

DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO FOLIAR E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CULTIVO DE CANA-PLANTA E DE CANA-SOCA

LEAF DEVELOPMENT AND GROWTH, AND YIELD OF SUGARCANE CLONES FROM PLANT CROP AND RATOOM CROP

Joana Graciela HANAUER¹; Nereu Augusto STRECK²; Josana Andréia LANGNER³; Bruno KRÄULICH⁴; Lilian Osmari UHLMANN⁵

1. Engenheira Agrônoma, Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. joana2hanauer@yahoo.com.br; 2. Engenheiro Agrônomo, Professor Associado do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil; 3. Engenheira Agrônoma, Mestranda em Engenharia Agrícola – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil. 4. Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Agronomia – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil (*in memoriam*). 5. Engenheira Agrônoma, Mestranda em Agronomia – UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

RESUMO: Os objetivos deste trabalho foram determinar o filocrono, as relações alométricas entre crescimento e desenvolvimento foliar e a produtividade de três clones de cana-de-açúcar em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em ambiente subtropical. Um experimento de campo foi conduzido durante dois anos (2008 a 2010), em Santa Maria, RS. Os clones de cana-de-açúcar utilizados foram: IAC 822045 (ciclo precoce), SP 711406 (ciclo médio) e CB 4176 (ciclo tardio). O delineamento experimental foi Blocos ao Acaso com quatro repetições. Calculou-se o filocrono ($^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$) com número de folhas (NF) menor que 15 ($\text{FILO}_{\leq 15}$), maior que 15 folhas ($\text{FILO}_{>15}$) e com todas as folhas ($\text{FILO}_{\text{total}}$). Ajustaram-se modelos não lineares do tipo potência para a área foliar acumulada (AF) versus o NF no colmo. O filocrono variou durante o ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar aumentando na sequência $\text{FILO}_{\leq 15} > \text{FILO}_{\text{total}} > \text{FILO}_{>15}$. O filocrono da cana-planta é menor que o filocrono da cana-soca de um ano para as primeiras 15 folhas. O modelo potência é apropriado para caracterizar a relação alométrica entre a evolução da área foliar verde acumulada a partir do número de folhas acumulado no colmo principal. O clone de ciclo médio tem maior produtividade em cultivo de cana-soca.

PALAVRAS-CHAVE: Filocrono. Relações alométricas. *Saccharum officinarum*.

INTRODUÇÃO

A preocupação com a degradação ambiental e com o Aquecimento Global tem levado a uma crescente demanda por fontes alternativas de biocombustíveis para substituir os combustíveis fósseis. Dentre as fontes alternativas destaca-se a cana-de-açúcar como principal matéria-prima para produção de etanol. A produção mundial de cana-de-açúcar totaliza quase 1,5 bilhão de toneladas e está localizada predominantemente na faixa tropical do Planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, África e Sudeste Asiático, sendo os principais produtores mundiais de cana-de-açúcar em ordem crescente Brasil, Índia, Tailândia e Austrália (UNICA, 2010). No Brasil na safra 2009/10, a produtividade média de cana-de-açúcar foi de $81.585 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo o Estado de São Paulo o de maior produtividade ($87.815 \text{ kg ha}^{-1}$). No Rio Grande do Sul, a produtividade nesta safra foi $46.826 \text{ kg ha}^{-1}$ (CONAB, 2011).

Denomina-se cana-planta a cana que foi plantada e sofre o primeiro corte. Após o primeiro corte (primeira colheita) e a partir de então, o sistema passa a ser denominado de sistema de cultivo “cana-soca” (OLIVEIRA; FREITAS, 2008).

O crescimento e o desenvolvimento vegetal são processos relacionados e que podem ocorrer simultaneamente ou não. Desenvolvimento vegetal é o processo no qual células e órgãos passam por vários estágios identificáveis durante o seu ciclo de vida e envolvem eventos desde a diferenciação celular, organogênese e morfogênese de órgãos até a senescência da cultura. O crescimento vegetal é o aumento irreversível em alguma dimensão física da planta com o tempo (WILHELM; McMASTER, 1995).

O número de folhas acumulado em uma haste ou planta (NF) é um parâmetro do desenvolvimento vegetal que está associado com a expansão da área foliar, a qual está relacionada com a interceptação da radiação solar, fotossíntese, acúmulo de biomassa e evapotranspiração da cultura (DELLAI et al., 2005; STRECK et al., 2005). A taxa de aparecimento de folhas em cana-de-açúcar é fortemente dependente da temperatura do ar (INMAM-BAMBER, 1994). Uma das maneiras frequentemente usadas para calcular o NF 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 $^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$.

A alometria é o estudo sobre o tamanho relativo das várias partes de um organismo, ou a variação de um órgão em função da variação de outro órgão. Em produção vegetal, um exemplo de relações alométricas é a relação entre crescimento das folhas e a emissão de folhas, representadas, respectivamente, pela área foliar e o NF na haste (MALDANER et al., 2009; PIVETTA et al., 2007; SINCLAIR et al., 2004).

O potencial de produtividade dos canaviais nas regiões aptas ao cultivo no RS, como a Depressão Central, pode chegar a 82,5 ton ha⁻¹ (AUDE et al., 1992). Estudos básicos de crescimento e desenvolvimento em cana, ainda escassos no RS, podem auxiliar na definição de práticas de manejo nesta região subtropical do Brasil, bem como são fonte de dados para a calibração e teste de modelos matemáticos (BEZUIDENHOUT et al., 2003) de simulação da produtividade de cana.

Os objetivos deste trabalho foram determinar o filocrono, as relações alométricas entre crescimento e desenvolvimento foliar e a produtividade de três clones de cana-de-açúcar em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano em ambiente subtropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Um experimento de campo foi conduzido em Santa Maria, na região Central do RS, Brasil (latitude: 29°43'S e longitude: 53°43'W, altitude: 95 m) nas estações de crescimento 2008/2009 e 2009/2010. O solo do local 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 (KUNCHTNER; BURIOL, 2001) e apto para o cultivo de cana segundo o zoneamento agroclimatológico da cultura (MALUF et al., 2008).

Os clones de cana-de-açúcar utilizados foram IAC 822045 (ciclo precoce do Instituto Agrônomo de Campinas), SP 711406 (ciclo médio da empresa Copersucar) e CB 4176 (ciclo tardio desenvolvido em Campos de Goiatazes/ RJ) em cultivo de cana-planta e cana-soca de um ano. O plantio da cana-planta na estação de crescimento de 2008/2009 foi em 18/09/2008 e a brotação da cana-soca de um ano ocorreu em 30/09/2008 para os três clones. A cana-soca desta estação de crescimento havia sido plantada em 05 de novembro de 2007 e

cortada em 16 de setembro de 2008. Na estação de crescimento de 2009/2010, o plantio dos toletes ocorreu em 27/08/2009 e a brotação da cana-soca de um ano (plantada em 18/09/2008 e cortada em 27/08/2009) ocorreu em 14/09/2009 para o clone de ciclo precoce, 15/09/2009 para o clone de ciclo médio e em 17/09/2009 para o clone de ciclo tardio.

O delineamento experimental foi Blocos ao Acaso, com quatro repetições. Cada parcela tinha 24 m² com cinco linhas de 4,8 m de comprimento na direção Leste-Oeste. Como propágulos foram utilizados toletes com três gemas plantados em covas a 20 cm de profundidade no espaçamento de 1,0 m entre fileiras e 0,8 m entre covas, totalizando seis toletes por fileira e 30 toletes por parcela. A adubação de base nos dois anos seguiu a recomendação para a cultura da cana-de-açúcar descrita pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFS – RS/SC (2004) em análises de solo coletadas em julho de 2007, e constou da aplicação do fertilizante em sulcos próximos aos toletes, a 20 cm de profundidade. O solo da área experimental apresentava valores de pH em água de 5,7; 3,5 cmol_c dm⁻³ de H+Al; 0,0 cmol_c dm⁻³ de Al; 4,1 cmol_c dm⁻³ de Ca; 1,7 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,33 cmol_c dm⁻³ de K; 6,8 mg dm⁻³ de P-Mehlich; 2,6% de MO e 23% de argila.

A aplicação de nitrogênio em cobertura foi feita aos 90 dias após o plantio, em quantidades que variaram de 91,45 a 94,07 kg ha⁻¹ de N. As plantas daninhas foram controladas manualmente, sempre que necessário durante o experimento. Demais pragas não foram controladas, pois as populações não atingiram o nível econômico. A data de emergência da cana-planta e da cana-soca de um ano foi considerada quando 50% do número total de plantas de cada parcela haviam emergido e/ou brotado. Duas semanas após a emergência para cana-planta e da brotação para cana-soca, foram marcadas quatro plantas por parcela em duas linhas centrais com arame colorido.

Nas plantas marcadas foram medidas as variáveis número de folhas expandidas (NFE) e número de folhas totais (NFT) no colmo principal, área foliar de folhas expandidas e fitomassa fresca de colmos comerciais. As medidas foram feitas uma vez por semana durante a estação de crescimento. Uma folha foi considerada expandida quando estava com a lígula visível e o NFT foi considerando o NFE mais o número de folhas não expandidas visíveis no cartucho. O comprimento da folha (C, da lígula até a ponta da folha) e a maior largura da folha (L) de cada folha expandida foram medidos após o aparecimento da lígula e a área foliar (AF, cm²) destas folhas expandidas foi calculada como:

$AF = f(C \times L)$, em que f é um fator de correção para a forma lanceolada da folha de cana, que se considerou 0,72 (SINCLAIR et al., 2004).

Na colheita realizada em 24/08/2009 e em 03/08/2010 foram amostrados oito colmos por parcela. A fitomassa fresca destes colmos foi pesada e a produtividade (kg ha^{-1}) foi calculada multiplicando-se a média de massa verde dos clones (g colmo^{-1}) pela média de colmos cova⁻¹ na área útil da parcela (três linhas centrais).

Os dados diários de temperatura mínima e máxima do ar foram coletados em uma estação meteorológica convencional, pertencente ao 8° 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): $STd = (T_{med} - T_b)$. 1 dia, sendo T_{med} a temperatura média do ar, calculada pela média aritmética entre as temperaturas mínima e máxima diárias do ar, e T_b a temperatura base para emissão de folhas na cana-de-açúcar considerada 10°C (SINCLAIR et al., 2004). A soma térmica acumulada (STa, °C dia), a partir da data da emergência, foi calculada acumulando-se os valores de STd, ou seja, $STa = \sum STd$.

O filocrono ($^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$) foi estimado em cada planta marcada pelo inverso do coeficiente angular da regressão linear entre NF e Sta (STRECK et al., 2005; STRECK et al., 2009a; XUE et al., 2004). O filocrono foi calculado com base no número de folhas expandidas ($FILO_{NFE}$) e o número de folhas totais ($FILO_{NFT}$), denominados como tipos de filocrono. Além de calcular um filocrono único para toda a estação de crescimento ($FILO_{total}$), também foi calculado o filocrono para as primeiras 15 folhas ($FILO_{\leq 15}$) e para as folhas restantes ($FILO_{> 15}$) (SINCLAIR et al., 2004), denominados como fases de filocrono.

As relações alométricas entre a área foliar acumulada de folhas expandidas (AFE) e NFE foram realizadas pelo ajuste dos dados a uma função potência: $y = ax^b$, em que y é a AFE ($\text{cm}^2 \text{colmo}^{-1}$), x é o NFE (folhas colmo^{-1}) e “a” e “b” são coeficientes empíricos, conforme Maldaner et al. (2009) e Pivetta et al. (2007). No dia 08 de janeiro de 2009 ocorreu um temporal com queda de granizo e rajadas de vento de até $31,4 \text{ ms}^{-1}$, o que ocasionou danos às folhas nas posições 10 a 15. A emissão de folhas após esse evento não foi afetada, porém a área foliar o foi. Por isso, as relações alométricas foram feitas apenas com o NFE menor que dez para os clones de ciclo precoce e tardio e NFE menor que 12 para o clone de ciclo médio na estação de crescimento 2008/2009.

Na análise da variável filocrono, foi considerado um experimento pentafatorial com dois níveis do fator A (estações de crescimento), três níveis do fator B (clones), dois níveis do fator C (sistemas de cultivo), três níveis do fator D (fases de filocrono) e dois níveis do fator E (tipos de filocrono). Para a variável produtividade foi considerada um experimento trifatorial com dois níveis do fator A (estações de crescimento), três níveis do fator B (clones) e dois níveis do fator C (sistemas de cultivo).

Os dados de filocrono e de produtividade de colmos foram submetidos aos testes de pressuposições do modelo matemático incluindo a homogeneidade das variâncias, normalidade dos erros e independência com teste de homogeneidade de Bartlett, teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e o teste de independência Durbin-Watson, respectivamente, e as pressuposições foram atendidas. Aplicou-se a análise da variância e as médias de filocrono e produtividade de colmos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada com auxílio do pacote estatístico SAS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As duas estações de crescimento (2008/2009 e 2009/2010) foram diferentes em termos de condições meteorológicas. As temperaturas mínimas variaram de 3,6 a 24 °C na estação de crescimento 2008/2009 e 5,3 a 29,6 °C na estação de crescimento 2009/2010. As temperaturas máximas variaram de 15,0 até 38,8 °C em 2008/2009 e de 14,0 a 39,2 °C em 2009/2010. A precipitação e a radiação solar foram os elementos meteorológicos mais distintos entre as duas estações de crescimento. Um período seco ocorreu na estação de crescimento de 2008/2009 com apenas 15 mm de precipitação no período entre 08/11 e 23/12/2008, e na estação de crescimento de 2009/2010 um período de seca ocorreu no mês de março de 2010 com precipitação de apenas 25,1 mm. O ano de 2009/2010 foi de El Niño, com chuva acima da normal em Setembro, Outubro e Novembro de 2009 e Janeiro de 2010, com menor disponibilidade de radiação solar devido ao elevado número de dias com chuva, comparado com o ano 2008/2009, considerado ano normal em relação ao ENOS, mas com chuva abaixo da normal em Setembro, Novembro e Dezembro de 2008. Estes anos distintos são importantes para comparar o crescimento e o desenvolvimento dos três clones, pois a diferença entre estes anos é representativa da variabilidade interanual da chuva neste local.

Ao plotar-se o NFE e o NFT com a STa ($T_b = 10\text{ }^\circ\text{C}$) observou-se uma tendência geral linear, mas uma análise mais detalhada indicou que se pode considerar uma quebra na tendência em aproximadamente 15 folhas ou $1500\text{ }^\circ\text{C dia}$, e assim ajustaram-se os dados a uma resposta bilinear, também relatado em estudos anteriores para cana-de-açúcar (INMAM-BAMBER, 1994; SINCLAIR et al., 2004) e morango (ROSA et al., 2011). Esta relação bilinear significa mudança na taxa de aparecimento de folhas durante a estação de crescimento, o que é contemplado no fator fase do filocrono.

Dentre os cinco fatores principais, quatro tiveram efeito significativo sobre o filocrono (estação de crescimento, fase de filocrono, tipo de filocrono, sistema de cultivo), e somente o fator

clone não teve efeito significativo a probabilidade de 5% sendo que os três clones tiveram médias de filocrono de $111,8\text{ }^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ (IAC 8220045), $111,8\text{ }^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ (SP 711406) e $111,0\text{ }^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ (CB 4176), não diferindo entre si. Entre estes fatores principais, o que teve o quadrado médio mais elevado foi fase de filocrono (29.669,10) e o menor foi o do efeito clone (13,39), indicando que o filocrono é mais afetado pela ontogenia da cultura e menos afetado pela constituição genética dos clones. As interações triplas significativas foram estação de crescimento x sistema de cultivo x fase de filocrono (Tabela 1), estação de crescimento x sistema de cultivo x fase do filocrono (Tabela 2) e sistema de cultivo x tipo de filocrono x fase de filocrono (Tabela 3).

Tabela 1. Filocrono em cana-de-açúcar considerando três fases [filocrono total ($FILO_{total}$), filocrono até 15 folhas ($FILO_{LN<15}$) e filocrono acima de 15 folhas ($FILO_{LN>15}$)] e dois tipos de filocrono com base no número de folhas expandidas (NFE) e no número de folhas totais (NFT) em duas estações de crescimento (2008/2009 e 2009/2010). Santa Maria, RS, 2008-2010.

Estação de crescimento	NFE			NFT		
	$FILO_{total}$	$FILO_{NF\leq 15}$	$FILO_{NF>15}$	$FILO_{total}$	$FILO_{NF\leq 15}$	$FILO_{NF>15}$
	-----($^\circ\text{C dia folha}^{-1}$)-----					
2008/2009	108,3AbA	98,3AcA	124,1AaB	107,5AbA	83,7BcB	125,5AaA
2009/2010	112,0AbA	98,3AcA	137,0AaA	108,6AbA	91,5BcA	128,0BaA

Letras maiúsculas comparam na linha tipo de filocrono dentro de cada fase em cada estação de crescimento. Letras minúsculas comparam na linha as fases do filocrono dentro das estações de crescimento em cada tipo de filocrono. Letras maiúsculas em itálico comparam na coluna as estações de crescimento dentro de cada fase em cada tipo de filocrono. Médias seguidas pela mesma letra não diferem de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV= 11,45%

Tabela 2. Filocrono em cana-de-açúcar considerando três fases [filocrono total ($FILO_{total}$), filocrono até 15 folhas ($FILO_{LN<15}$) e filocrono acima de 15 folhas ($FILO_{LN>15}$)] e dois sistemas de cultivo (cana-planta e cana-soca de um ano em duas estações de crescimento (2008/2009 e 2009/2010). Santa Maria, RS, 2008-2010.

Estação de crescimento	Cultivo	Fase do Filocrono		
		$FILO_{total}$	$FILO_{LN\leq 15}$	$FILO_{LN>15}$
		----- $^\circ\text{C dia folha}^{-1}$ -----		
2008/2009	Cana-planta	109,3AbA	86,4BcA	131,1AaA
	Cana-soca	106,5AbB	95,6AcB	118,5BaB
2009/2010	Cana-planta	103,9BbB	87,0BcA	124,5BaB
	Cana-soca	117,3AbA	103,5AcA	141,2AaA

Letras maiúsculas comparam na coluna sistema de cultivo dentro de cada estação de crescimento em cada fase de filocrono. Letras minúsculas comparam na linha as fases do filocrono dentro de cada estação de crescimento em cada sistema de cultivo. Letras maiúsculas em itálico comparam na coluna as estações de crescimento dentro de cada fase de filocrono em cada sistema de cultivo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV= 9,33%

Tabela 3. Filocrono em cana-de-açúcar considerando três fases [filocrono total ($FILO_{total}$), filocrono até 15 folhas ($FILO_{LN<15}$) e filocrono acima de 15 folhas ($FILO_{LN>15}$)] e dois sistemas de cultivo (cana-planta e cana-soca de um ano em dois tipos de filocrono (com base em número de folhas expandidas - NFE e com base em número de folhas totais - NFT). Santa Maria, RS, 2008-2010.

Sistema de Cultivo	NFE			NFT		
	$FILO_{total}$	$FILO_{NF\leq 15}$	$FILO_{NF>15}$	$FILO_{total}$	$FILO_{NF\leq 15}$	$FILO_{NF>15}$
	-----°C dia folha ⁻¹ -----					
Cana-planta	106,9AbB	91,7AcB	129,0AaA	106,4AbA	81,8BcB	126,6AaA
Cana-soca	113,5AbA	105,2AbA	131,9AaA	109,8AbA	93,5BcA	126,8AaA

Letras maiúsculas comparam na linha tipo de filocrono dentro de cada fase em cada sistema de cultivo. Letras minúsculas comparam na linha as fases do filocrono dentro dos sistemas de cultivo em cada tipo de filocrono. Letras maiúsculas em itálico comparam na coluna sistema de cultivo dentro de cada fase de filocrono em cada tipo de filocrono. Médias seguidas pela mesma letra não diferem de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV 17,71%

Entre as fases do filocrono, o filocrono aumentou na sequência $FILO_{\leq 15} > FILO_{total} > FILO_{> 15}$ nas duas estações de crescimento tanto para filocrono com base no número de folhas expandidas (NFE), quanto para número de folhas totais (NFT) (Tabela 1). Esta tendência (maior filocrono nas primeiras 15 folhas) aconteceu na cana-planta e na cana-soca em cada uma das estações de crescimento (Tabela 2) e na média das duas estações de crescimento (Tabela 3). Resultados semelhantes foram encontrados em estudos anteriores realizados em outros países (INMAM-BAMBER, 1994; SINCLAIR et al., 2004) confirmando que as folhas que aparecem mais cedo tem uma velocidade de surgimento maior (filocrono menor) do que as folhas que aparecem mais tarde. Para Sinclair et al. (2004), a redução na velocidade de surgimento de folhas pode ser devido a uma mudança no microclima dentro do dossel de cana-de-açúcar ao longo da estação de crescimento. Nossa hipótese para 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 o início da alongação do colmo nos três clones, nos dois anos e nos dois sistemas de cultivos aconteceu quando o NFT estava em média em 15 folhas, ou seja, é uma hipótese em bases fisiológicas e não devido ao microambiente.

O filocrono com base no NFE em geral foi maior que o com base em NFT para as primeiras 15 folhas (Tabelas 1 e 3). Isto indica que há um acúmulo de folhas não expandidas no cartucho durante primeira metade da estação de crescimento, semelhante ao que acontece também com a cultura do milho (STRECK et al., 2009b).

Comparando-se o filocrono da cana-planta com o da cana-soca, nota-se que o filocrono da cana-planta é menor que o filocrono da cana-soca de um ano para $FILO_{total}$ e $FILO_{\leq 15}$ baseado em NFE e para $FILO_{\leq 15}$ baseado em NFT (Tabela 3). Estes

resultados indicam uma maior velocidade de emissão de folhas na cana-planta, provavelmente devido à menor competição na cova da cana-planta, pois na soqueira há mais brotações, as quais competem por água, luz e nutrientes mais cedo na estação de crescimento. A implicação destes resultados é que esta maior emissão de folhas compensa o atraso no início do estabelecimento da cultura na cana-planta comparado com a cana-soca, que brota antes na primavera, uma característica importante em regiões subtropicais de cultivo de cana.

Os valores de $FILO_{total}$ para número de folhas expandidas encontradas neste trabalho variaram de 103,9 - 113,5 °C dia folha⁻¹. Valores de filocrono encontrados por Sinclair et al. (2004) em quatro clones de cana-de-açúcar em cultivo nos Estados Unidos variaram de 87 - 118 °C dia folha⁻¹ e Inmam-Bamber (1994) relata valores variando de 109 - 118 °C folha⁻¹ em dois clones de cana-de-açúcar em cultivo no Sul da África, o que indica que o filocrono em cana-de-açúcar se mantém semelhante em diferentes ambientes e para diferentes genótipos, o que é uma vantagem do ponto de vista da modelagem numérica.

As relações alométricas entre a área acumulada de folhas expandidas no colmo e o número acumulado de folhas expandidas (Figuras 1 e 2) tiveram elevado coeficiente de determinação (0,99) para a equação potência, concordando com trabalhos já realizados em cana-de-açúcar (SINCLAIR et al., 2004), tomateiro (PIVETTA et al., 2007), berinjela (MALDANER et al., 2009) e morango (ROSA et al., 2011).

Na primeira estação de crescimento as folhas foram de tamanho maior na cana-soca do que na cana-planta nos clones precoce, médio (Figura 1A e 1B), mas na segunda estação de crescimento as folhas destes clones foram maiores na cana-planta (Figura 1D, 1E). No clone tardio, as folhas foram de

mesmo tamanho na cana-planta e na cana-soca nas duas estações de crescimento (Figura 1C e 1F).

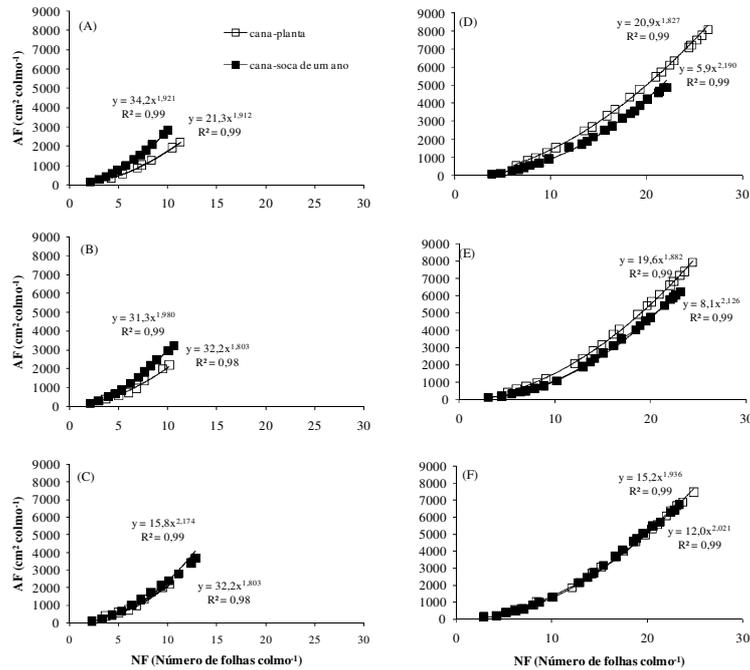


Figura 1. Relação entre a área acumulada de folhas expandidas (AFE) e número acumulado de folhas expandidas (NFE) no colmo em três clones de cana-de-açúcar (A) Precoce = IAC 822045, (B) Médio= SP 711406 e (C) Tardio= CB 4176 durante a estação de crescimento 2008/2009 e (D) Precoce = IAC 822045, (E) Médio= SP 711406 e (F) Tardio= CB 4176 durante a estação de crescimento 2009/2010 em cultivo de cana-planta e de cana-soca de um ano. Nível de significância 5%.

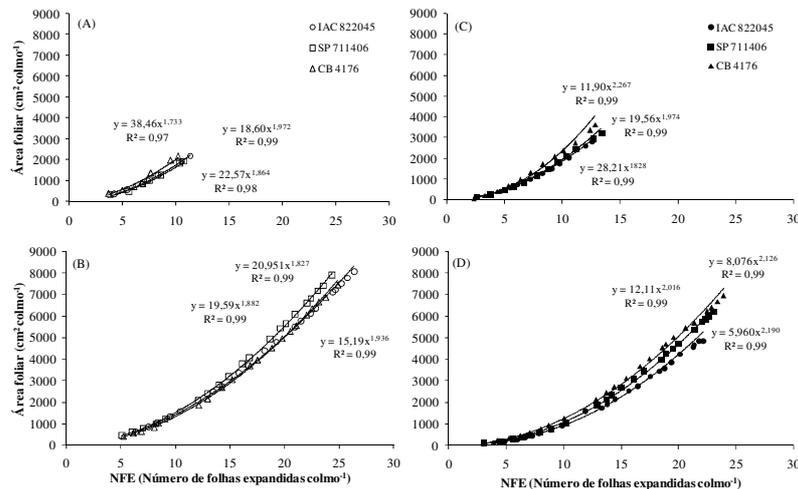


Figura 2. Relação entre a área acumulada de folhas expandidas (AFE) e número acumulado de folhas expandidas (NFE) no colmo em três clones de cana-de-açúcar (Precoce = IAC 822045, Médio= SP 711406 e Tardio= CB 4176) durante a estação de crescimento 2008/2009 (A, C) e durante a estação de crescimento 2009/2010 (B, D) em cultivo de cana-planta (painéis da esquerda) e de cana-soca de um ano (painéis da direita). Nível de significância 5%.

Entre os clones, na primeira estação de crescimento o de ciclo tardio teve folhas maiores na cana-planta e na cana-soca (Figura 2A e 2C) enquanto na segunda estação de crescimento o clone de ciclo médio teve folhas maiores na cana-planta (Figura 2B) e na cana-soca o clone tardio teve as maiores folhas (Figura 2D). Atribui-se estas

Com as equações das relações alométricas apresentadas nas Figuras 1 e 2 simulou-se a evolução da área de folhas expandidas acumuladas no colmo (AFE) para cada clone ao longo de cada estação de crescimento, conforme metodologia usada por Sinclair et al. (2004) e os resultados desta simulação estão na Figura 3. Observa-se que em cultivo de cana-planta, o crescimento da área foliar

diferenças de resposta entre estações de crescimento e sistema de cultivo às diferenças de ambiente nos dois anos, em termos de disponibilidade de radiação solar e água (820,7 mm de precipitação acumulada em 2008/2009 e 1.898,0 mm em 2009/2010) e são um exemplo da elevada interação genótipo x ambiente em cana cultivada em regiões subtropicais. de cada colmo foi maior no clone precoce seguido pelo clone médio e menor no clone tardio (Figura 3A e 3B). Já na cana-soca, a resposta foi inversa, ou seja, o crescimento da área foliar foi maior no clone tardio e menor no clone precoce (Figura 3C e 3D), indicando que o clone tardio é mais eficiente em manter o crescimento foliar no rebrote da cana.

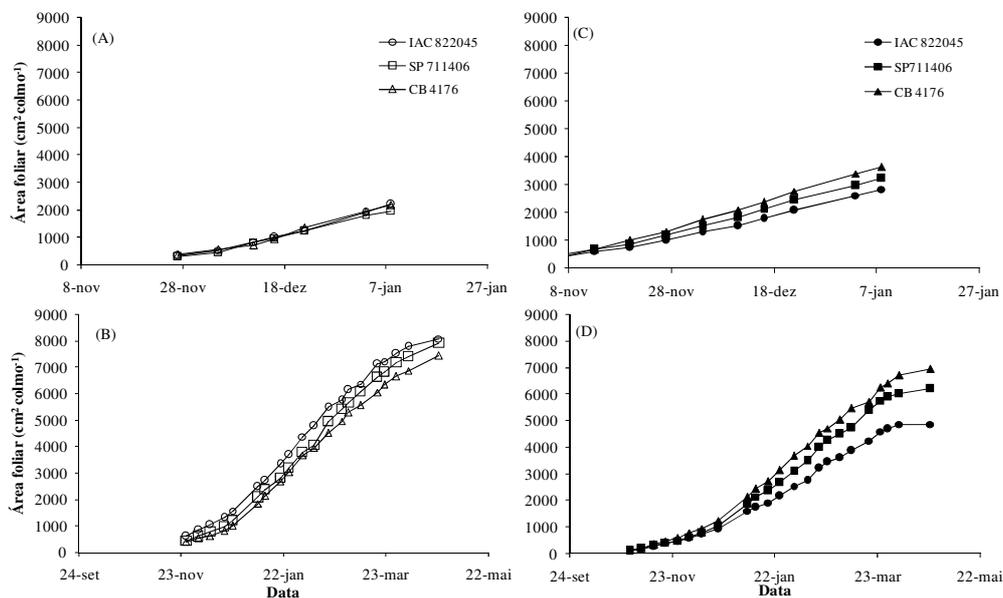


Figura 3. Relação entre a área de folhas expandidas acumuladas (AFE) de três clones de cana-de-açúcar (Precoce = IAC 822045, Médio= SP 711406 e Tardio= CB 4176) e a data durante a estação de crescimento 2008/2009 (A, C) e durante a estação de crescimento 2009/2010 (B, D) em cultivo de cana-planta (painéis da esquerda) e de cana-soca de um ano (painéis da direita).

A produtividade dos colmos (kg ha^{-1}) em fitomassa verde variou de 82.294 a 147.001 kg ha^{-1} e os fatores principais sistema de cultivo e clone e a interação sistema de cultivo x clone foram significativos (Tabela 4). As produtividades obtidas neste experimento são superiores a média do RS (46.826 kg ha^{-1}) e similares a média do Brasil, SP e BA (81.585, 87.815 e 78.800 kg ha^{-1} , respectivamente) (CONAB, 2011). Silva et al. (2008), em estudo com os genótipos IAC86-2480 e RB72454 no Estado de São Paulo, encontraram produtividades que variaram de 78,18 t ha^{-1} a 90,31 t ha^{-1} e Aude et al. (1992) relatam produtividades médias de 82,5 t ha^{-1} em Santa Maria, RS. Estes resultados indicam que há potencial de alta

produtividade de cana-de-açúcar no RS, e assim elevar a produtividade atual das lavouras canavieiras neste Estado.

No cultivo de cana-planta, não houve diferença entre clones e no cultivo de cana-soca, o clone de ciclo médio teve maior produtividade do que os clones precoce e tardio, que não diferiram entre si. Nos clones precoce e tardio não houve diferença entre cana-planta e cana-soca de um ano e no clone médio a produtividade foi maior na cana-soca. Estes resultados indicam que, com manejo apropriado da cana-soca, a produtividade no segundo ano pode ser tão alta quanto no primeiro ano em ambiente subtropical.

Tabela 4. Produtividade de colmos de três clones de cana-de-açúcar (ciclo precoce: IAC 822045, ciclo médio: SP 711406, ciclo tardio: CB 4176) em dois sistemas de cultivo (cana-planta e cana-soca de um ano). Santa Maria, RS, 2008-2010.

Sistema de cultivo	Clones – Massa fresca de colmo (kg ha ⁻¹)		
	IAC 822045	SP 711406	CB 4176
Cana-planta	82293,9Aa	99540,6Ba	88897,1Aa
Cana-soca	90763,7Ab	147000,8Aa	88697,1Ab

Letras maiúsculas na coluna comparam sistema de cultivo em cada clone. Letras minúsculas na linha comparam os clones em cada sistema de cultivo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem de acordo com o Teste de Tukey a 5%. CV= 21,95%

Para a variável número de colmos por cova não houve efeito significativo para os fatores sistema de cultivo e clones, sendo em média 8,0 colmos cova⁻¹. Para a variável massa fresca de colmo comercial (g colmo⁻¹), os fatores principais significativos foram clones e sistema de cultivo e o fator estação de crescimento e as interações duplas e triplas não foram significativas. Para o fator sistema de cultivo, a maior média foi para o cultivo de cana-soca de um ano (1.291,2 g colmo⁻¹) diferindo estatisticamente da média do cultivo de cana-planta (1.094,4 g colmo⁻¹). Para o fator clone a maior média foi para o clone de ciclo médio (1.274,4 g colmo⁻¹) e a menor para o de ciclo precoce (850,7 g colmo⁻¹), o qual não diferiu do clone de ciclo tardio (1.118,9 g colmo⁻¹). Estes resultados indicam que a maior produtividade do clone de ciclo médio em cultivo de cana-soca (Tabela 4) foi devido aos colmos serem mais grossos que os colmos dos demais clones,

sugerindo uma melhor adaptação do clone médio ao ambiente subtropical.

CONCLUSÕES

O filocrono varia durante o ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, com alteração em 15 folhas e aumentando na sequência $FIL_{O_{\leq 15}} > FIL_{O_{total}} > FIL_{O_{>15}}$. O filocrono da cana-planta é menor que o filocrono da cana-soca de um ano para as primeiras 15 folhas. O filocrono com base no NFE em geral é maior que o com base em NFT, especialmente para as primeiras 15 folhas.

O modelo potência é apropriado para caracterizar a relação alométrica entre a evolução da área foliar verde acumulada a partir do número de folhas acumulado no colmo principal.

O clone de ciclo médio (SP 711406) é o mais produtivo em cultivo de cana-soca para as condições de ambiente subtropical da região da Depressão Central do RS.

ABSTRACT: The objectives of this study were to determinate the phyllochron, allometric relationships between leaf growth and development, and crop yield of three sugarcane clones in plant and first year ratooning crop in subtropical environment. A two-year field experiment was conducted at the experimental area of Santa Maria, RS, during 2008-2010. Three sugarcane clones were used: IAC 822045 (early), SP 711406 (medium) and CB 4176 (late). Experimental design was a complete randomized block with four replications. Phyllochron (°C day leaf⁻¹) was calculated considering leaf number (LN) lower than 15 (PHYL_{early}), greater than 15 leaves (PHYL_{late}) and for the entire LN (PHYL_{entire}). A power-type nonlinear model was fit for cumulative leaf area (LA) versus LN. Phyllochron varied during the development cycle of sugarcane increasing in the sequence PHYL_{early}>PHYL_{entire}>PHYL_{late}. The phyllochron of plant crop is lower than phyllochron of ratoon crop for the first 15 leaves. The power model is appropriate to characterize the allometric relationship between the evolution of accumulated green area as a function of accumulated main stem leaf number. The medium clone has a higher productivity in the ratoon crop.

KEYWORDS: Phyllochron. Allometric relationships. *Saccharum officinarum*.

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.

- AUDE, M. I. S.; MARCHEZAN, E.; PIGNATARO, I. A. B.; PASQUALETTO, A. Época de plantio e seus efeitos na produtividade e teor de sólidos solúveis no caldo da cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 131-137, 1992.
- BEZUIDENHOUT, C. N. O'LEARY G. J.; SINGELS A.; BAJIC V. B. A process-based model to simulate changes in tiller density and light interception of sugarcane crops. **Agricultural Systems**, Essex, v. 76, n. 2, p. 589-599, 2003.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (CQFS-RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10ª ed. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011..pdf>. Acesso em: 09 jan. 2011.
- DELLAI, J.; TRENTIN, G.; BISOGNIN, D. A.; STRECK, N. A. Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1269-1274, 2005.
- INMAM-BAMBER, N. G. 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.
- MALDANER, I.; GUSE, F. I.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B.; LUCAS, D. D. P.; LOOSE, L. H. Filocrono, área foliar e produtividade de frutos em três genótipos de berinjela conduzidos com uma e duas hastes por planta em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 671-677, 2009.
- MALUF, J. R. T. ; WESTPHALEN, S. L. ; MATZENAUER, R. ; MALUF, D. E. **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, 2008. n. 18, 78 p.
- OLIVEIRA, A. R; FREITAS, S. P. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas em áreas de produção de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 33-46, 2008.
- PIVETTA, C. R.; TAZZO, I. F.; MAASS, G. F.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B. Emissão e expansão foliar em três genótipos de tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1274-1280, 2007.
- ROSA, H. T.; WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ANDRIOLO, J. L.; DA SILVA, M. R.; LANGNER, J. A. Base temperature for leaf appearance and phyllochron of selected strawberry cultivars in a subtropical environment. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.4, p. 939-945. 2011.
- SILVA, M. A.; JERONIMO, E. M.; LÚCIO, A. D. Perfilamento e produtividade de cana-de-açúcar com diferentes alturas de corte e épocas de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 979-986, 2008.
- SINCLAIR, T. R. ; GILBERT, R. A. ; PERDOMO, R. E. ; SHINE, J. R. ; POWELL, G. ; MONTES, G. 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. ; KÄMPF, N. ; DALMOLIN, R. S. D. ; KLAMT, E. ; NASCIMENTO, P. C. ; SCHENIDER, P. ; GIASSON, E. ; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2008. 126p.

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

STRECK, N. A.; DE PAULA, F. L. M.; DELLAI, J.; BISOGNIN, D. A.; DE PAULA, A. L. Filocrono em batateira afetado pelo tamanho do tubérculo-semente e pela época de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 137-143, 2009a.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; SAMBORANHA, F. K.; GABRIEL, L. F.; SCWANTES, A. P.; SCHONS, A. Temperatura base para aparecimento de folhas e filocrono da variedade de milho BRS Missões. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 224-227, 2009b.

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Produção de cana-de-açúcar do Brasil**. Disponível em: <http://www.unica.com.br/FAQ>. Acesso em: 27 abr. 2010.

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.; WEISS, A.; BAENZIGER, P. S. 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.