST) é descrito na literatura, pode ser contestada, pois há quatro diferentes maneiras para efetuar este cálculo, obtendo-se dessa forma resultados diferentes para um mesmo conjunto de dados. Além disso, pode ocorrer de não ser indicada qual foi a forma utilizada para o cálculo da ST pelos autores (McMASTER; WILHELM, 1997).

Uma alternativa ao método da soma térmica é o emprego de modelos multiplicativos e com função de resposta não linear para representar o efeito dos fatores ecológicos (como a temperatura do ar) sobre o desenvolvimento vegetal como o modelo de Wang e Engel (1998). Estudos com culturas agrícolas como trigo (XUE et al., 2004), batata (STRECK et al., 2007), kiwi (STRECK, 2003b) e milho (STRECK et al., 2008) confirmam a superioridade do modelo de Wang e Engel (1998). O modelo de Wang e Engel (1998) foi adaptado com a inclusão da função de cronologia $f(C)$ em trigo (STRECK et al., 2003b) e seu desempenho foi ainda melhor do que em sua forma original. Dessa forma, é importante que se faça essas adaptações no modelo de Wang e Engel (1998) também para a simulação da emissão de folhas em cana-de-açúcar.

2.5 Zoneamento agroclimático para cultura da cana-de-açúcar

Historicamente, as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil são as maiores produtoras de cana-de-açúcar do país, mas a região Sul vem se tornando um potencial produtor, pois possui em determinados locais, pelo zoneamento agroclimático, regiões aptas para o cultivo apesar de a região estar localizada em áreas de clima subtropical e temperado (HANAUER, 2011). De acordo com o zoneamento agroclimático atualizado para a cultura da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, a cultura pode ser uma alternativa viável para o Estado, sendo que não há restrições de solo e clima que possam restringir o cultivo desta gramínea nos municípios listados no documento (MALUF et al., 2008).

De acordo com o zoneamento agroclimático elaborado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Santa Maria não consta entre os municípios indicados para o cultivo de cana-de-açúcar. As datas de plantio para municípios próximos a região de Santa Maria, como Formigueiro e Restinga Seca indicam os períodos 1 (1º-10 de janeiro) a 15 (21- 31 de maio) e 26 (11-20 de setembro) a 36 (21-31 de dezembro) para outros fins que não a produção de açúcar e etanol (MAPA, 2008). Já no zoneamento agroclimático da FEPAGRO, para Santa Maria consta o período de 1º de outubro a 20 de março como indicado para plantio de cana-de-açúcar destinada à produção de álcool (MALUF et al., 2008). Sendo o período de outubro a dezembro a época mais favorável para o cultivo da cana-de-açúcar de um ano e de janeiro a março para cultivo de cana-de-açúcar de um ano e meio ou mais.

3 CAPÍTULO 1

CONTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE TOLETE PARA EMISSÃO DE FOLHAS EM CANA-DE-AÇÚCAR

(Artigo a ser submetido à publicação).

CONTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DE TOLETE PARA EMISSÃO DE FOLHAS EM
CANA-DE-AÇÚCAR

CONTRIBUTION OF CULM CUTTING SIZE FOR LEAF EMISSION IN SUGARCANE

RESUMO

O objetivo neste trabalho foi identificar o número de folhas expandidas (NFE) e totais (NFT) a partir do qual ocorre redução da contribuição das reservas do tolete para a taxa de emissão de folhas em cana-de-açúcar. O clone de cana-de-açúcar utilizado foi SP711406, por ser um clone de ciclo intermediário e bem adaptado ao local. O delineamento experimental foi o Inteiramente Casualizado com 32 repetições. Foram testados quatro tratamentos: duas vezes o comprimento do entrenó, uma vez o comprimento do entrenó, metade do comprimento do entrenó e somente o nó. Os resultados indicaram que as reservas no tolete de cana-de-açúcar tem a contribuição máxima para a emissão das duas primeiras folhas expandidas e das cinco primeiras folhas totais e a taxa de emissão de folhas subsequentes decresce devido ao esgotamento das reservas do tolete,

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*. Modelagem. Desenvolvimento foliar.

ABSTRACT

The objective of this study was to identify the expanded leaves number (LN_{exp}) and tip leaf number (LN_{tip}) from which there is reduction in the contribution of culm reserves to leaf appearance rate in sugarcane. The sugarcane clone used was SP 711406, with intermediate cycle and well adapted to local conditions. The experimental design was randomized with 32 replications. Treatments were culm cuttings with: twice the length of the internode, one

internode, half the length of internodes, and no internode. Results indicated that the reserves of the culm cuttings of sugarcane have their maximum contribution to the emission of the first two expanded leaves and of the first five leaf tips, and the appearance rate of subsequent leaves decrease due to reduction in culm cuttings reserves.

Key-words: *Saccharum officinarum*. Modelling. Leaf development.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma das principais culturas da economia brasileira. O etanol produzido a partir a cana-de-açúcar é mais barato do que o etanol produzido a partir de culturas amiláceas como a mandioca, a batata e a batata-doce. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o primeiro em produção de açúcar e etanol (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA, 2014).

Estudos básicos sobre o desenvolvimento das culturas agrícolas, incluindo a cultura da cana-de-açúcar, são importantes, pois muitas práticas agrônômicas são realizadas em certos momentos do ciclo de desenvolvimento. Como a parte reprodutiva não é de interesse comercial, em lavouras comerciais o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar ocorre com base no aparecimento ou emissão de folhas no colmo (STRECK et al., 2010).

Modelos matemáticos são frequentemente usados em estudos de crescimento e desenvolvimento vegetal e uma vez adaptados e testados em diferentes condições ambientais, são ferramentas que permitem descrever as interações entre a planta e o ambiente. Streck (2002) ressalta que os modelos de desenvolvimento são partes importantes de modelos de simulação de culturas e, assim, a emissão de folhas é um importante componente em modelos de simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas (HODGES, 1991).

Na literatura são encontradas diferentes formas de se modelar a emissão de folhas, mas os modelos de simulação da emissão de folhas das culturas podem ser divididos em dois grupos: modelos lineares, que usam o conceito de soma térmica, e os modelos não lineares. Os lineares usam o conceito do filocrono, enquanto os não lineares usam funções de resposta não lineares para representar o efeito dos fatores ecológicos (como a temperatura) sobre o desenvolvimento vegetal como o modelo de Wang e Engel (1998). Quando estes modelos são usados em cana-de-açúcar, uma questão que pode surgir é se as reservas do tolete contribuem ou não para a emissão de folhas no início do ciclo de desenvolvimento desta cultura. Caso haja tal contribuição, é necessário conhecer a magnitude ou intensidade desta contribuição e por quanto tempo, uma vez que as reservas do tolete vão sendo usadas a partir do plantio dos toletes para brotação das gemas.

Os toletes da cana-de-açúcar, em analogia às sementes em culturas agrícolas anuais como milho, soja, arroz e trigo, são os órgãos de reserva de energia para perpetuação e multiplicação da espécie. A principal reserva é a sacarose e os colmos da cana-de-açúcar contêm de 7 a 13% de sacarose (RODRIGUES, 1995). Estas reservas de sacarose serão utilizadas como fonte de energia para a brotação das gemas e o crescimento de uma nova plântula, ou seja, a mobilização das reservas é fator determinante do vigor da plântula produzida no final do processo de emergência (POPINIGIS, 1977).

Um exemplo de que o conhecimento da contribuição das reservas do propágulo que afetam a velocidade inicial de surgimento de folhas foi incorporado em um modelo de emissão de folhas foi a modificação que Streck et al. (2003) introduziram no modelo de Wang e Engel (1998) para trigo, a qual foi feita através de uma função de cronologia que varia de 0 a 1, sendo igual a 1 para as duas primeiras folhas devido as reservas da semente e decrescendo (na forma potencial negativa) para as folhas subsequentes. A consequência foi que o modelo

modificado por Streck et al. (2003) melhorou a simulação da emissão de folhas em trigo comparado ao modelo original de Wang e Engel (1998).

Vários outros autores determinaram as relações entre o tamanho da estrutura reprodutiva e o desenvolvimento das plantas em aveia-preta (SCHUCH et al., 1999), soja (VANZOLINI; CARVALHO, 2002), trigo (PETERSON et al., 1989; GRIEVE; FRANCOIS, 1992; MIAN; NAFZIGER, 1994; BREDEMEIER et al., 2001). Para Magro et al. (2011), num período de cerca de 60 dias, as reservas dos toletes da cana-de-açúcar são fundamentais para a evolução do processo de brotação, reduzindo essa dependência à medida que o sistema radicular se desenvolve. Porém, para Lucchesi (2001) a planta sobrevive das reservas nutricionais contidas no tolete por um período de apenas 30 dias. Estes trabalhos anteriores não avaliaram a variável emissão de folhas, o que constituiu a motivação para realizar o presente trabalho.

O objetivo neste trabalho foi identificar o número de folhas expandidas (NFE) e totais (NFT) a partir do qual ocorre redução da contribuição das reservas do tolete para a taxa de emissão de folhas em cana-de-açúcar. A hipótese neste trabalho é de que a contribuição das reservas sobre a taxa de emissão de folhas é máxima para algumas das primeiras folhas (durante o período inicial do desenvolvimento da planta de cana-de-açúcar) e que com esgotamento das reservas do tolete, a taxa de emissão de folhas reduz até que a emissão de folhas passa a ser afetada apenas pelas condições ambientais, por exemplo, temperatura do ar, já que utiliza as reservas que a planta produz através da fotossíntese.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos de 8 litros preenchidos com areia na área experimental do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS, Brasil (latitude: 29°43'S e longitude: 53°43'W,

altitude: 95m) na estação de crescimento 2012/2013. O clone de cana-de-açúcar utilizado foi SP711406 (ciclo médio da empresa Copersucar) por ser um clone de ciclo intermediário e bem adaptado ao local (HANAUER, 2011).

O delineamento experimental foi o Inteiramente Casualizado, e constou de quatro tratamentos: T1= duas vezes o comprimento do entrenó, T2= uma vez o comprimento do entrenó, T3= metade do comprimento do entrenó e T4= somente o nó, conforme esquema na Figura 1. A unidade experimental foi um vaso com uma planta e cada tratamento teve oito repetições, totalizando 32 plantas no experimento. Os toletes foram retirados do primeiro entrenó da parte inferior (próxima ao solo) do colmo de plantas cultivadas na estação de crescimento 2011/2012, para se ter homogeneidade do material quanto à quantidade de reservas de sacarose, pois o colmo é composto por uma sucessão de entrenós em diferentes estádios fisiológicos, isto é, entrenós maduros, em maturação e imaturos (CRUSCIOL et al., 2010).

O plantio dos toletes foi realizado em 28/07/2012 e o experimento terminou em 22/05/2013. Antes do plantio, foram medidos o diâmetro (com paquímetro), comprimento (com régua) e massa (com balança eletrônica com precisão 0,005g) de cada um dos toletes utilizados no experimento. Os valores médios de diâmetro (cm), comprimento (cm) e massa fresca (g) dos toletes utilizados no experimento são apresentados na Tabela 1.

Os vasos foram dispostos aleatoriamente sobre bancada de madeira, a campo, e irrigados diariamente até o término do experimento. Os vasos contendo as plantas eram movimentados regularmente para verificar se as raízes das plantas não estavam em contato com a bancada de madeira. A emergência das plantas foi anotada individualmente.

Após a emergência, diariamente foram realizadas contagens de número de folhas expandidas (NFE) e número de folhas totais (NFT), e das dimensões das folhas verdes, até o final do mês de outubro, quando iniciaram os sintomas de deficiência nutricional e

senescência das plantas. A partir desse momento, as medidas foram realizadas duas vezes por semana e após uma vez por semana até a completa senescência das plantas. Uma folha foi considerada expandida quando estava com lígula visível e o NFT foi considerando o NFE mais o número de folhas não expandidas visíveis no cartucho. A área de cada folha (AF, cm²) foi calculada a partir do comprimento da folha (C, a partir da lígula até a ponta da folha) por: $AF = f (CxL)$, em que f é um fator de correção para a forma lanceolada da folha de cana, que se assumiu 0,72 (SINCLAIR et al., 2004).

Os dados diários de temperatura mínima e máxima do ar e radiação solar global diária foram coletados em uma estação meteorológica convencional, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada a aproximadamente 100 m da área experimental. A soma térmica diária (STd, °C dia) foi calculada por (ARNOLD, 1960): $STd = (T - T_b) \cdot 1$, quando a $T_b < T \leq T_{ot}$ e, $STd = (T_{ot} - T_b) \cdot (T_{max} - T) / (T_{max} - T_{ot}) \cdot 1$ dia, quando $T_{ot} < T \leq T_{max}$, sendo T_b , T_{ot} e T_{max} são as temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) para aparecimento de folhas em cana-de-açúcar. Foram usados valores de $T_b = 10^\circ\text{C}$ (SINCLAIR et al., 2004), $T_{ot} = 30^\circ\text{C}$ e $T_{max} = 38^\circ\text{C}$ (MARIN et al, 2009), e T é a temperatura média diária do ar. A soma térmica acumulada (STa, °C dia), a partir da data da emergência, foi calculada acumulando-se os valores de STd, ou seja, $STa = \sum STd$.

Após se ter definido a STa do período de emissão de folhas das plantas, calculou-se a taxa de aparecimento de folhas (TAF), tanto para NFE quanto para NFT, a qual consistiu no valor obtido entre a divisão da variação do NF ($\Delta NF = NF_{atual} - NF_{dia anterior}$) pela variação da STa ($\Delta STa_{atual} - STa_{dia anterior}$) no período de duas semanas, ou seja, $TAF = \Delta NF / \Delta STa$. A TAF foi normalizada fazendo-se a divisão de todos os valor de TAF encontrados pelo maior valor da TAF de T2. Em seguida, os valores de TAF normalizados foram plotados contra o NFE e o NFT, para possibilitar a visualização do número de folhas a partir da qual se inicia a diminuição gradual das reservas presentes no tolete. As relações entre a TAF de folhas

expandidas e totais e o NFE e NFT foram realizadas pelo ajuste dos dados a uma função potência: $y = ax^b$, em que y é a TAF (número de folhas emitidas quinzenalmente), x é o NFE e NFT (folhas colmo⁻¹) e “a” e “b” são coeficientes empíricos.

Calculou-se a área foliar verde média das plantas de cada tratamento. Posteriormente, os valores dessas áreas foliares foram acumulados para se obter o valor final total da área foliar verde. Esses dados foram submetidos à análise da variância e as médias obtidas foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro. A análise estatística foi realizada com auxílio do pacote estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis meteorológicas (temperatura do ar mínima, temperatura do ar máxima e radiação solar global) durante o período de emissão de folhas do experimento estão apresentadas na Figura 2. Os maiores valores de temperatura máxima do ar aconteceram nos meses de Novembro e Dezembro (30,4 e 31,1°C, respectivamente) e os menores nos meses de Abril e Maio (14,5 e 11,3°C, respectivamente). Os maiores e menores valores de temperatura média mensal ocorreram nos meses de Dezembro/2012 e Fevereiro/2013, atingindo 25,5°C e 24,5°C, respectivamente, e em Maio/2013 16,5°C. A radiação solar variou de 9,0 MJ m⁻²dia⁻¹ em Maio de 2013 a 21,0 MJ m⁻²dia⁻¹ em Janeiro de 2013 (FIGURA 2). Os valores de precipitação pluviométrica acumulada no período do experimento não influenciaram a disponibilidade de água para as plantas, pois as mesmas eram irrigadas diariamente.

A TAF normalizada para cada tratamento é apresentada na Figura 3. Todos os tratamentos tiveram a taxa de aparecimento de folhas (TAF) normalizada pelo valor de TAF máxima do T2. Os valores de TAF máxima para NFE foram nas duas primeiras folhas, e para NFT nas cinco primeiras folhas (FIGURA 3c e 3d). Ajustaram-se equações potenciais negativas, indicando o decréscimo gradual das reservas à medida que novas folhas foram

sendo emitidas. Algumas plantas nos tratamentos T3 e T4 tiveram emissão de folhas mais lenta que as demais plantas do mesmo tratamento, resultando em pontos próximos a zero, como se pode observar no canto inferior esquerdo das Figuras 3e, 3f, 3g e 3h. Resultados como os do trabalho de Bredemeier et al. (2001) mostraram o desenvolvimento inicial de trigo, medido pela taxa de emissão de folhas do colmo principal também foi maior em plantas oriundas de sementes maiores, resultado semelhante ao encontrado neste trabalho com cana-de-açúcar.

Dessa forma, e considerando que os toletes utilizados para o plantio a campo são de três gemas, tendo então as reservas de sacarose distribuídas nos três entrenós, pode-se considerar que os valores de duas folhas expandidas e cinco folhas totais encontradas no presente trabalho são uma aproximação razoável e poderão ser incluídas em modelos que levam em consideração a diminuição gradual das reservas em cana-de-açúcar, como já foi realizado por Streck et al. (2003) no modelo Wang e Engel (1998) para trigo.

O tratamento T1 acumulou 10824,00 cm² diferindo significativamente do tratamento T3, que apresentou 5398,00 cm², e do tratamento T4, com 4159 cm² (Tabela 2). Assim, é possível inferir que a disponibilidade de reservas às plântulas contribui para o crescimento foliar (Tabela 2), resultando em plantas com área foliar acumulada maior. Pádua et al. (2010) encontraram resultados semelhantes, comparando diferentes diâmetros de sementes de soja, onde as sementes de diâmetro maior resultaram em plantas com altura e produtividade de grãos também maiores. Isso se deve as maiores quantidades de fotoassimilados que a planta pode reservar e destinar ao seu crescimento, já que para seu desenvolvimento inicial tem disponível a reserva de energia em seu órgão de propagação.

CONCLUSÕES

As reservas no tolete de cana-de-açúcar tem a contribuição máxima para a emissão das duas primeiras folhas expandidas e das cinco primeiras folhas totais e a taxa de emissão de folhas subsequentes decresce devido ao esgotamento das reservas do tolete.

REFERÊNCIAS

ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heat units.

Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Boston, v. 76, n. 1, p. 682-692, 1960.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; BÜTTENBENDER, D. Efeito do tamanho das sementes de trigo no desenvolvimento inicial das plantas e no rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 8, p. 1061-1068, 2001.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF - Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2010. 111 p.

GRIEVE, C. M.; FRANCOIS, L. E. The importance of initial seed size in wheat response to salinity. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 147, n. 2, p. 197-205, 1992.

HANAUER, J. G. Crescimento, **Desenvolvimento e Produtividade de cana-de-açúcar em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em Santa Maria, RS.** 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HODGES, T. **Predicting crop phenology.** CRC, 1991. 233 p.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: CASTRO, P.C.; KLUGE, R.A. (Coord.). **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira.** Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.

MAGRO, F. J. et al. **Biometria em cana-de-açúcar.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. USP. Piracicaba, SP. Jun. 2011.

MARIN, F. R. et al. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.** Brasília, DF: INMET, 2009. p. 109-130.

MIAN, M. A. R.; NAFZIGER, E. D. Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter wheat. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 1, p. 169-171, 1994.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Cana-de-açúcar.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>.

Acesso em: 05 jan. 2014.

PÁDUA, G. P.; ZITO, R. K.; ARANTES, N. E.; FRANÇA NETO, J. B. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 09 - 16, 2010.

PETERSON, C. M.; KLEPPER, B.; RICKMAN, R. W. Seed reserves and seedling development in winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 2, p. 245-251.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289 p.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociência, 1995. 101 p. Apostila.

SCHUCH, L. O. B.; NEDEL, J. L.; ASSIS, F. N. Crescimento em laboratório de plântulas de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 229-234, 1999.

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

STRECK, N. A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 105-111, 2002a.

STRECK, N. A. A generalized vernalization response function for lily (*Lilium* spp.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 221-228, 2002b.

STRECK, N. A. et al. Incorporating a chronology response into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, n. 2, p. 181-190, 2003.

STRECK, N. A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P. S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 115, n. 3-4, p. 139-150, 2003.

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N.M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural systems**, Essex, v. 58, n. 1, p. 1-24, 1998.

Tabela 1 – Valores médios de diâmetro (cm), comprimento (cm) e massa fresca (g) dos toletes usados nos quatro tratamentos (T1=duas vezes o tamanho do entrenó, T2=uma vez o tamanho do entrenó, T3=metade do entrenó e T4 somente nó) utilizados no experimento de emissão de folhas na estação de crescimento 2012/2013. Santa Maria, RS.

Tratamento	Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)	Massa Fresca (g)
T1=2x entrenó	3,37	22,25	214,38
T2=1x entrenó	3,21	13,36	112,50
T3=1/2 entrenó	3,08	6,65	48,75
T4=Somentenó	3,35	3,03	27,5

Tabela 2 – Área foliar acumulada (cm²), do clone SP 711406 de cana-de-açúcar, em quatro tratamentos: T1= duas vezes o comprimento do entrenó; T2= uma vez o comprimento do entrenó; T3= metade do comprimento do entrenó e T4= somente nó, com o clone SP 711406 na estação de crescimento 2012/2013. Santa Maria, RS.

Tratamento	Área foliar (cm ²)
T1	10824,00 a*
T2	8770,00 ab
T3	5398,00 bc
T4	4159,00 c

*Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem pelo teste de Tukey a 5 %.

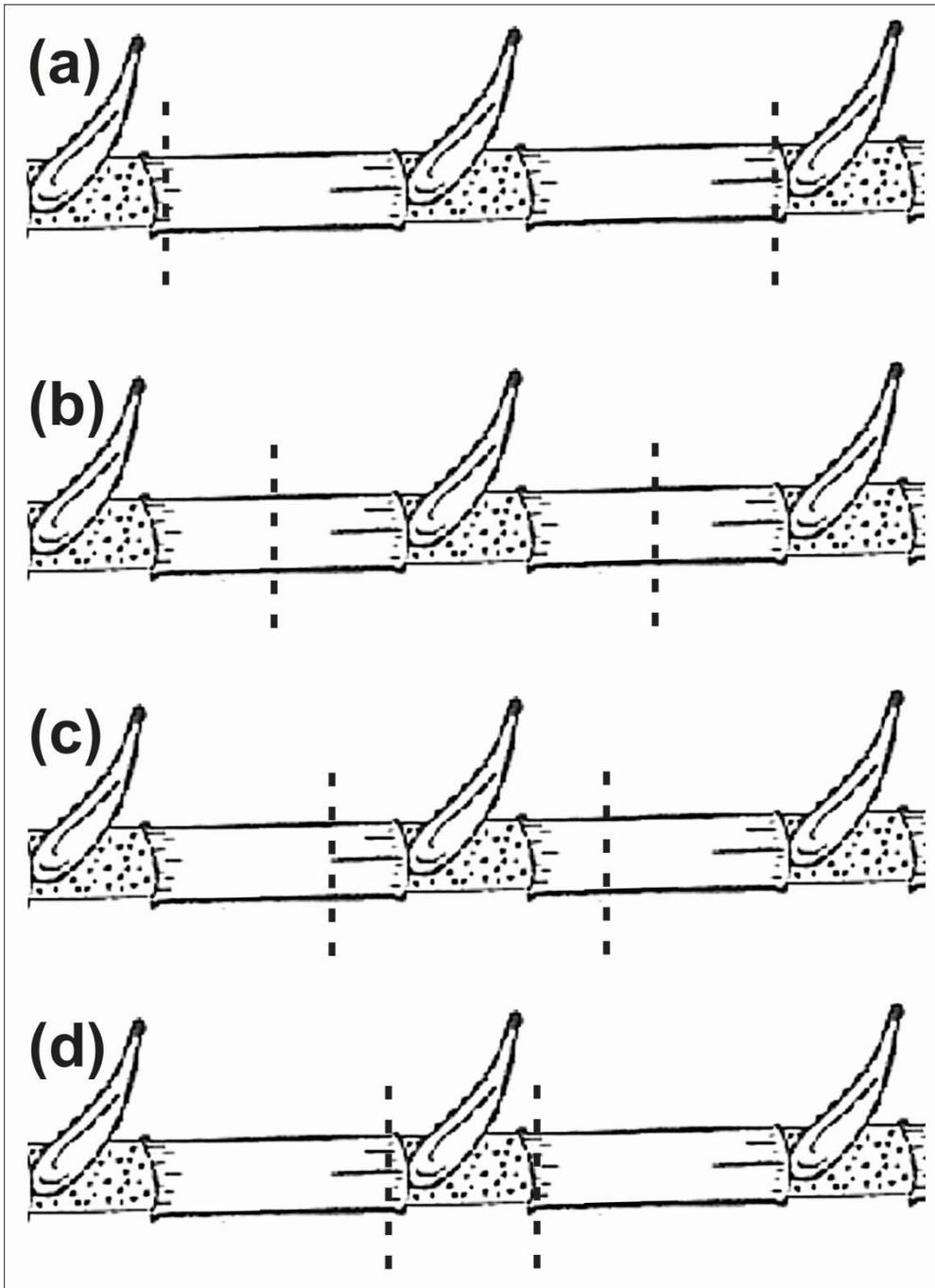


Figura 1 – Representação esquemática dos tratamentos de diferentes tamanhos de tolete de cana-de-açúcar: T1=duas vezes o comprimento do entrenó (a), T2=uma vez o comprimento do entrenó (b), T3=metade do comprimento do entrenó (c) e T4=somente nó (d). Santa Maria, RS.

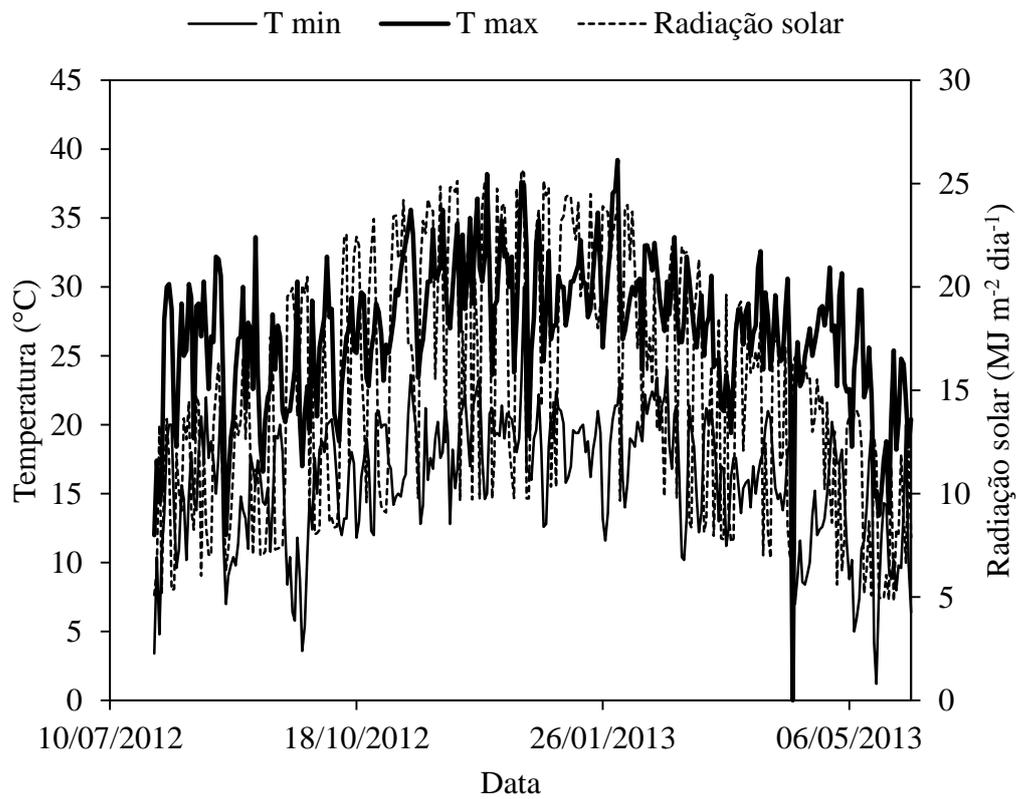


Figura 2 – Valores diários de temperatura mínima, média e máxima do ar, radiação solar global durante o período durante a estação de crescimento 2012/2013 em Santa Maria, RS.

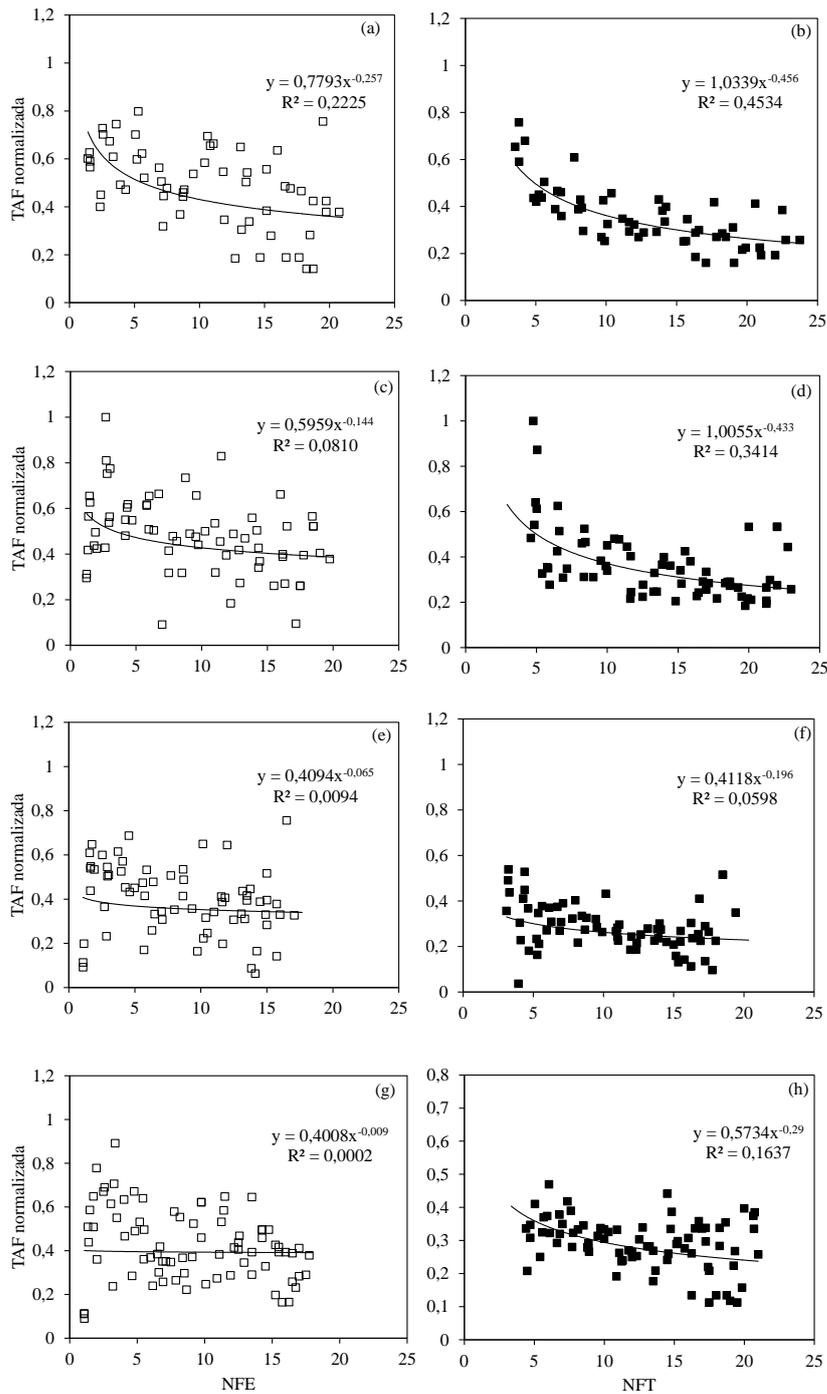


Figura 3 – Taxa de aparecimento de folhas (TAF) normalizada para número de folhas expandidas (NFE) (painéis da esquerda) e número de folhas totais (NFT) (painéis da direita) para o clone de cana-de-açúcar SP 711406 em quatro tratamentos: (a) e (b) = T1 = duas vezes o tamanho do entrenó, (c) e (d) = T2 = uma vez o tamanho do entrenó, (e) e (f) = T3 = metade do entrenó e (g) e (h) = T4 = somente nó. Santa Maria, RS. 2012/2013.

4. CAPÍTULO 2

DENSIDADE DE COLMOS E SEU EFEITO NO DESENVOLVIMENTO FOLIAR DE CANA-DE-AÇÚCAR

(Artigo submetido à publicação)

DENSIDADE DE COLMOS E SEU EFEITO NO DESENVOLVIMENTO FOLIAR DE
CANA-DE-AÇÚCAR

INFLUENCE OF CULM DENSITY ON LEAF DEVELOPMENT OF SUGARCANE

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho elucidar se a redução na velocidade de surgimento de folhas (aumento do valor de filocrono) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar é devido ao ambiente ou devido a causas fisiológicas. Um experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, da Universidade Federal de Santa Maria, na estação de 2012/2013 em sistema de cultivo cana-planta. O clone de cana-de-açúcar utilizado foi SP 711406 por ser um clone de ciclo intermediário e ser bem adaptado ao local. Nas plantas marcadas foram medidas as variáveis número de folhas expandidas (NFE) e número de folhas totais (NFT) no colmo principal, dimensões lineares das folhas expandidas e posteriormente, no momento da colheita, foram determinados os componentes do rendimento (comprimento total do colmo, fitomassa fresca de colmo comercial, fitomassa seca do colmo comercial, número de nós, número de entrenós, comprimento do entrenó, massa fresca do entrenó e massa seca do entrenó). Concluiu-se que a mudança na velocidade da emissão de folhas (filocrono maior) a partir da 15ª folha é causada por formação de microclima no dossel e devido ao aumento do dreno de fotoassimilados para crescimento dos colmos; e que os componentes do rendimento são afetados de forma negativa por densidades de plantio menores que as recomendadas para a cultura.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*. Filocrono. Emissão de folhas.

ABSTRACT

The objective of this study was to elucidate whether the reduction in the rate of leaf appearance (phyllonchroon value increase) along the development cycle of sugarcane is due to the environment or due to physiological causes. An experiment was conducted at the experimental area of the Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, in the 2012/2013 growing season in plant cane cultivation system. The clone of sugarcane used was SP 711406, a clone of intermediate cycle and well adapted to this location. In plants marked the variables expanded leaves number (LN_{exp}) and tip leaves number (LN_{tip}) in the main stem, linear dimensions of expanded leaves and later, at harvest were determined yield components (total stem length were measured, weight biomass of commercial stem, dry biomass commercial stem, number of nodes, number of internodes, internode length, fresh weight and dry weight of internode internode). It was concluded that the change in rate of leaf emergence (phyllonchroon greater) from the 15th leaf on is caused by a change in microclimate in the canopy and the increase of the sink strength of photosynthates to stem growth; and yield components are affected negatively by lower densities than those recommended for the crop planting.

Key-words: *Saccharum officinarum*. Phyllonchroon. Leaf emission.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma planta originária do Sudeste Asiático, na região da Nova Guiné e Indonésia (DANIELS; ROACH, 1987) e da Índia Ocidental (ARANHA; YAHN, 1987). É cultivada em uma ampla faixa de latitude desde 35°N a 35°S, ou seja, em regiões equatoriais, tropicais e subtropicais (BRUNINI, 2008). O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, totalizando 68,29 t ha⁻¹ na safra de 2011/2012

(MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA, 2014a), e o primeiro em produção de açúcar e etanol, além de possuir disponibilidade de terras cultiváveis para o plantio da cana, sem prejuízo dos outros alimentos, tecnologia de produção e a estrutura na distribuição (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA, 2014b).

Todo açúcar e etanol produzido com a cana-de-açúcar vêm das reservas de sacarose presentes em seu colmo. Para que estas reservas de sacarose ocorram é necessário que a planta realize a fotossíntese em suas folhas. Dessa forma, a produção de sacarose é transportada e armazenada no vacúolo das células parenquimáticas nos entrenós do colmo (SCATENA; SCREMIN-DIAS, 2006). Portanto, a emissão de folhas é um processo do desenvolvimento vegetal importante, pois está ligada diretamente ao índice de área foliar e conseqüentemente a fotossíntese.

A taxa de emissão de folhas é afetada por fatores bióticos e abióticos (STRECK, 2002). Trabalhos anteriores indicam que, em cana-de-açúcar, a velocidade de emissão de folhas diminui a partir de aproximadamente 15 folhas/colmo, ou seja, as folhas que aparecem mais cedo têm maior velocidade de surgimento (filocrono menor) do que as folhas que aparecem mais tarde (INMAM-BAMBER, 1994; BONNET, 1998; SINCLAIR et al., 2004, STRECK et al., 2010). Para Sinclair et al. (2004), a redução na velocidade de surgimento de folhas na cana-de-açúcar pode ser devido a uma mudança no microclima dentro do dossel de cana-de-açúcar ao longo da estação de crescimento. Porém, para Hanauer (2011) a redução na velocidade de surgimento de folhas é uma mudança na força de dreno causada pelo início de acúmulo de açúcar no colmo da planta, pois o início da alongação do colmo nos três clones estudados aconteceu quando o número acumulado de folhas era, em média, 15 folhas, ou seja, trouxe uma hipótese em bases fisiológicas e não devido ao microambiente.

Neste trabalho o objetivo foi elucidar se a redução na velocidade de surgimento de folhas (aumento do valor de filocrono) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar é devido ao ambiente ou devido a causas fisiológicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento de campo foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, da Universidade Federal de Santa Maria, na estação de 2012/2013 em sistema de cultivo cana-planta. O solo é uma transição entre a Unidade de Mapeamento São Pedro (Argissolo Vermelho distrófico arênico) e a Unidade de Mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico úmbrico) (STRECK et al., 2008). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida (KUINCHTNER; BURIOL, 2001).

O clone de cana-de-açúcar utilizado foi SP711406 (ciclo médio da empresa Copersucar) por ser um clone de ciclo intermediário e estar bem adaptado ao local (HANAUER, 2011). Como propágulos foram utilizados toletes com três gemas. O plantio foi em 10/08/2012 em covas a 20 cm de profundidade. A adubação de base seguiu a recomendação para a cultura com base em análise de solo (400 kg/ha de NPK na formulação 05-20-20) e constou da aplicação do fertilizante em sulcos próximo aos toletes, a cerca de 20 cm de profundidade. A aplicação de nitrogênio em cobertura foi feita 90 dias após o plantio na dose de 182 kg/ha de ureia.

Os tratamentos foram quatro densidades de colmos: T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m⁻²). T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por

planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de $0,75 \text{ colmos m}^{-2}$) T3= espaçamento entre covas de $2\text{m} \times 2\text{m}$ (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial), e T4= espaçamento entre covas de $1,0\text{m} \times 0,8\text{m}$ (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial). Os tratamentos foram definidos assim que se iniciou o perfilhamento das plantas. Os perfilhos excedentes em T1 e T2 foram cortados duas vezes por semana durante a estação de crescimento para manutenção do dossel desejado, até o término do experimento, enquanto no T3 e T4 não se interferiu no perfilhamento. O delineamento foi Blocos ao Acaso com cinco repetições. Cada repetição no T1, T2 e T3 foi uma parcela de cinco fileiras de plantas com $12,0 \text{ m}$ de comprimento, no espaçamento de $2,0 \text{ m}$ entre fileiras e de $2,0 \text{ m}$ entre plantas. No T4 foi cada repetição foi uma parcela de cinco fileiras de plantas espaçadas com $0,8 \text{ m}$ e com $4,8 \text{ m}$ de comprimento. O número de covas/parcela foi o mesmo em todos os tratamentos (30 covas/parcela).

As plantas daninhas foram controladas manualmente, sempre que necessário durante todo o experimento, a fim de minimizar o estresse biótico pela competição com as plantas daninhas. Insetos pragas não foram controlados, pois as populações não atingiram o nível econômico. A data de emergência para todos os tratamentos (18/09/2012) foi considerada quando 50% do número total de plantas haviam emergido.

Após a emergência, foram marcadas seis plantas por parcela em duas linhas centrais com arame. Nos colmos principais das plantas marcadas foram medidas as variáveis número de folhas expandidas (NFE), número de folhas totais (NFT) (semanalmente), e as dimensões lineares das folhas expandidas (a cada duas semanas). Uma folha foi considerada expandida quando estava com lígula visível e o NFT foi considerando o NFE mais o número de folhas não expandidas visíveis no cartucho. O comprimento da folha (C, a partir da lígula até a ponta da folha) e a maior largura da folha (L) de cada folha foram medidos e a área foliar (AF, cm^2)

destas folhas foi calculada como: $AF = f (CxL)$, onde f é um fator de correção para a forma lanceolada da folha de cana, considerado 0,72 (SINCLAIR et al., 2004). O número de perfilhos por planta, nos tratamentos de crescimento livre (T3 e T4), também foi contado semanalmente. Na colheita, realizada em 31/05/2013, foram determinados os componentes do rendimento (comprimento total do colmo, fitomassa fresca de colmo comercial, fitomassa seca do colmo comercial, número de nós, número de entrenós, comprimento do entrenó, massa fresca do entrenó e massa seca do entrenó). Esses dados foram submetidos à análise da variância e as médias obtidas foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro. A análise estatística foi realizada com auxílio do pacote estatístico SAS.

Os dados diários de temperatura mínima e máxima do ar foram coletados em uma estação meteorológica convencional, pertencente ao 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada a aproximadamente 100 m da área experimental. A soma térmica diária (STd, °C dia) foi calculada por (ARNOLD, 1960): $STd = (T - T_b) \cdot 1$, quando $T_b < T \leq T_{tot}$ e, $STd = (T_{tot} - T_b) \cdot (T_{max} - T) / (T_{max} - T_{tot}) \cdot 1$ dia, quando $T_{tot} < T \leq T_{max}$, sendo T_b , T_{tot} e T_{max} são as temperaturas cardinais (mínima, ótima e máxima) para aparecimento de folhas em cana-de-açúcar. Foram usados valores de $T_b = 10^\circ\text{C}$ (SINCLAIR et al., 2004), $T_{tot} = 30^\circ\text{C}$ e $T_{max} = 38^\circ\text{C}$ (MARIN et al., 2009), e T é a temperatura média diária do ar. O filocrono ($^\circ\text{C dia folha}^{-1}$) foi estimado para cada tratamento pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NF e a soma térmica acumulada (STa, °C dia) (STRECK et al., 2005; STRECK et al., 2009a; XUE et al., 2004). O filocrono foi calculado com base no NFE e o NFT. Através de observação visual dos gráficos STa versus NFE ou NFT, verificou-se se e quando ocorreu a presença ou a ausência de mudança na tendência linear do desenvolvimento foliar durante a estação de crescimento da cana-de-açúcar, conforme STRECK et al. (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis meteorológicas durante o período de emissão de folhas (2012/2013) são apresentadas na Tabela 1. As temperaturas médias mensais do ar variaram de 25,5°C no mês de Dezembro de 2012, quando a cultura estava na fase de perfilhamento, a 16,5°C em Maio de 2013, momento em que a cultura já iniciava a maturação dos colmos. As temperaturas mais baixas (menores de 21°C) diminuem o crescimento dos colmos e promovem o acúmulo de sacarose, favorecendo a maturação (RODRIGUES, 1995).

A evolução da densidade de colmos nos quatro tratamentos está na Figura 1. No T3 e no T4 o número de colmos/m² aumentou rapidamente até aproximadamente 100 DAE. No T3, o máximo de 5,5 colmos/m² foi em 137 DAE e decresceu até 5,1 colmos/m² no final do experimento enquanto no T4, o número máximo de colmos foi de 17,3 colmos/m² e decresceu até 10,5 colmos/m² ao longo do experimento. A evolução da densidade de colmos no T4 é típica de uma lavoura comercial, em que o auto sombreamento é o responsável pela queda no final do ciclo de crescimento.

A cana-de-açúcar perfilha precocemente e abundantemente, mas a maioria dos perfilhos não sobrevive devido à competição (RAMESH; MAHADEVASWAMY, 2000). Esse fato pode ser observado na Figura 1, onde mais de um terço dos perfilhos senesceram no T4 após atingirem o pico de perfilhamento. Esse fato pode ser explicado, pois o máximo do perfilhamento no Hemisfério Sul ocorre nos meses de novembro e dezembro, com uma queda devido à competição intraespecífica por radiação solar (MACHADO, 1987) iniciando-se a senescência dos perfilhos depois de uma interceptação de 70% da Radiação Fotossinteticamente Ativa (INMAN-BAMBER, 1994). Essa baixa luminosidade reduz drasticamente a emissão de novos perfilhos (CÂMARA, 1993), e o auto sombreamento induz

a inibição do perfilamento por competição intraespecífica e acelera o crescimento do colmo principal (RODRIGUES, 1995).

Para massa fresca e massa seca do colmo comercial, os tratamentos T2 e T3 obtiveram diferença significativa dos demais (TABELA 2). Os valores de massa fresca do entrenó foram maiores no tratamento T3 e de massa seca do entrenó também no tratamento T3, porém este não diferiu significativamente do tratamento T4. No tratamento T4 havia maior densidade de colmos por m², e este não diferiu significativamente do tratamento T3 em comprimento total de colmo, conforme apresentado na Tabela 2, porém diferiu significativamente de todos os demais tratamentos quando analisado o comprimento do entrenó (TABELA 2). O número de nós e de entrenós foi maior nos tratamentos T1 e T2 (TABELA 2), confirmando os resultados encontrados para NFF (FIGURA 2a, 2b, 2c, 2d e 3a, 3b, 3c, 3d). Dessa forma, pode-se afirmar que os componentes do rendimento foram afetados de forma negativa pelas densidades de plantio menores (T1 e T2). Estudos como os de Paranhos (1972) e Shih e Gascho (1980) encontraram resultados semelhantes, mostrando haver aumento na produtividade com densidades de plantio maiores.

Não houve diminuição da velocidade de desenvolvimento foliar a partir de 15 folhas na menor densidade de colmos (T1) (FIGURA 2A e 3A), enquanto a mudança de velocidade de emissão de folhas ocorre em aproximadamente 15 folhas nos dois tratamentos com maior densidade de colmos (T3 e T4, FIGURAS 2C, 2D, 3C, 3D), conforme relatado por Streck et al. (2010). Estes resultados confirmam a hipótese de Sinclair et al. (2004) de que a mudança na velocidade da emissão de folhas é causada por microclima originado dentro do dossel vegetativo após a emissão da 15^a folha. A hipótese de Hanauer (2011), de que a redução da velocidade de emissão de folha próximo a 15 folhas é devido ao aumento do dreno de fotossimilados para crescimento dos colmos complementa a explicação para esse fenômeno. Nas maiores densidades (T3 e T4), os colmos foram drenos mais fortes que nas menores

densidades (T1 e T2), pois os colmos originados de T1 tiveram valores menores de massa seca (TABELA 2). Ao se analisar os resultados de número de nós (TABELA 2), número de folhas (FIGURA 2a e 3a) e área foliar (FIGURA 4a) verificou-se valores maiores para T1, ou seja, pode-se inferir que o T1 teve maior número de nós e maior área foliar devido ao menor dreno para os colmos.

Devido ao fato de que a velocidade de emissão de folhas não diminui ao longo do ciclo, o número de folhas no final da estação de crescimento (NFF) foi maior nos tratamentos em que a densidade de colmos foi mantida baixa e constante (T1 e T2) que nos tratamentos de crescimento livre (T3 e T4, FIGURA 2a, 2b, 3a, 3b). No tratamento T1 obtiveram-se um NFF médio para NFE de 36,5 folhas e para NFT 40,6 folhas. No tratamento T2 obtiveram-se um NFF médio para NFE de 34,8 folhas e para NFT 39,0 folhas. Já nos tratamentos T3, obtiveram-se um NFF médio para NFE de 29,2 folhas e para NFT 32,8 folhas. Para o T4, o NFF médio para NFE foi 27,5 folhas e para NFT 30,6 folhas.

A área foliar do colmo principal também foi maior na densidade de colmo menor (FIGURA 4), pois como não havia competição entre colmos, a planta pode emitir maior número de folhas. Para o plantio da cultura é recomendado que se mantenha um espaçamento entre sulcos de 0,90 m a 1,40 m (TOWNSEND, 2000). Para ambientes com estação de crescimento mais curtas, como no caso do ambiente subtropical, em que se tem um cultivo de 12 meses, a redução do espaçamento é uma alternativa para se aumentar o Índice de Área Foliar (IAF) (RODRIGUES, 1995). Ainda de acordo com Rodrigues (1995), a posição mais vertical da folha no colmo, traduz-se em maior eficiência fotossintética, normalmente em populações com alta densidade, devido à penetração mais eficiente da luz no dossel, o que pode ser confirmado pelos resultados apresentados na Tabela 2, onde os valores de massa fresca e massa seca do colmo comercial foram menores nas menores densidades de colmos.

CONCLUSÕES

1. A mudança na velocidade da emissão de folhas (filocrono maior) a partir da 15ª folha é causada por formação de microclima no dossel e pelo aumento do dreno de fotossimilados para crescimento dos colmos.
2. A área foliar do colmo principal é maior em densidades de plantio menores.
3. Os componentes do rendimento são afetados de forma negativa por densidades de plantio menores que as recomendadas para a cultura.

REFERÊNCIAS

ARANHA, C.; YAHN, C. A. Botânica da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.).

Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 3-18.

ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperature as a basis for computing heat units.

Proceedings of the American Society for Horticultural Science, Boston, v. 76, n. 1, p. 682-692, 1960.

BONNETT, G. D. Rate of leaf appearance in sugarcane, including a comparison of a range of varieties. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, n. 7, p. 829-834, 1998.

BRUNINI, O. **Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar.** In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. DE. *Cana-de-açúcar*. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 205-218.

CÂMARA, G. M. S. **Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar.** In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. *Produção da cana-de-açúcar*. Piracicaba: FEALQ, 1993, p. 31-64.

CAMPBELL, J. A.; ROBERTSON, M. J.; GROF, C. P. L. Temperature effects on node appearance in sugarcane. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, n. 7, p. 815-818, 1998.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar.** Botucatu: FEPAP - Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2010. 111 p.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, J. D. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding.** Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.

HANAUER, J. G. **Crescimento, Desenvolvimento e Produtividade de cana-de-açúcar em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em Santa Maria, RS.** 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

INMAN-BAMBER, N. G. A. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 41-51, 1994.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

MACHADO, E. C. Fisiologia da produção da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 56-87.

MARIN, F. R. et al. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 109-130.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Cana-de-açúcar**. Disponível em:

http://www.udop.com.br/download/estatistica/area_cultivada/evolucao%20podutividade%20cana.pdf. Acesso em: 17 mar. 2014a.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>.

Acesso em: 05 jan. 2014b.

PARANHOS, S.B. **Espaçamentos e densidades de plantio em cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1972. 109p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Berlin, v. 185, n. 4, p. 249-258, 2000.

ROBERTSON, M. J. et al. Temperature and leaf area expansion of sugarcane: integration of controlled-environment, field and model studies. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, n. 7, p. 819-828, 1998.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociência, 1995. 101 p. Apostila.

SCATENA, V. L.; SCREMIN-DIAS, E. **Parênquima, Colênquima e Esclerênquima**. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Anatomia Vegetal. Viçosa: UFV, 2006, p. 109 – 119.

SHIH, S.F.; GASCHO, G.J. Relationships among stem length, leaf area, and dry biomass of sugarcane. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 2, p. 309-313, 1980.

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

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002. 126 p.

STRECK, N. A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 105-111, 2002.

STRECK, N. A. et al. Comparing two versions of a non-linear model for simulating leaf number and developmental stages in maize based on air temperature. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 642-648, 2009.

STRECK, N. A. et al. Estimating leaf appearance rate and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1448-1450, 2005.

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

STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; LAGO, I. Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p. 490-501, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 4. ed. 2009, 848p.

TOWNSEND, C. R. **Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar forrageira em Rondônia**. Embrapa. Rondônia, n. 21, 2000, p. 1-5.

XUE, Q. et al. Predicting leaf appearance in field grown winter wheat: evaluating linear and non – linear models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 175, n. 3, p. 261-270, 2004.

Tabela 1 – Valores médios mensais de temperatura mínima, média e máxima do ar, radiação solar global e precipitação mensal acumulada e acumulado total durante o período de emissão de folhas do clone de cana-de-açúcar SP 711406 (ciclo médio) na estação de crescimento 2012/2013 em Santa Maria, RS.

Estação de crescimento	Mês	Temperatura			Radiação Solar Global	Precipitação Acumulada
		Mín.	Méd.	Máx.		
		(°C)			MJ m ⁻² dia ⁻¹	(mm)
2012/2013	Outubro	16,9	21,3	25,7	14,5	253,8
	Novembro	17,7	24,0	30,4	20,4	72,8
	Dezembro	19,9	25,5	31,1	18,8	293,0
	Janeiro	18,2	24,2	30,3	21,0	145,3
	Fevereiro	19,3	24,5	29,7	18,1	97,7
	Março	16,4	21,5	26,6	14,4	188,6
	Abril	14,5	20,5	26,5	13,3	147,4
	Maio	11,3	16,5	21,7	9,0	71,6
	Média	16,8	22,3	27,8	16,2	1270,2
	Normal	16,3	20,9	27,2	-	1066,2

Tabela 2 – Comprimento de colmo comercial (cm), massa fresca do colmo comercial (g/colmo), massa seca do colmo comercial (g/colmo), número de nós, número de entrenós, comprimento do entrenó (cm), massa fresca do entrenó (g) e massa seca do entrenó (g) no clone SP711406 em quatro tratamentos (T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m⁻²). T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m⁻²) T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial), e T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial) na estação de crescimento 2012/2013. Santa Maria, RS.

Variável analisada	Tratamentos				CV (%)
	T1	T2	T3	T4	
Comprimento total do colmo	112,0b*	139,6ab	167,4a	162,1a	9,14
Massa Fresca do colmo comercial	1016,8b	1460,2a	1479,4a	1031,2b	9,86
Massa Seca do colmo comercial	295,4c	441,0ab	460,2a	317,3bc	16,44
Número de nós	22,5a	21,6a	17,1b	14,6c	4,98
Número de entrenós	21,8a	20,6a	16,7b	13,9c	5,24
Comprimento do entrenó	5,2d	6,8c	10,2b	11,7a	6,72
Massa Fresca do entrenó	46,5c	71,2b	90,5a	74,2b	8,07
Massa Seca do entrenó	13,4c	21,4b	28,1a	22,5ab	14,08

*Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

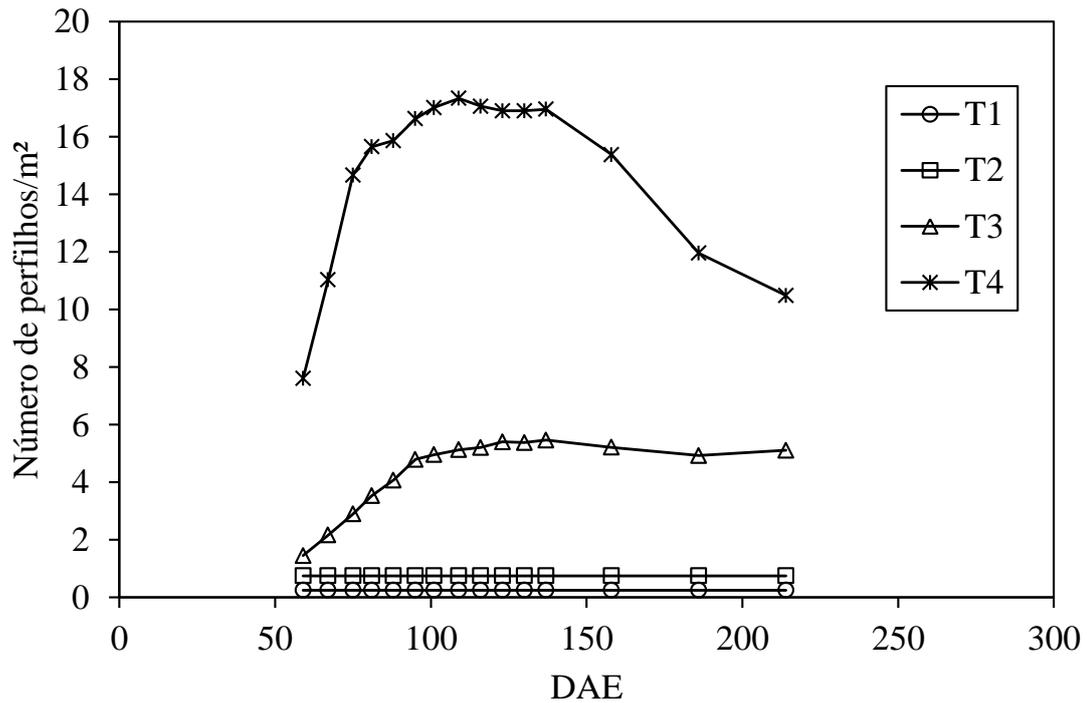


Figura 1 – Evolução do número de perfilhos/m² durante a estação de crescimento 2012/2013. T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m⁻²). T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m⁻²) T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial), e T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial) na estação de crescimento 2012/2013. Santa Maria, RS.

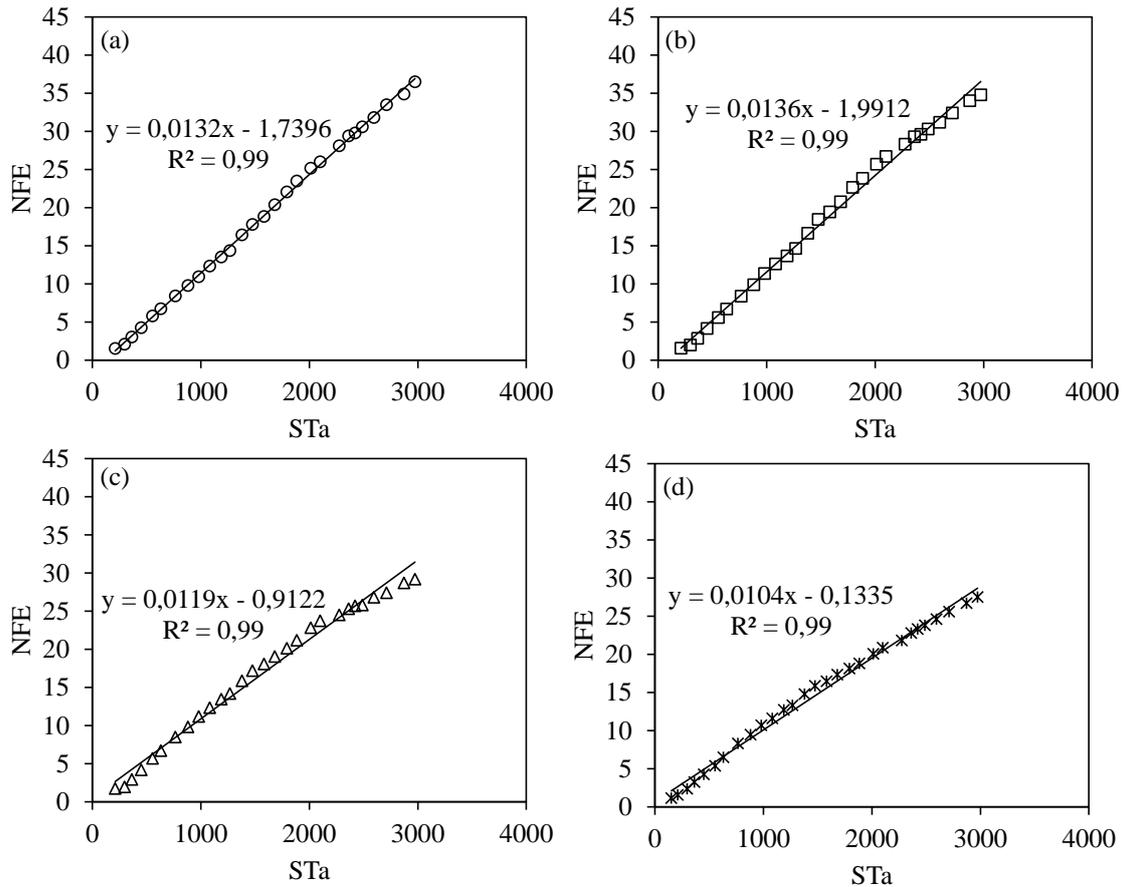


Figura 2 – Relação entre a soma térmica acumulada e o número de folhas expandidas de um clone de cana-de-açúcar de ciclo Médio SP 711406 em diferentes densidades de colmos (a) = T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m^{-2}); (b) = T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m^{-2}); (c) = T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial); e (d) = T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial) durante a estação de crescimento 2012/2013 em cultivo de cana-planta. Santa Maria, RS.

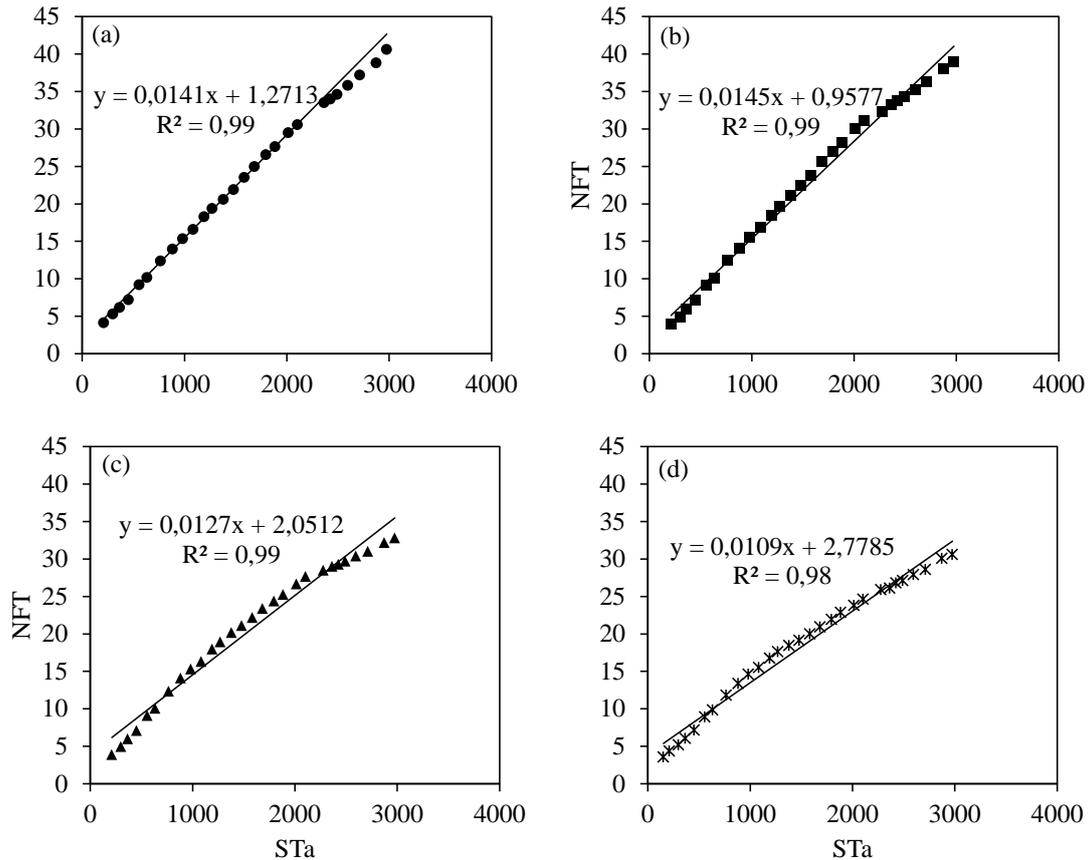


Figura 3 – Relação entre a soma térmica acumulada e o número de folhas totais de um clone de cana-de-açúcar de ciclo Médio SP 711406 em diferentes densidades de colmos (a) = T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m^{-2}); (b) = T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m^{-2}); (c) = T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial); e (d) = T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial) durante a estação de crescimento 2012/2013 em cultivo de cana-planta. Santa Maria, RS.

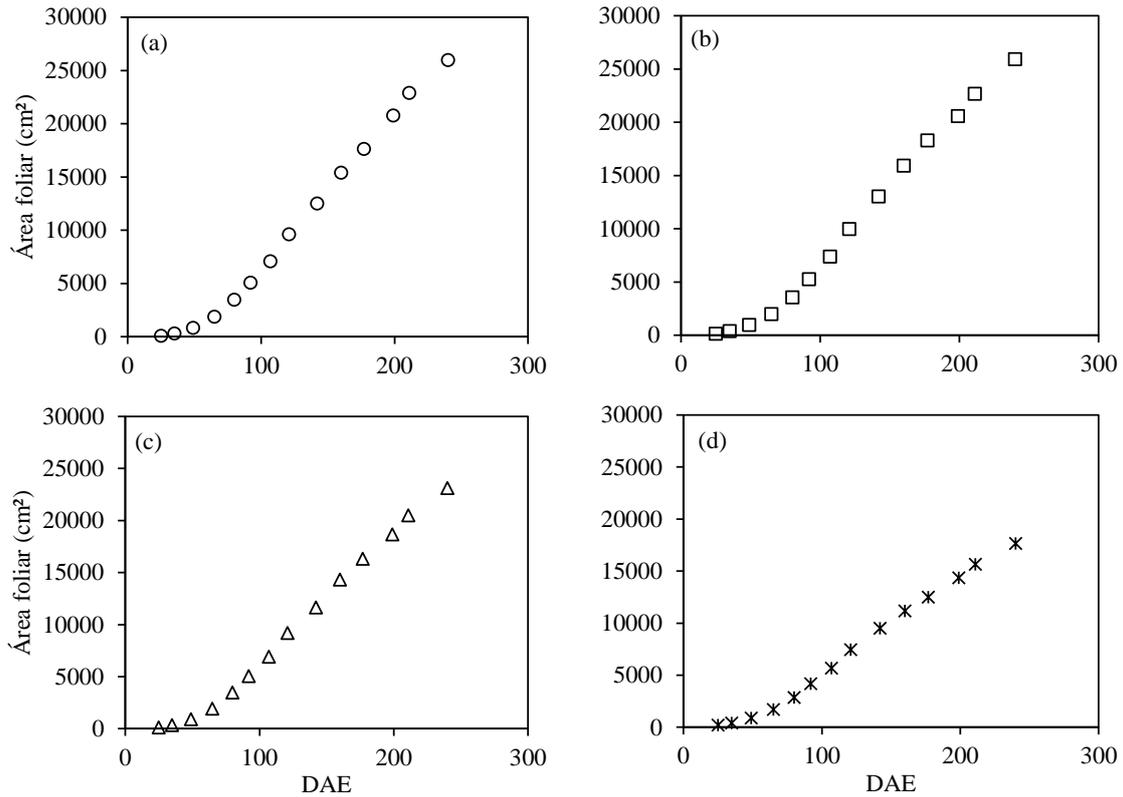


Figura 4 – Evolução da área foliar acumulada durante a estação de crescimento 2012/2013 para o clone SP 711406. (a) = T1= espaçamento entre covas de 2m x 2m e um colmo por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,25 colmos m^{-2}); (b) = T2= espaçamento entre covas de 2m x 2m e três colmos por planta (densidade de colmos fixa ao longo da estação de crescimento de 0,75 colmos m^{-2}); (c) = T3= espaçamento entre covas de 2m x 2m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial); e (d) = T4= espaçamento entre covas de 1,0m x 0,8m (densidade de colmos foi aumentando ao longo da estação de crescimento como em uma lavoura comercial). Santa Maria, RS.

5 CONCLUSÕES

1. As reservas no tolete de cana-de-açúcar tem a contribuição máxima para a emissão das duas primeiras folhas expandidas e das cinco primeiras folhas totais e a taxa de emissão de folhas subsequentes decresce devido ao esgotamento das reservas do tolete.
2. A mudança na velocidade da emissão de folhas (filocrono maior) a partir da 15ª folha é causada por formação de microclima no dossel e pelo aumento do dreno de fotossimilados para crescimento dos colmos.
3. A área foliar do colmo principal é maior em densidades de plantio menores.
4. Os componentes do rendimento são afetados de forma negativa por densidades de plantio menores que as recomendadas para a cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANHA, C.; YAHN, C. A. Botânica da cana-de-açúcar, In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 3 -18.

BONNETT, G. D. Rate of leaf appearance in sugarcane, including a comparison of a range of varieties. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, n. 7, p. 829-834, 1998.

BREDEMEIER, C. et al. Efeito do tamanho das sementes de trigo no desenvolvimento inicial das plantas e no rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 8, p. 1061-1068, 2001.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. DE. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 205-218.

CAMPBELL, J. A.; ROBERTSON, M. J.; GROF, C. P. L. Temperature effects on node appearance in sugarcane. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, n. 7, p. 815-818, 1998.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: Disponível: <http://www.conab.gov.br/conabweb>. Acesso em: 09 jan. 2011.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, J. D. (Ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A. H.; **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979, 193p.

ERPEN, L. et al. Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1230-1238, 2013.

FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. **La canne à sucre**. Paris: Ed. Maisonnueve et Larose, 1970, 468 p.

GRIEVE, C. M.; FRANCOIS, L. E. The importance of initial seed size in wheat response to salinity. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 147, n. 2, p. 197-205, 1992.

HANAUER, J. G. Crescimento, **Desenvolvimento e Produtividade de cana-de-açúcar em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em Santa Maria, RS**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

HODGES, T. **Predicting crop phenology**. Boca Raton: CRC, 1991. 233 p.

INMAN-BAMBER, N. G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crop Research**, Amsterdam, n. 1, v. 36, 41-51, 1994.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 995-1001, 2008.

LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). In: CASTRO, P. C.; KLUGE, R. A. (Coord.). **Ecofisiologia de culturas extrativas: cana-de-açúcar; seringueira; coqueiro; dendezeiro e oliveira**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.

MACHADO, E. C. Fisiologia da produção da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 56-87.

MAGRO, F. J. et al. **Biometria em cana-de-açúcar**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” / USP. Piracicaba, SP. Jun. 2011. 18 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**. Porto Alegre: FEPAGRO, BOLETIM FEPAGRO, n. 18, 2008, 78 p.

MARIN, F. R. et al. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 109-130.

McMASTER, G. S.; WILHELLM, W. W. Growing degree-days: one equation, two interpretations. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 87, n. 4, p. 291-300, 1997.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO –MAPA. **Anexo**. Disponível em:
http://www.udop.com.br/download/legislacao/meio/zoneamento/anexo_zoneamento_rs.pdf.
Acesso em: 02 nov. 2008.

_____. **Cana-de-açúcar**. Disponível em:
<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>. Acesso em: 05 jan. 2014a.

_____. **Cana-de-açúcar**. Disponível em:
http://www.udop.com.br/download/estatistica/area_cultivada/evolucao%20podutividade%20c ana.pdf. Acesso em: 17 mar. 2014b.

PAULA, F. L. M. et al. Filocrono da planta de batata cultivar Asterix em diferentes épocas de plantio. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 367-374, 2005.

PETERSON, C. M.; KLEPPER, B.; RICKMAN, R. W. Seed reserves and seedling development in winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 2, p. 245 -251, 1989.

ROBERTSON, M. J. et al. Temperature and leaf area expansion of sugarcane: integration of controlled-environment, field and model studies. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, n. 7, p. 819-828, 1998.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Instituto de Biociência, 1995. 101 p. Apostila.

ROSA, H. T. **Emissão e crescimento de folhas e seus efeitos na produção de duas cultivares de morangueiro**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

SAMBORANHA, F. K. et al., Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 815-824, 2013.

SCHONS, A. et al. Emissão de folhas e início da acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1586-1592, 2007.

SCHUCH, L. O. B.; NEDEL, J. L.; ASSIS, F. N. Crescimento em laboratório de plântulas de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 229-234, 1999.

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

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana de açúcar: avaliação do modelo Mosicas**. 2006. 60 p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

SZMRECSÁNYI, T.; MOREIRA, E. P. O desenvolvimento da agroindústria canavieira no Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 5, n. 11, p. 57-79, 1991.

STRECK, N. A. A generalized nonlinear air temperature response function for node appearance rate in muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.105-111, 2002a.

_____. A generalized vernalization response function for lily (*Lilium* spp.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 221-228, 2002b.

STRECK, N. A. et al. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 115, n. 3-4, p. 139-150, 2003a.

_____ et al. Estimating leaf appearance rate and phyllochron in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1448-1450, 2005.

_____ et al. Improving predictions of leaf appearance in field grown potato. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 12-18, 2007.

_____; BOSCO, L. C.; LAGO, I. . Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n. 3, p. 490-501, 2008a.

_____ et al. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a non-linear model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 449-455, 2008b.

_____ et al. Incorporating a chronology response into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. **Annals of Botany**, Oxford, v. 92, n. 2, p. 181-190, 2003b.

_____ et al. Filocrono em batateira afetado pelo tamanho do tubérculo-semente e pela época de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 137-143, 2009a.

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

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Produção de cana-de-açúcar do Brasil**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/FAQ>. Acesso em: 11 abr. 2010.

_____. **Conquistas do setor sucroenergético na matriz energética brasileira**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/faq/>. Acesso em: 05 jan. 2014.

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N.M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural systems**, Essex, v. 58, n. 1, p. 1-24, 1998.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Silver Spring, v. 2, n. 1, p. 184-194, 1981.

WILHELM, W. W.; McMASTER, G. S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 1-3, 1995.

XUE, Q. et al. Predicting leaf appearance in field grown winter wheat: evaluating linear and non – linear models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 175, n. 3, p. 261-270, 2004.