

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

**FISIOLOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

*Prof.Dr. João Domingos Rodrigues*

**BOTUCATU - SP**

**- 1995 -**

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. CRESCIMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>3</b>
<b>3. FATORES QUE INFLUENCIAM O CRESCIMENTO DA PARTE AÉREA.....</b>	<b>10</b>
<b>4. FLORESCIMENTO.....</b>	<b>18</b>
<b>5. EFEITOS DO FLORESCIMENTO NA PLANTA .....</b>	<b>26</b>
<b>6. MECANISMO DO FLORESCIMENTO EM CANA-DE-AÇÚCAR</b>	<b>29</b>
<b>7. CONTROLE DO FLORESCIMENTO .....</b>	<b>34</b>
<b>8. MATURAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>37</b>
<b>9. CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE MATURADORES EM CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>65</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>

## 1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene, que perfilha de maneira abundante, na fase inicial do desenvolvimento. Quando se estabelece como cultura, o autosombreamento induz inibição do perfilhamento e aceleração do colmo principal. O crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, ocorrência de baixas temperaturas ou ainda devido ao florescimento, sendo este processo indesejável em culturas comerciais.

As características varietais definem o número de colmos por planta, a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciados pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas.

A cana é cultivada numa ampla faixa de latitude, desde cerca de 35° N a 30° S e em altitudes que variam desde o nível do mar até 1.000 metros, em cerca de 79 países com área de 12 milhões de hectares, sendo a Índia o país com maior área plantada (3 milhões de ha), seguida do Brasil e Cuba, com mais de 1 milhão de hectares.

O rendimento econômico da cana-de-açúcar é dado pela produção de sacarose (o componente mais valioso), além de açúcares não redutores utilizados para formar o melaço e também a fibra, que pode ser utilizada como fonte de energia para a própria usina. O processamento industrial da cana pode também ser dirigido para a produção de álcool, para utilização como combustível e a partir daí, toda a álcoolquímica.

Diversos países produtores calculam o rendimento da cana-de-açúcar, através dos pesos dos colmos por área de terreno, sendo a produtividade mundial de 53 ton./ha, tendendo a elevar-se com o emprego de novas tecnologias. Outros países, estabelecem como rendimento econômico da cultura, a quantidade de açúcar obtida por hectare, contendo os colmos de 7 a 13% de sacarose, além de 11 a 16% de fibra.

Sendo a cana-de-açúcar uma planta de metabolismo fotossintético C<sub>4</sub>, é considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química, com taxas fotossintéticas calculadas em até 100 mg de CO<sub>2</sub> fixado por dm<sup>2</sup> de área foliar por hora. Entretanto, esta alta atividade fotossintética, não se correlaciona diretamente com a elevada produtividade de biomassa. A grande capacidade da cana-de-açúcar, para a produção de matéria orgânica, reside na alta taxa de fotossíntese por unidade de superfície de terreno, que é influenciado pelo Índice de Área Foliar

(IAF). Além disso, o longo ciclo de crescimento da planta, resulta em elevadas produções de matéria seca.

As características dos cultivares, influenciam a eficiência fotossintética da cana, além das variações climáticas que prevalecem durante o desenvolvimento da cultura. A fotossíntese é correlacionada negativamente com a largura das folhas e positivamente com a sua espessura. Posição mais vertical da folha no colmo, traduz-se em maior eficiência fotossintética, mormente em populações de alta densidade populacional, devido à penetração mais eficiente da luz no dossel. A fotossíntese varia com a idade das folhas, atingindo valores de fixação de  $C_4$  apenas as folhas recém-expandidas, enquanto as folhas mais velhas e as muito jovens, realizam fotossíntese em níveis semelhantes à das plantas  $C_3$ .

Os processos de bioconversão de energia na cana-de-açúcar, são mais efetivamente afetados pelos seguintes parâmetros ambientais: luz (intensidade e quantidade), concentração de  $CO_2$ , disponibilidade de água e nutrientes e temperatura. O aumento de irradiância eleva a taxa fotossintética, ocorrendo a saturação acima de  $0,9 \text{ cal/cm}^2/\text{minuto}$ . A elevação do  $CO_2$  da atmosfera aumenta a capacidade fotossintética, sendo que vento em velocidade moderada eleva a fotossíntese por aumentar a disponibilidade de  $CO_2$  às plantas; com baixa velocidade do vento, há depressão na fotossíntese, ao redor do meio do dia.

A temperatura, dos fatores climáticos, é o mais importante para a produção de cana-de-açúcar. A planta, geralmente, é tolerante a altas temperaturas, produzindo em regiões com temperatura média de verão de  $47^\circ\text{C}$ , desde que empregada irrigação. Temperaturas mais baixas (menos de  $21^\circ\text{C}$ ), diminuem o crescimento dos colmos e promovem o acúmulo de sacarose.

Finalmente, há necessidade de melhor entendimento sobre o metabolismo do processo fotossintético, como prova o insucesso das tentativas de associar taxa de fotossíntese/unidade de área foliar com a produtividade econômica/unidade de superfície de terreno. É necessário conhecer-se mais e melhor o sistema de transporte e de acúmulo dos metabólicos, principalmente sacarose, o mais valioso produto da cana-de-açúcar. Em função disso, deve ser cuidadosamente analisado o processo de maturação e as formas de se conseguir incrementar e antecipar esse processo, momento em que os reguladores vegetais assumem papel importante.

## **2. Crescimento da cana-de-açúcar**

A curva de crescimento da cana de primeiro corte pode ser mais simétrica se o ciclo for anual (cana-de-ano) ou bimodal, caso seja ciclo de mais de um ano (cana-de-ano e meio), conforme pode-se observar nas Figuras 1,2 e 3.

A cana-de-ano (12 meses), plantada em setembro-outubro, tem seu desenvolvimento máximo de novembro a abril, diminuindo após devido às condições climáticas adversas do período de inverno no Centro-Sul, podendo essa colheita ocorrer a partir de julho, isto em função do cultivar.

A cana-de-ano e meio (18 meses), plantada de janeiro ao início de abril, apresenta taxa de crescimento mínimo ou mesmo nula ou negativa, de maio a setembro, como já dito acima, no Centro-Sul, em função das condições pouco favoráveis do inverno, como pequena disponibilidade hídrica no solo ou mesmo déficit hídrico, baixas temperaturas e menores intensidades de radiação. Já com o início das precipitações, aumento da intensidade luminosa e também da temperatura, a fase de maior desenvolvimento da cultura acontece de outubro a abril, com o pico do crescimento por volta de dezembro a abril.

Considerando-se esse grande período de desenvolvimento, pode-se constatar que para a cana-de-ano e a cana-soca, a fase de maior desenvolvimento, ocorre na primeira metade do grande período. Já para a cana-de-ano e meio, isto acontece na segunda metade do grande período.

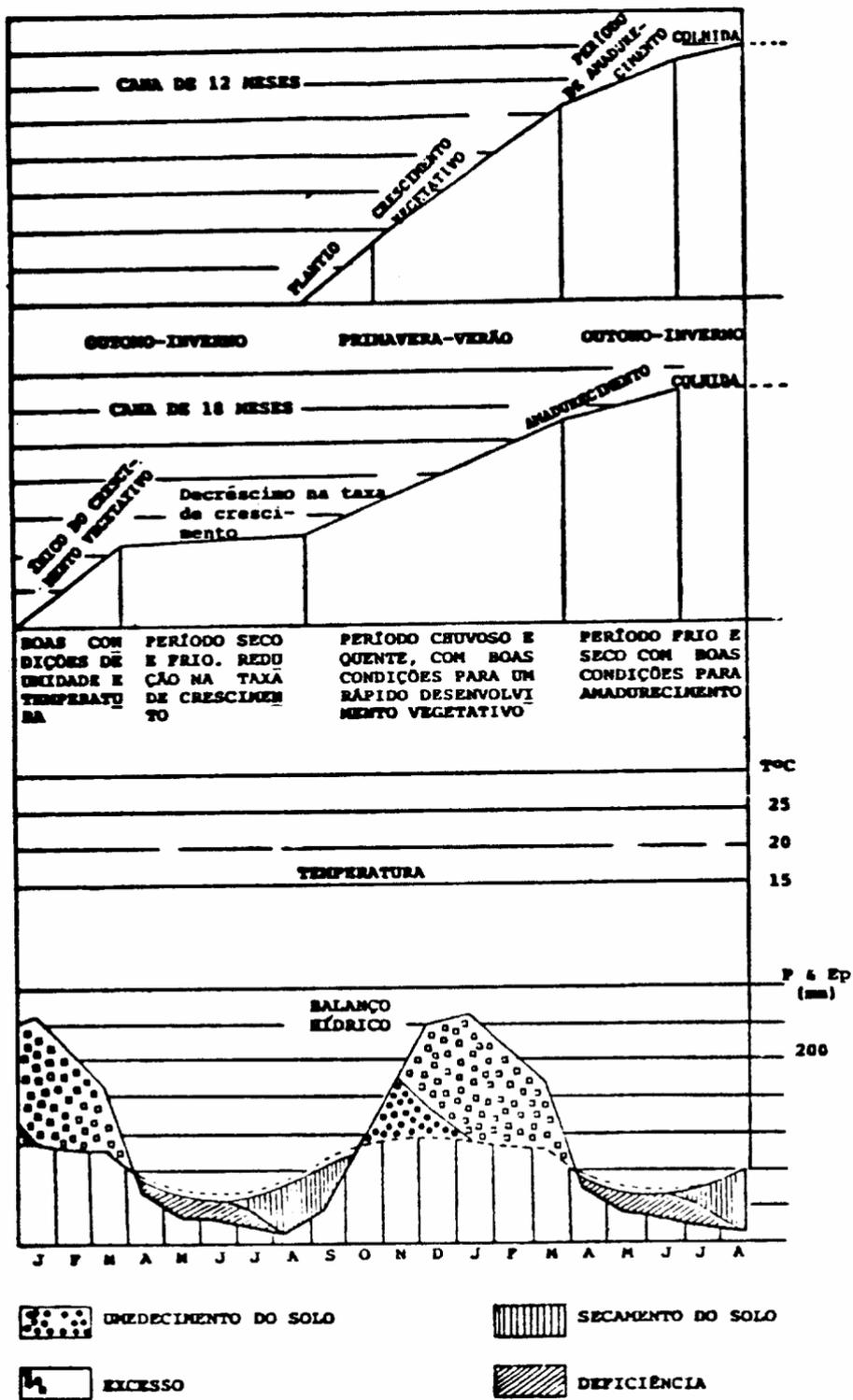
A matéria seca (M.S.) total da parte aérea se acumula segundo uma curva sigmóide, obtida através da função logística.

$$P \text{ (g/m}^2\text{)} = \frac{5389,5}{1 + \exp. (5,6609 - 0,01874 t)}$$

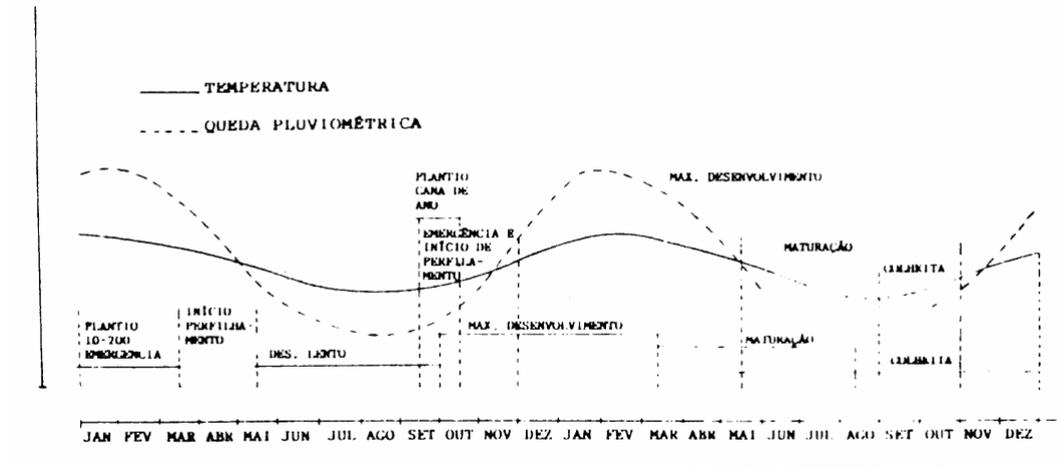
onde:

P = matéria seca total

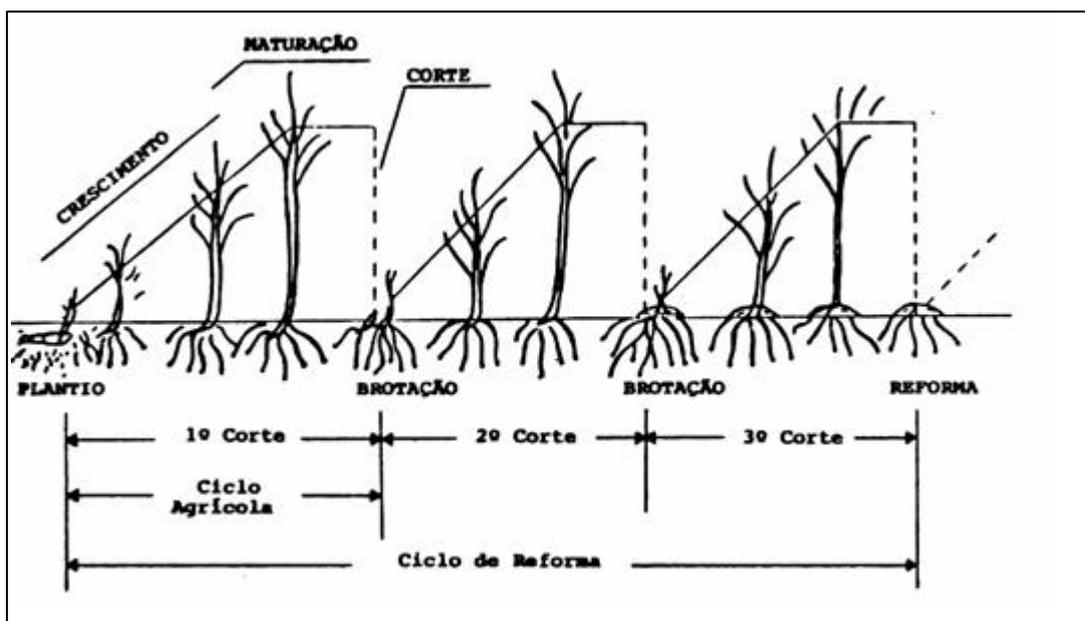
t = número de dias após o plantio



**Figura 1.** Desenvolvimento da cana-de-açúcar e regime hídrico na região de Ribeirão Preto (SP) - região Centro-Sul.



**Figura 2.** Ciclo da cana-de-açúcar e variações climáticas da região centro sul.



**Figura 3.** Ciclo de uma cultura de cana-de-açúcar com três cortes.

Portanto, segundo MACHADO et al. (1982) e visualização através da Figura 4, no aumento da M.S.: 1 - Fase inicial de crescimento lento, entre o plantio e 200 dias após o plantio (março-outubro); 2 - Fase de crescimento rápido, entre 200 a 400 dias após o plantio, na qual 75% da M.S. foi acumulada (outubro-maio); 3 - Fase final, entre 400 - 500 dias após o plantio, onde o crescimento é novamente lento e responsável por 11% de toda a fitomassa (maio-agosto).

ROSTRON (1974) determinou para a cana-planta e a soca, taxa de crescimento médio de M.S. de 18 g/m<sup>2</sup>/dia, durante 365 dias. MACHADO (1987), citando observações realizadas na Lousiana e Zimbabwe, diz que o crescimento médio da matéria seca variou de 7 a 14 g/m<sup>2</sup>/dia ou de 24 a 45 t M.S. ha/ano.

Para acúmulo de M.S. das folhas, MACHADO et al. (1982), estabeleceram a seguinte função logística:

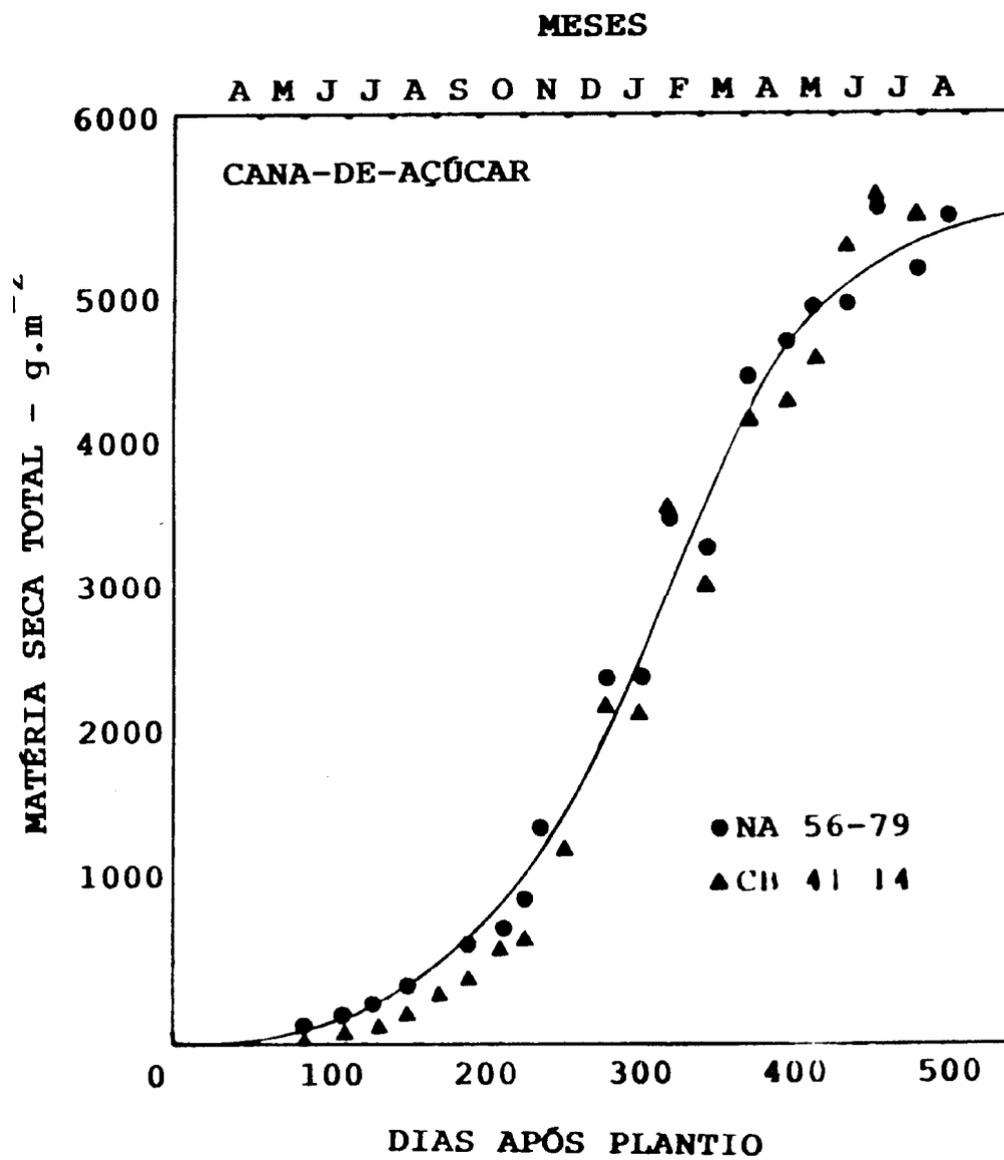
$$F \text{ (g/m}^2\text{)} = \frac{370}{1 + \exp (3,9615 - 0,02494 t)}$$

onde:

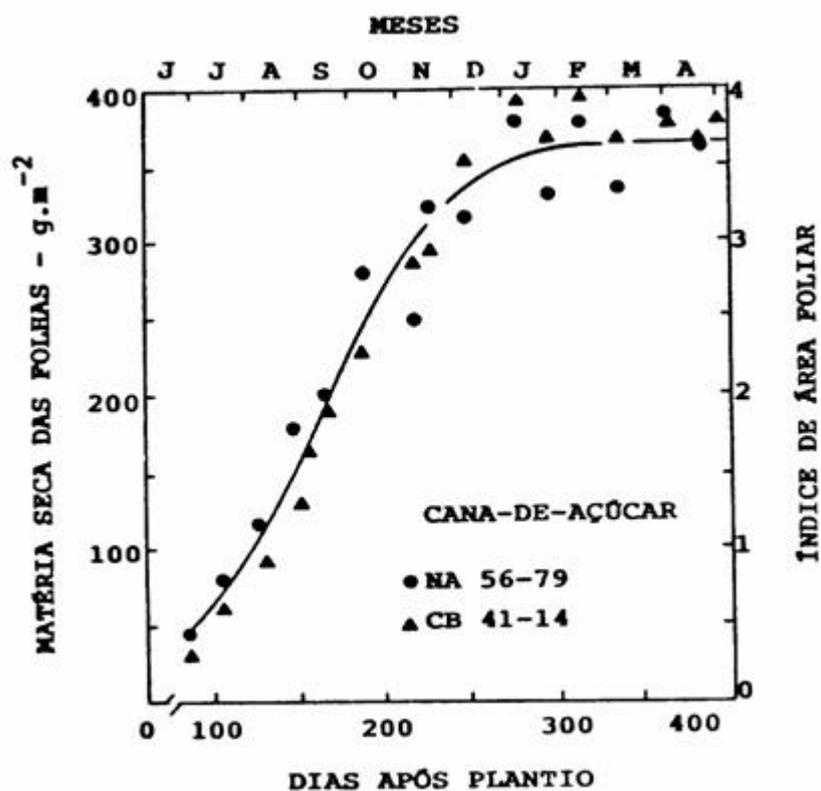
F = massa seca total acumulada pelas folhas

t = número de dias após o plantio

Logo, segundo os últimos autores e visualizado pela Figura 5, observam-se três fases distintas de crescimento da M/S. foliar: 1 - Fase de crescimento lento, entre o plantio e 100 dias após (março-julho); 2 - Fase de crescimento rápido, entre 100 e 250 dias após o plantio, correspondendo a 75% do máximo acumulado (julho-dezembro); 3 - 250 dias após o plantio (dezembro), o crescimento foliar foi novamente lento, estabilizando-se ao redor dos 300 dias após o plantio (fevereiro).

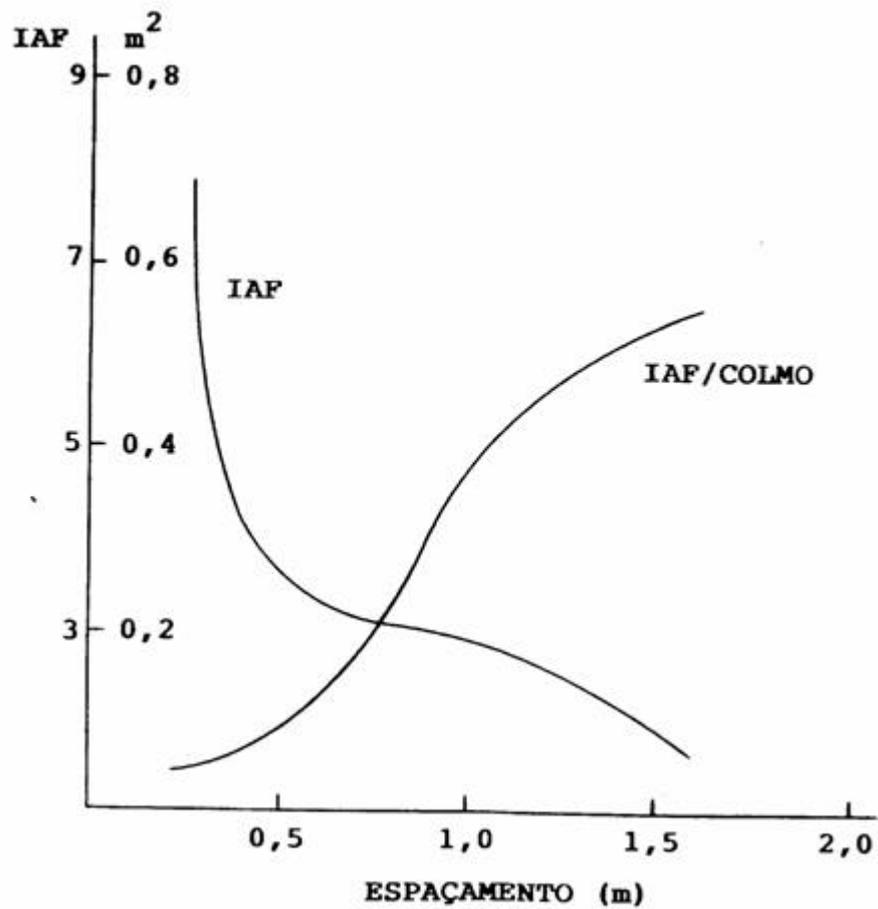


**Figura 4.** Acúmulo de matéria seca total em dois cultivares de cana-de-açúcar - Piracicaba (SP) - 1978/79.



**Figura 5.** Acúmulo de matéria seca nas folhas e índice de área foliar em dois cultivares de cana-de-açúcar, Piracicaba (SP) - 1978/79.

Com relação ao Índice de Área Foliar (IAF), GASCHO & SHIH (1983) notaram que o valor máximo foi alcançado aos 6 meses de idade da planta, enquanto que obteve-se o mesmo máximo de colmos aos 5 meses de idade. O aumento do IAF prenuncia alta produção de fotossintetatos e alta produção de açúcares. Uma das formas de se aumentar o IAF seria a redução do espaçamento, com respostas mais expressivas em zonas com estação de crescimento mais curtas.



**Figura 6.** Índice de área foliar em dois espaçamentos.

A área foliar é um dos mais importantes parâmetros da Análise de Crescimento, podendo ser medida através de aparelhos específicos ou de fórmulas que permitem sua estimativa, em muitos casos, com bastante precisão, tais como:

$$Y = e^{[(x/a + bx + cy^2)]}$$

onde:

Y = comprimento do colmo

a, b e c = coeficientes estimados, com os valores: a = 1,140; b= 0,111 e c= 0,177.10<sup>-4</sup> (válidos para a Flórida)

Ou então, uma fórmula mais simples:

$$A = 0,75L \times C$$

onde:

L = maior largura da folha

C = comprimento da folha

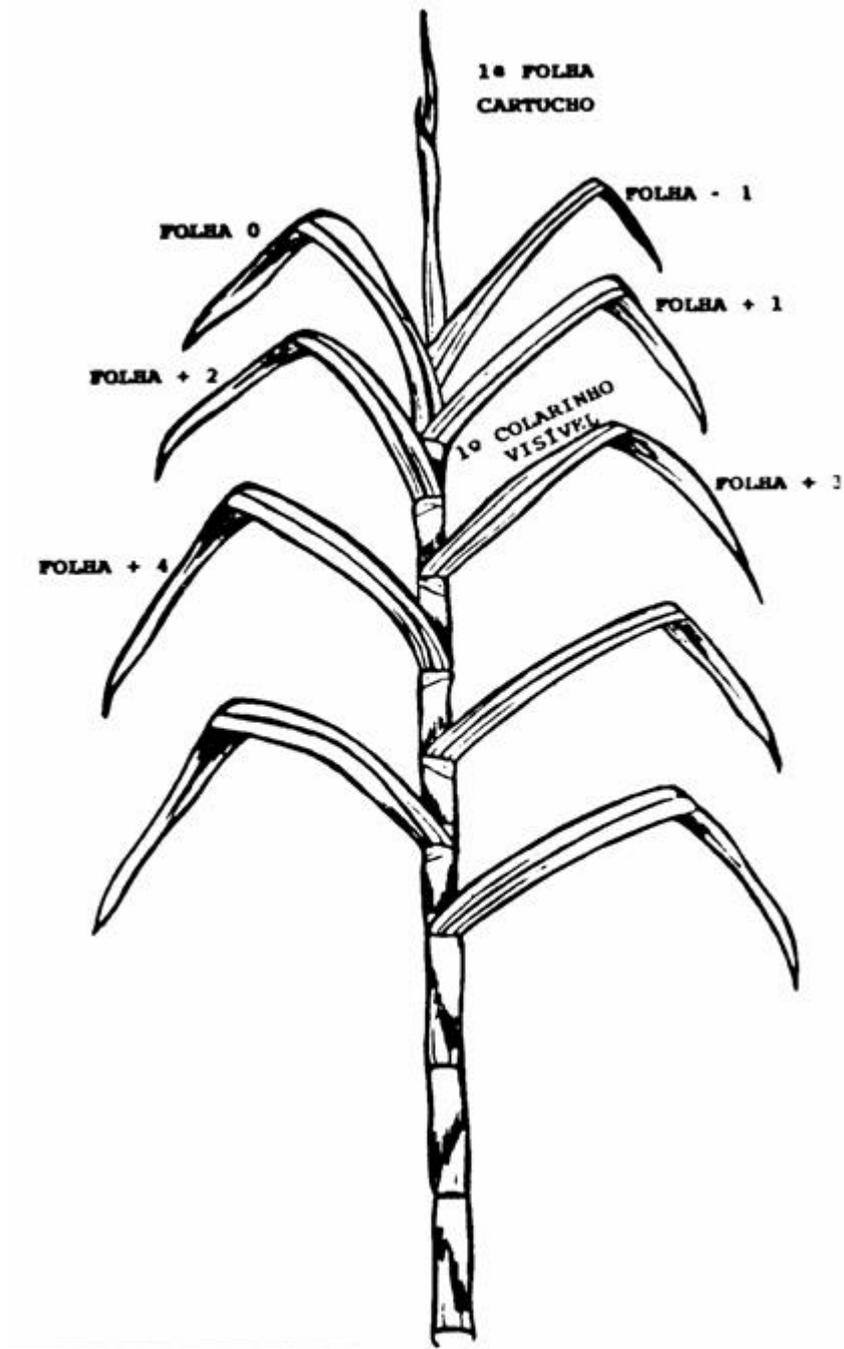
A escolha da folha a ser usada na mensuração, deve seguir a numeração proposta por Kuijper em VAN DILLEWIJN (1952), também utilizada na diagnose foliar, que consiste em designar como +1 a primeira folha de cima para baixo, que se apresenta inserida com a aurícula (colarinho) bem visível (Figura 7). As folhas de baixo passariam a receber a numeração +2, +3, etc. As acima da +1 seriam 0, -1, -2, -3, etc. (Figura 8). Em geral, deve-se utilizar a folha +3, considerada adulta.

### **3. Fatores que influenciam o crescimento da parte aérea**

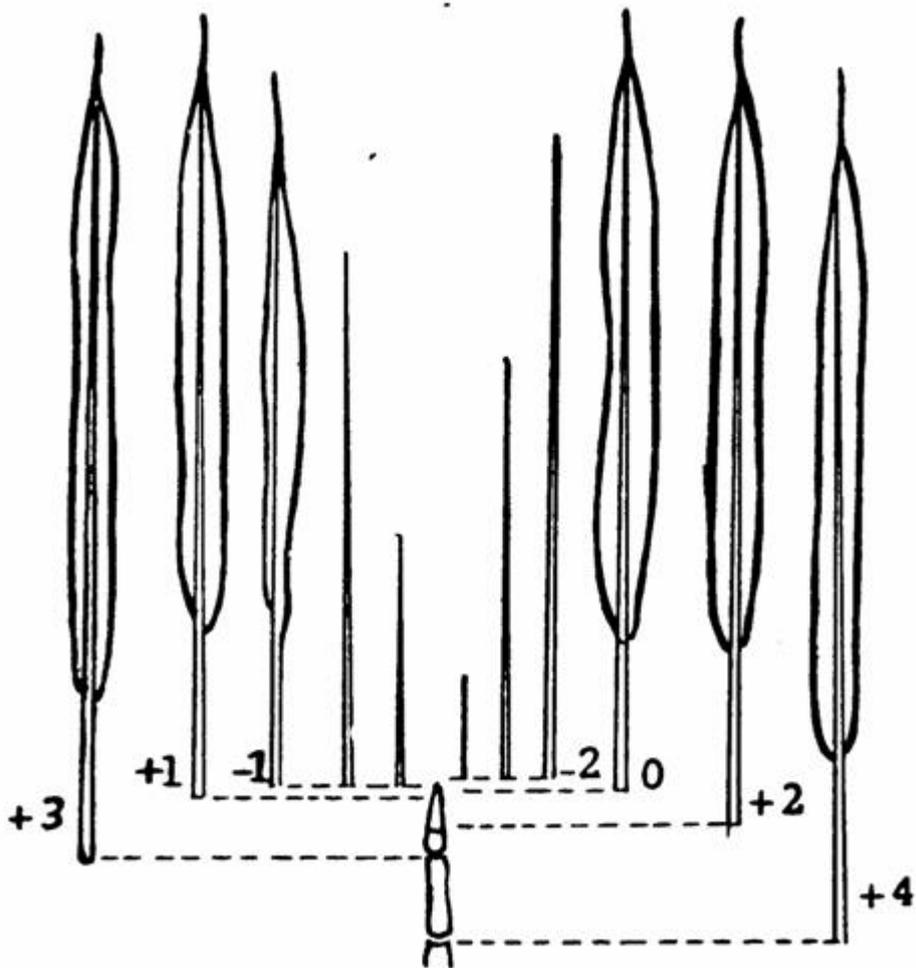
#### **a. Cultivares**

Com relação à maturação ocorrem cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, que não pode ser confundido com o ciclo vegetativo, onde o objetivo é a produção de biomassa por área. Assim,

no início do período de safra, pode ocorrer que um cultivar precoce relativamente à maturação, produza menos biomassa por área que um tardio.



**Figura 7.** Sistema de numeração de folhas no sistema estabelecido por Kuijper.



**Figura 8.** Sistema de numeração de folhas de Kuijper.

### **b. Luminosidade**

Sendo a cana planta  $C_4$ , altas eficiências fotossintéticas devem-se à altas intensidades luminosas. Com elevadas taxas de radiação, os colmos são mais grossos mas mais curtos; as folhas

mais longas e mais verdes e o perfilhamento mais intenso. Em condições de baixas irradiâncias os colmos são mais finos e longos, as folhas estreitas e amarelas.

O fotoperíodo também é importante, afetando o comprimento do colmo. Em fotoperíodos de 10 a 14 horas o colmo aumenta, sofrendo redução, no entanto, em fotoperíodos longos, entre 16 e 18 horas.

O número de folhas verdes varia de 6 a 12, sendo menor o número de folhas em condições de déficit hídrico ou de baixas temperaturas. As folhas velhas, ao receberem pouca intensidade luminosa, tornam-se senescentes. As folhas verdes do topo são eretas, com o ápice curvo, podendo as demais serem mais ou menos eretas, dependendo da variedade e das condições de cultivo. Normalmente, folhas eretas tendem a proporcionar aumentos significativos na produção.

### **c. Temperatura do ar**

Exerce grande influência no crescimento dos colmos. O crescimento torna-se ereto em temperaturas abaixo de 25°C. Para valores abaixo de 20°C, o crescimento é praticamente nulo. Em termos de temperatura máxima, o crescimento seria lento acima de 35°C e nulo acima de 38°C. Logo, deduz-se que a faixa ótima de temperatura, para o crescimento dos colmos, estaria entre 25° e 35°C, não esquecendo de relacionar a temperatura com a radiação solar, principalmente, nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura. O prolongamento da fase juvenil, normal em condições de baixas temperaturas, ocorre em função da expansão relativa da razão de área foliar, em condições de períodos de recepção de alta radiação solar.

Um dos graves problemas da cultura canvieira na região Centro-Sul seriam as geadas, tanto a “branca” como a “negra”. A “branca” é quando o ponto de orvalho está abaixo de 0°C, normalmente em condições de alta umidade relativa. Quando está baixa e a temperatura cair abaixo de 0°C (acima do ponto de orvalho), ocorre a geada “negra”, nome devido ao surgimento de tecido vegetal escuro, sem a presença de gelo, após o período da geada. Dependendo das condições do tempo e da exposição, a geada negra pode ser mais prejudicial que a branca, possivelmente devido

à liberação de energia, que ocorre quando a água passa do estado líquido para o sólido, retardando o abaixamento da temperatura.

Regiões de declive, em forma de bacias, normalmente agravam os efeitos da geada por causa de ausência de vento, do maior esfriamento do solo pela menor radiação, das camadas de ar frio serem mais densas e ficarem retidas no fundo, onde as temperaturas cairão muito.

Solos úmidos diminuem o efeito das geadas por perderem menos calor, ocorrendo o contrário com os solos com baixos potenciais água. Dependendo do tempo de exposição, baixas temperaturas podem causar danos severos à cultura, como períodos longos de temperaturas ao redor de 0°C. IRVINE (1965) observou que uma geada de -6,1°C com duração de quatro horas, provocou danos semelhantes a a uma de -0,5°C que durou 48 horas.

A geada causa danos que são devidos à formação de gelos nos espaços intercelulares, que ocorre pela contração do protoplasma saindo parte da água para os espaços, onde se congela. Com isto ocorre dessecação da célula, a qual pode morrer por forças mecânicas que atuam sobre o protoplasma e a membrana plasmática e pela precipitação de proteínas.

A parte da planta mais suscetível é a superior. Devido à intensidade do frio, os danos caminham para a parte mediana e inferior do colmo, em função de ser a superfície do solo mais quente.

Os danos causados vão depender de três fatores principais: valor das temperaturas baixas, duração da temperatura mais baixa e temperaturas após a geada. Um dos principais sintomas são faixas despigmentadas nas folhas novas, em forma de asas de borboleta, que se manifestam após certo tempo, somente quando ocorre a emissão completa das folhas que sofreram os danos. Este sintoma pode aparecer, na média entre cultivares, à temperaturas abaixo de 8°C. A geada mesmo, ocorreria entre -1,7 a 3,9°C, com danos na parte apical dos colmos. O primeiro ponto de injúria situa-se , a 2,5 cm da gema apical. Dependendo da intensidade da geada, pode ocorrer o apodrecimento das folhas centrais do “palmito”, fazendo com que este se destaque facilmente. Em consequência da morte da gema apical, ocorrem brotações das gemas laterais e a diminuição das características tecnológicas do colmo. O produtor deve utilizar o mais rápido possível a cana que

sofreu geada, caso esteja em período de safra, embora existam divergências de comportamento quanto a tolerância à deterioração, em função do cultivar. A gema apical, na média, morre sob temperaturas em torno de  $-2,2^{\circ}\text{C}$  por cerca de 3 horas, enquanto que temperaturas de 0 a  $-6,0^{\circ}\text{C}$ , por 54 horas matam todas as gemas laterais.

BRINHOLI (1972) concluiu que: os danos às folhas de cana-de-açúcar se dão na faixa de  $-2,2$  a  $-5,0^{\circ}\text{C}$ ; o congelamento do colmo de  $-1,1$  a  $-7,5^{\circ}\text{C}$ ; a rachadura do colmo em temperaturas iguais ou inferiores a  $-5,0^{\circ}\text{C}$ . O tempo de exposição às baixas temperaturas é fator importante nos aspectos considerados, ou seja, quanto menor o tempo mais baixas terão que ser as temperaturas.

#### **d. Condições hídricas**

Baseado em THORNTHWAITE (1948):

$$\text{IM} = \frac{(100e - 60d)}{\text{EP}}$$

onde:

IM = índice hídrico

e = excedente anual de água

d = deficiência anual de água

EP = evapotranspiração potencial anual

TF = temperatura do mês mais frio

CAMARGO & ORTOLANI (1964) propuseram carta das limitações e possibilidades climáticas para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil. Assim:

IM < 0: áreas com insuficiência hídrica e irrigação imprescindível.

IM > 0; d > 150 mm: áreas com deficiência hídrica sazonal e irrigação suplementar recomendada.

IM > 0; d < 150 mm: áreas com deficiência hídrica.

IM > 0; d < 5 mm; TF > 20°C: áreas com ausência de estação seca ou fria, repouso e maturação deficientes.

EP < 850 mm: áreas com deficiência térmica.

Logo, a maioria das áreas canavieiras do Brasil apresentam IM positivo, indicando clima úmido ou sub-úmido, mesmo no nordeste. Índices hídricos negativos estão restritos ao polígono das secas e à região do pantanal, onde seria necessária irrigação pesada. Para as demais regiões, as irrigações seriam complementares.

Há também carta de aptidão climática para o Brasil, estabelecida por CAMARGO et al. (1977):

- I) Apta: condições térmicas e hídricas satisfatórias para a cana-de-açúcar: temperatura média anual acima de 20°C e deficiência hídrica anual inferior a 200 mm;
- II) Marginal por restrição térmica: temperatura média anual entre 18 e 20°C; temperatura de julho acima de 14°C e deficiência abaixo de 200 mm;
- III) Marginal por restrições hídricas, justificando irrigações suplementares: temperatura média anual superior a 18°C e deficiência hídrica entre 200 e 400 mm;
- IV) Marginal e inapta por falta de estação de repouso por frio ou seca: temperatura média anual superior a 24°C e deficiência hídrica anual nula;
- V) Inapta por insuficiência hídrica: deficiência hídrica anual superior a 400 mm;
- VI) Inapta por carência térmica ou geadas excessivas: temperatura média anual inferior a 18°C ou temperatura média de julho inferior a 14°C.

ALFONSI et al. (1987), apresentaram uma equação para a estimativa das perdas de água pela cultura da cana, a saber:

$$ETM = Kc \cdot ETP$$

onde:

ETM = perda de água máxima, em qualquer estágio de desenvolvimento, sem nenhuma restrição hídrica;

ETP = perda de água por uma superfície plana, com vegetação e em capacidade de campo;

Kc = fator de ajuste entre ETM e ETP, denominado coeficiente de cultura, dependente do estágio de desenvolvimento, conforme valores apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1.** Valores de Kc, estabelecidos por Doorenbos & Pruitt (1975) para a cultura da cana-de-açúcar.

Idade em mese da		Fases da cultura	Kc
Cana planta	Cana soca		
0 - 2	0 - 1	Plantio até 0,25 do fechamento	0,40
2 - 3	1 - 2	0,25 a 0,50 do fechamento	0,75
3 - 4	2 - 2,5	0,50 a 0,75 do fechamento	0,95
4 - 7	2,5 - 4	0,75 até o fechamento	1,10
7 - 14	4 - 10	Fechamento máximo	1,25
14 - 16	10 - 11	Início da maturação	0,95
16 - 18	11 - 12	Maturação	0,70

Em condições de campo, a cana planta consome o máximo de 4,5 mm/dia de água, o máximo de 2,3 mm/dia e o consumo médio de 3,3 mm/dia, ao passo que a soca 4,4; 2,2 e 3,2 mm/dia, respectivamente (SCARDUA, 1979).

## e. Nutrientes

Não vamos nos deter aqui em avaliar todos os efeitos dos nutrientes minerais no crescimento da cana-de-açúcar, mas em apenas alguns aspectos. Como referência, CASAGRANDE (1991) cita que, considerando três cultivares (CB 41-76; CO 740; IAC 52/326), a ordem de absorção de minerais para a cana planta é:  $N \geq K > Ca > Mg \geq S > P$  em LE;  $K > N > Ca > Mg > S > P$  em LR e  $K > N > Ca > Mg > P \geq S$  para PVL. Em soca, a ordem é:  $K > N > Mg > Ca > S > P$  em LE;  $K > N > Mg > Ca \geq P > S$  em LR e  $K > N > Mg > Ca > P > S$  em PVL. Para os micros, a ordem é:  $Fe > Zn > Mn > B \geq Cu$ .

Deve se observar que, para a maioria dos elementos minerais, o pico de absorção na cana planta acontece na segunda metade do grande período, ou seja, dos 9 meses em diante. Para a cana soca, o pico de absorção ocorre na primeira metade do grande período, ou seja, até os seis meses de idade.

Como a falta de nitrogênio é preocupante, o excesso também é indesejável, levando a planta a crescimento vegetativo excessivo, atrasando a maturação, prejudicando a qualidade da matéria prima pela diminuição do teor de sacarose dos colmos.

O fósforo tem grande importância na qualidade da matéria prima, pois teores de  $P_2O_5$  acima de 300 ppm facilitam a clarificação do caldo. O potássio possui importante ação na translocação de sacarose, seja no transporte via floema ou no transporte célula a célula da sacarose em direção ao floema, ou deste no sentido de armazenamento. Deficiência de  $K^+$  pode levar ao acamamento por diminuição da turgescência celular, bem como à menor fotossíntese por fechamento dos estômatos. O excesso desse elemento, no entanto, não é desejável para a fabricação do açúcar, pois como é o maior constituinte das cinzas, estas em alta concentração no caldo dificultam a cristalização, em função da formação de núcleos falsos, reduzindo o rendimento industrial de açúcar. Já, no entanto, altos teores de cinzas favorecem a produção de álcool, agindo como fonte de nutrientes para as leveduras.

O boro, em se tratando de cana-de-açúcar, não pode deixar de ser lembrado, em função da sua importância na translocação de sacarose, formando um complexo com este açúcar. Assim, apesar da existência de inúmeras ações fisiológicas do boro na planta, esta é a mais aceita. Dessa forma, não deve haver carência de boro, no sentido de não haver prejuízos para a produção de açúcar.

Finalmente, baixos teores de silício levam à produção de menores quantidades de açúcares. Para maiores informações sobre nutrição mineral, deve-se consultar as obras de CASAGRANDE (1991); MALAVOLTA (1976; 1982); MALAVOLTA et al. (1964; 1989); MARSCHNER (1986) e MENGELL & KIRKBY (1987), etc.

#### **4. Florescimento**

A inflorescência ou panícula da cana-de-açúcar é chamada de flecha, bandeira ou flor apresentando tamanho, cor e formação dependendo das espécies ou cultivares. É originária da gema apical, com um eixo principal ou ráquis, prolongamento do último entre-nó do ápice da cana. Do ráquis saem os eixos secundários e destes os terciários, diminuindo a ramificação de baixo para cima, dando o aspecto piramidal da inflorescência (CASAGRANDE, 1991). Nas ramificações terciárias de base e secundárias do ápice, localizam-se as espiquetas, com uma flor cada.

No processo de formação da inflorescência, inicialmente deve ser detectado o período em que ocorre o estímulo para que o meristema apical se modifique, deixando de produzir folhas e colmos, passando a formar a inflorescência. Este período é de difícil definição, pois depende do cultivar, do clima da região e das mudanças que ocorrem nos anos agrícolas. Tais fatos, levam-nos a estabelecer somente os meses onde as possibilidades dos fenômenos ocorrerem são maiores. Dessa forma, no hemisfério sul, o estímulo e diferenciação meristemática para a formação da flor ocorrerá nos meses de fevereiro, março e abril, dando-se o florescimento nos meses de abril, maio e junho. Já para o hemisfério norte a diferenciação ocorreria em agosto, setembro e outubro, com a

consequente floração de outubro a janeiro. Para CLEMENTS & AWADA (1965) o tempo de estímulo, para que o meristema se modifique em gema floral, é de 18 a 21 dias, dependendo da variedade.

O processo de florescimento divide-se, didaticamente, em quatro fases: transformação do meristema apical em gema floral; transformação desta em inflorescência, o desenvolvimento da inflorescência e da folha bandeira e a emissão da inflorescência. Logo, finda a primeira fase, inicia-se a segunda desenvolvendo-se no eixo principal as ramificações e, logo após, os ramos secundários. Nesta fase, surge o tecido meristemático que formará a bainha da folha bandeira, a qual protegerá a inflorescência. A folha que sofre modificação para transformar-se em bandeira é a folha -8, modificação essa traduzida por diminuição do limbo foliar e grande desenvolvimento da bainha protetora da inflorescência (CLEMENTS, 1975). A terceira fase, caracteriza-se pelo alongamento da bainha da folha bandeira (alcança 70 - 80 cm) e o desenvolvimento da inflorescência, cujo eixo principal chega a mais de 60 cm. A bainha da folha desenvolve-se para fornecer espaço para a inflorescência, bem como para evitar que esta se quebre, por seu tecido ser ainda frágil. Também ocorre nesta fase o desenvolvimento das espiguetas, até a formação da estrutura completa, bem como o máximo desenvolvimento da bainha da folha bandeira. Dessa forma, o passo seguinte é a emissão da inflorescência, seguida pela abertura das flores e a polinização. Para CLEMENTS & AWADA (1967) a completa emissão dura de 4 a 5 semanas, enquanto que a abertura das flores, formação de frutos e maturação, não mais que 2 a 3 semanas.

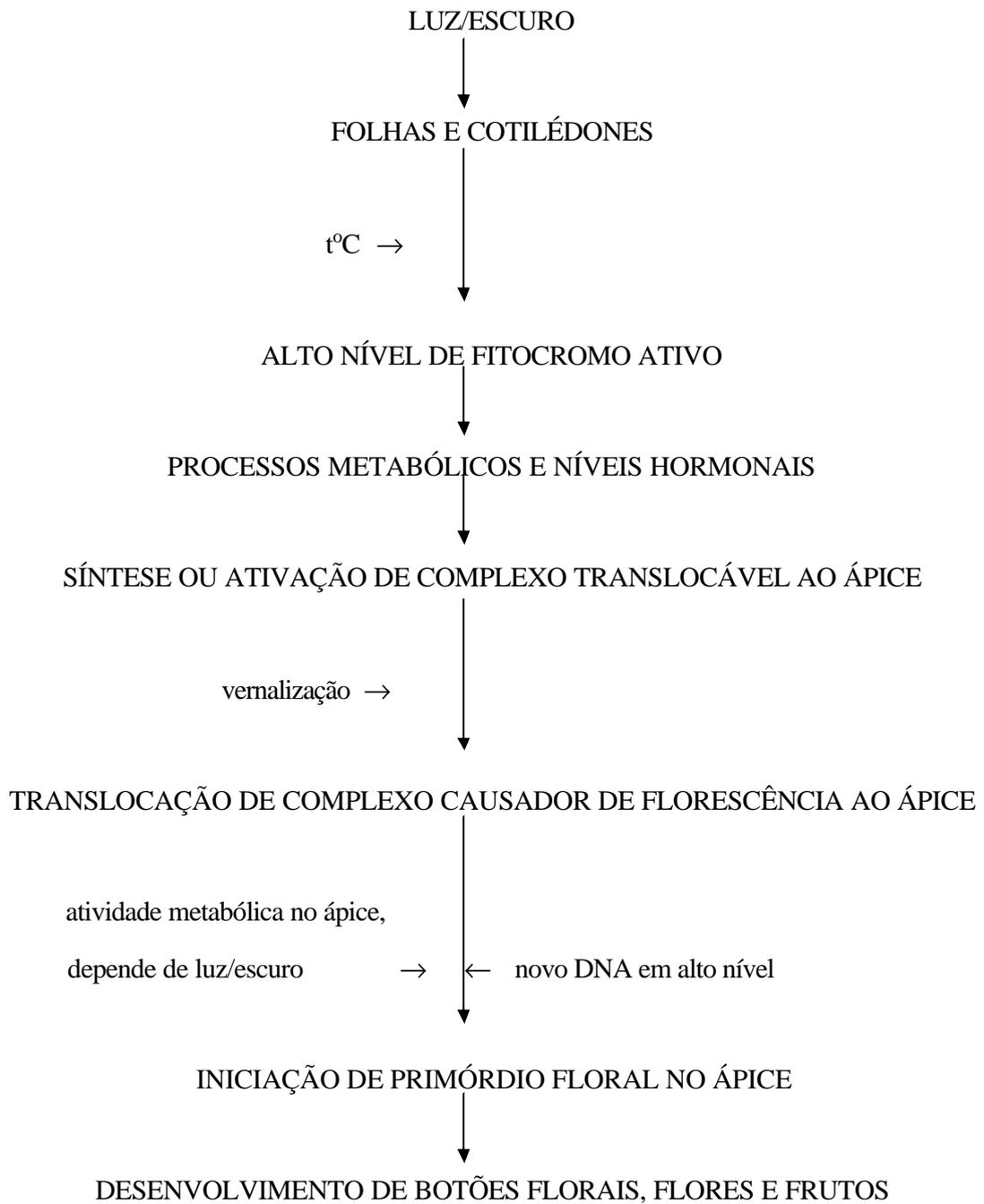
Dessa forma, como as demais gramíneas, a cana-de-açúcar floresce, frutifica e morre, garantindo a perpetuação da espécie. A floração da cana é fenômeno normal e indispensável para a sobrevivência da espécie não interessando, no entanto, ao produtor.

O florescimento, apresenta os seguintes prejuízos básicos:

- a. no florescimento, o crescimento vegetativo do colmo é paralizado, com evidente perda do rendimento de açúcar;
- b. os colmos florescidos diminuem seu rendimento em açúcar, devido à formação da folha bandeira ou flecha;

- c. completado seu ciclo vital, o colmo florescido entra em senescência, permitindo novas brotações;
- d. os prejuízos do florescimento são maiores, quando o colmo ainda se encontra em fase de crescimento;
- e. colmos florescidos não podem ser armazenados no campo, por muitos meses.

Em função do exposto, o homem procura interferir na natureza tentando evitar o florescimento da cana-de-açúcar, seja através de melhoramento genético ou através de reguladores vegetais, sendo necessário conhecer-se alguns fatores básicos que controlam o florescimento da cana, desde a sua fisiologia, bem como fatores do meio. A florescência da cana-de-açúcar é controlada por um complexo de fatores envolvendo principalmente o fotoperíodo e a temperatura, além da umidade e da radiação solar.. O processo de florescência em si é bastante complexo, envolvendo fitocromo, hormônios, florigeno, ácidos nucléicos e fatores diversos, conforme CASTRO (1993) (Figura 9).



**Figura 9.** Representação esquemática da sequência de eventos que levam ao processo de floração.

#### 4.1. Fotoperíodo

Um dos principais fatores determinantes do metabolismo (ALEXANDER, 1973). Há divergências quanto à classificação da cana como planta de dias curtos ou de dias longos. Autores como MANGELSDORF (1958), admitem que as mudanças do meristema apical para transformar-se em inflorescência, ocorrem durante os dias curtos. Outros, preferem classificar a cana como de comportamento intermediário, segundo dados obtidos em experimentos como os de CLEMENTS & AWADA (1965) onde o período do escuro foi fixado em 11 horas e 32 minutos, ocorrendo bom florescimento. O aumento deste período em 26' ou diminuindo em 34', inibe quase que totalmente o florescimento. Em outro trabalho, com período escuro de 11 horas e 30 minutos também houve florescimento, sem levar-se em conta as variações do comprimento do dia, não parecendo ser esta característica das PDC. Na Flórida, obtém-se a iniciação floral da cana em casas de vegetação com 12 horas e 30' de luz e temperatura de 24°C. A manifestação do florescimento é obtida com 12 horas de luz, após 2 a 3 semanas, em consequência da diminuição diária de 1 minuto de luz, durante 30 dias.

As melhores condições para o florescimento acontecem nas regiões equatoriais do globo, onde temos fotoperíodos de 12 horas de luz e 12 horas de escuro, com pequenas variações de temperatura. O florescimento é inversamente proporcional à latitude de origem do cultivar. Assim, 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 equatoriana, se levadas para a região sub-tropical. Isto evidencia que a ação da latitude, está diretamente relacionada com o fotoperíodo ao qual a planta é submetida. Dessa forma, a cana-de-açúcar é considerada sensível à luminosidade para florescer, sendo uma planta que somente floresce quando submetida a dias com comprimentos inferiores a um fotoperíodo crítico, sendo portanto uma planta de dias curtos. O processo de florescência da cana-de-açúcar é extremamente sensível ao meio ambiente, os quais afetam a iniciação floral e a fertilidade do pólen. O fotoperíodo ideal parece

ser de 12 a 12,5 horas, sendo que a maioria das cultivares respondem a este fotoperíodo nas diferentes regiões do mundo (CASTRO, 1984). Próximo ao equador, o florescimento pode ser induzido em qualquer época do ano. Em latitudes maiores, o florescimento é sazonal, ocorrendo principalmente no outono, quando o fotoperíodo está decrescendo, isto é, quando as plantas estão concluindo o período vegetativo. Aparentemente, há também necessidade de um período de crescimento vegetativo vigoroso, antes do período de indução, pois para a formação da panícula há utilização de açúcares armazenados anteriormente, com consequente chochamento da parte superior do colmo. Tais condições ocorrem no outono, inviabilizando o florescimento na primavera.

#### **4.2. Temperatura**

PEREIRA (1985) diz que a grande variabilidade do índice de florescimento, nas condições paulistas, evidencia não ser o fotoperíodo o único fator controlador do fenômeno, tendo importância também a temperatura. Esta ganha maior importância, na influência que exerce sobre o florescimento, à medida que se afasta do equador. Alguns pesquisadores realçam que, as temperaturas noturnas tem maior importância no florescimento, mormente aquelas abaixo de 18°C por períodos maiores do que dez dias. No Centro-Sul do Brasil, observou-se efeito acumulativo de temperaturas noturnas no florescimento, abaixo de 18°C, de tal forma que 5 noites nessa temperatura não afetaram o florescimento, 10 noites prejudicaram a florescência e mais que dez noites inibiram totalmente o processo.

Sendo o período favorável à indução do florescimento entre 25 de fevereiro e 20 de março, estabeleceu-se uma função para detectar a possibilidade de florescimento:

$$L = 1,263 - 0,06764 \times 1^{-0,02296 \times 2}$$

onde:

$x_1$  = número de noites com temperatura mínima  $\geq 18^\circ\text{C}$ , durante o período indutivo

$x_2$  = número de dias com temperatura máxima  $\leq 31^\circ\text{C}$ , durante o período indutivo

$L < 0$  = indica florescimento

$L > 0$  = indica não florescimento

Em média, os anos com florescimento apresentaram 18 noites com temperatura mínima  $\geq 18^\circ\text{C}$  e 21 dias com temperatura máxima  $\leq 31^\circ\text{C}$ ; os anos sem florescimento apresentaram 7 noites e 13 dias, respectivamente.

A existência de uma temperatura limite superior, sugere que as diferenças entre as temperaturas extremas, durante o ciclo indutivo também tem efeito sobre o florescimento. Em geral, o florescimento é induzido por pequenas diferenças entre temperatura máxima e temperatura mínima, desde que temperatura mínima  $\geq 18^\circ\text{C}$ . De fato, obteve-se: a. nos anos com florescimento, a diferença média de temperatura variou de aproximadamente  $10^\circ\text{C}$  e de  $14^\circ\text{C}$  naqueles sem florescimento; b. a diferença de temperatura variou entre  $3,4$  e  $16,4^\circ\text{C}$  nos anos com florescimento e  $6,2$  e  $22,2^\circ\text{C}$  nos anos sem florescimento; c. os anos com florescimento apresentaram cerca de 90% dos dias com diferenças menores que  $13^\circ\text{C}$  (ou seja, 31 menos  $18^\circ\text{C}$ ), contra 60% nos anos sem florescimento.

### **4.3. Latitude**

Como já dito anteriormente, a latitude exerce forte efeito na intensidade do florescimento. ALEXANDER (1973) elaborou escala para o florescimento da cana-de-açúcar (apesar da dificuldade para tal), propondo o início deste durante o primeiro mês após o equinócio outonal, nas regiões entre  $10$  e  $15^\circ$ , durante o segundo mês entre  $20$  e  $25^\circ$  e durante o terceiro mês entre  $25$  e  $30^\circ$ . Esta correlação positiva entre as menores latitudes e a precocidade da formação da gema floral é realçada por outros autores, que observaram, que no Vietnã em regiões situadas entre  $10$  e  $15^\circ$

LN, a gema floral aparecia mais cedo que no Havaí, a 20° LN e mais cedo ainda que em Formosa, entre 21 e 24° LN.

Já realçamos a importância do comprimento das noites, para indução do florescimento, principalmente aquelas com comprimento de 11 horas e 30 minutos, juntamente com a latitude. Assim, uma cultivar que floresça abundantemente de 10° para 20° L, pode florescer pouco a 30° L e não florescer a 35° L, sendo o fator limitante neste caso o tempo de duração destas noites indutoras. Na África do Sul (30° LS), o florescimento pode ser muito intenso, dependendo da temperatura mínima em março; em Porto Rico (17 - 18° LN), o florescimento é intenso quando a precipitação é normal ou mais elevada, mas o florescimento é baixo quando há um período de seca. No Irã (32° LN), com as diminuições da irrigação, as plantas são submetidas a estresse, o que leva a uma inadequada indução ao florescimento.

#### **4.4. Umidade**

Como pode ser percebido, a existência de um período seco, na época da indução do florescimento, pode prejudicar este processo fisiológico. Evidentemente, a diferença entre as temperaturas extremas é amenizada em períodos chuvosos. O efeito da chuva, sobre o florescimento, tem sido amplamente discutido. Em geral, a deficiência hídrica durante o ciclo indutivo, atrasa e reduz o florescimento. Segundo PEREIRA (1985), durante o período indutivo, os anos com florescimento apresentaram, em média, 200 mm de chuva em 10 dias, contra 65 mm em 6 dias, nos anos sem florescimento. Regiões com florescimento abundante apresentaram, no período indutivo, menor diferença entre as temperaturas extremas, maior precipitação e maior número de dias com chuva.

Logo, uma técnica de sucesso no Havaí é suspender a irrigação de 10 de agosto a 20 de setembro, a fim de se provocar enorme tensão ou estresse hídrico na planta, evitando o florescimento e promovendo aumentos no rendimento em cerca de 10%. Por outro lado, autores

lembram que esta técnica pode, em alguns casos, apresentar alguns problemas, como: a cana-de-açúcar, mesmo em déficit hídrico, pode florescer ou florescer mais tarde ou ainda, não se recuperar devido ao estresse proporcionado pela seca.

#### **4.5. Nutrientes**

Dentre os minerais, deve ser destacado o nitrogênio por seu envolvimento com o florescimento. Altas doses de nitrogênio, alteram a relação carbono/nitrogênio, diminuindo o florescimento. A redução do índice de florescimento é maior quando se combinam altas doses de nitrogênio com déficit hídrico, antes ou após a época crítica de indução do florescimento.

### **5. Efeitos do florescimento na planta**

Este processo fisiológico, possivelmente seja um dos principais problemas da cultura da cana-de-açúcar, variando seu efeito em função da região e da cultivar.

No período do florescimento ocorre diminuição do nível de auxinas, acontecendo translocação de outros hormônios para o meristema apical, modificando-o e transformando-o em gema floral, sendo o período escuro importante para a síntese das substâncias ligadas à formação da flor, tais como o florígeno e a diminuição da concentração de fitocromo vermelho extremo.

A síntese de hormônios indutores do florescimento só ocorre em plantas que atingiram suficiente maturidade para florescer, após o desenvolvimento vegetativo. Estas plantas, expostas à um fotoperíodo indutivo e à temperaturas indutivas, as quais atuando no fitocromo, levam-nas à síntese dos hormônios do florescimento, designado como florígeno.

Outras mudanças fisiológicas acontecem, como mudanças na distribuição da água, redistribuição de nutrientes orgânicos e inorgânicos, diminuição nas reservas de carboidratos em

função da isoporização que aparece após o florescimento e excreção de potássio e nitrogênio pelo sistema radicular.

Normalmente, atribue-se ao florescimento perdas enormes em tonelagem de cana e teor de sacarose; no entanto, alguns resultados são controversos. Assim, STEHEL (1955) admite flutuações nos resultados, embora mostrando que em anos com alto florescimento a sacarose, o Brix, a POL e a pureza são menores que em anos de baixo florescimento. Após a parada do desenvolvimento, causada pelo florescimento, a sacarose é quebrada em glicose e levulose, sendo a brotação lateral o maior problema. Já LOPES-HERNANDEZ (1965) observou que o efeito do florescimento, manifesta-se nos seis entrenós superiores; do sétimo entrenó para baixo a situação seria a mesma em canas florescidas ou não. Nos seis entrenós superiores ocorreu diminuição de 17% no caldo extraído, nas plantas florescidas, embora tenha havido um teor de 6,64% maior de sacarose aparente, embora no final a sacarose tenha sido 5% menor em função do aumento do teor de fibras. Nas canas de maturação passadas ou florescidas, a dextrose excede o conteúdo de levulose, apresentando a sacarose teor mais alto que o seu valor real. Nas canas verdes ou pouco florescidas, o conteúdo de levulose é maior que o da dextrose, apresentando a sacarose verdadeira (real) valores mais elevados que a sacarose aparente. Outros autores observaram a diminuição na produção de açúcar por área, em colmos florescidos.

Apesar de ocorrer diferenças entre cultivares, a isoporização das canas florescidas resulta em diminuição na porcentagem de caldo % de cana, resultante do aumento do teor de fibras e, conseqüentemente, elevando a produção de bagaço. Embora o teor de sacarose do tecido isoporizado (parênquima sem caldo), seja próximo daquele da parte remanescente do colmo, é de difícil extração pelos métodos convencionais.

A diferença comportamental entre cultivares foi diagnosticada por diferentes autores, trabalhando com cultivares de hábito de florescimento no Estado de São Paulo (IAC 48/65; IAC 51/205; IAC 52/150 e NA 56-79). Analisaram-se cinco partes dos colmos, através de amostragens em canas florescidas, não florescidas e em florescimento. Os resultados mostraram diferenças entre as cultivares, podendo ser os prejuízos insignificantes para algumas, sendo as características mais

afetadas o teor de fibras, a porcentagem de caldo e o grau de isoporização. As maiores diferenças foram observadas entre as diferentes partes do colmo, do que entre os diversos estádios da cultura. Em outros experimentos, comparou-se a NA 56-79 com a IAC 4865 e SP 70-1143, utilizando-se iluminação noturna para inibir o florescimento, trabalhando-se com canas florescidas e não florescidas de mesma idade. A NA56-79 praticamente não teve suas características afetadas pelo florescimento, como ocorreu com as demais. Observaram também que as alterações provocadas pelo florescimento não foram tão drásticas, recomendando mudanças no manejo e corte.

A literatura também mostra trabalhos onde o comportamento das plantas florescidas, foi melhor que o das não florescidas. Os autores observaram maiores valores de sacarose, pureza e fibra e menores valores de açúcares redutores nas canas florescidas, quando comparadas às não florescidas (NCO 376), embora o teor de umidade daquelas fosse menor.

Em função do exposto, quais seriam realmente as mudanças para pior, que poderiam ser causadas pelo florescimento? Dessa forma, relacionamos os seguintes fatos:

#### **a. Idade da cultura no período de florescimento**

Como o ápice do colmo se transforma de vegetativo em reprodutivo, haverá paralização do crescimento da cana florescida, ocorrendo que no caso da cana-de-ano (12 meses), o florescimento em junho diminuirá a possibilidade de haver mais entre-nós (apenas cerca de 4) até os meses de setembro, outubro e novembro, épocas em que essa cana é normalmente colhida. Assim, os prejuízos serão bem mais elevados que os causados à cana-de-ano e meio (18 meses), a qual pode ser colhida mais no início da safra; os prejuízos para a cana-de-ano e meio, dependerão de outros fatores, descritos a seguir:

#### **b. Condições climáticas após o florescimento**

Em condições de temperaturas mais amenas, os colmos florescidos tendem a manter por maior tempo suas boas características, como teor de sacarose, etc. Nas regiões de baixas latitudes, a qualidade dos colmos da cana pós-antese cai rapidamente, enquanto que nas regiões de latitude mais elevadas, os colmos sustentam a qualidade por um tempo maior, evidenciando o papel das baixas temperaturas no período pós-florescimento.

#### **c. Secamento do ápice**

De um modo geral, quando o florescimento chega a secar o ápice, acontece a deterioração com prejuízo para a qualidade da matéria-prima.

#### **d. Desenvolvimento de brotação lateral no ápice**

No pós-florescimento, a parte apical pode emitir brotação, sendo tendência geral considerar que esses brotos, vivendo às custas do colmo mãe, poderiam trazer prejuízos à qualidade da

matéria-prima, em função da diminuição das reservas do colmo. No entanto, trabalhos sustentam que, apesar da cana florescida ter perdido suas folhas originais, continuava o acúmulo de carboidratos no colmo, indicando que as folhas dos brotos laterais, além de fotossintetizarem produzindo carboidratos para seu sustento, translocam para o colmo principal. Outros autores sustentam que, uma brotação lateral abundante, pode contribuir para minimizar a deterioração das canas florescidas. Dessa forma, fica evidente que toda e qualquer condição que evite o secamento e posterior deterioração, tem grande valor para diminuir os prejuízos causados pelo florescimento.

#### **e. Grau de isoporização**

Diminui as características tecnológicas dos colmos. Quanto menor for o grau de isoporização, melhor a qualidade do colmo.

### **6. Mecanismo do florescimento em cana -de-açúcar**

Estudos de defoliação da cana, relacionadas ao fotoperíodo crítico e estádios pré-fotoperiódicos da indução floral, focalizam o mecanismo fisiológico do florescimento. Este mecanismo é ativado por uma substância estimulatória, produzida nas folhas em resposta a um fotoperíodo altamente crítico. Os fisiologistas concordam que a fisiologia do florescimento, pela sua complexidade, deve ser estudada basicamente para cada planta, sendo este fato extremamente apropriado para a cana, planta nativa dos trópicos, particularmente sensível à pequenas alterações no fotoperíodo. A cana é mais sensível ao período do escuro do que à duração do dia, sendo considerado PDC ou então “planta de noite longa”, comportando-se desta forma muitas de suas variedades. A cana tem sido selecionada visando seu crescimento e propriedades de açúcar, sendo seu sistema de reprodução vegetativa tão eficiente, que o florescimento não é importante como meio de sobrevivência.

### **6.1. O estímulo indutivo**

A iniciação floral acontece no tecido meristemático vegetativo, consistindo de várias substâncias com atividade hormonal, consistindo este complexo no “florigeno”. Inúmeras questões existem, tais como o mecanismo de síntese desse complexo hormonal, a sequência dos eventos bioquímicos que levam à produção do hormônio, como o fotoperíodo controla esse mecanismo e o transporte ao local de síntese. Para o controle do florescimento na cana, seria importante descobrir as etapas limitantes na síntese hormonal e no seu transporte, visando obter apenas o florescimento quando desejado.

Em cana, a translocação do estímulo floral deve, presumivelmente, envolver flutuações diurnas na saída das lâminas foliares, acúmulo temporário na bainha foliar, movimento através de longo e complicado sistema vascular e fluxo até a base do colmo, antes da sua translocação até o meristema apical. A translocação desse “hormônio floral”, sintetizado nas folhas e translocado até o meristema, tem sido exaustivamente demonstrado, seja através do método da enxertia, da exposição de poucas folhas à um fotoperíodo indutivo ou remoção de folhas depois de receberem o fotoperíodo crítico.

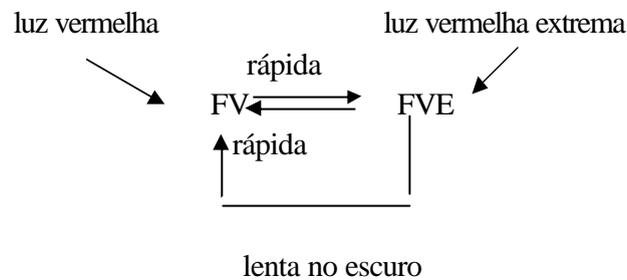
### **6.2. Efeitos da Giberelina**

Giberelina aplicada a uma planta no estágio vegetativo, pode ativar a sua transformação ao estágio floral, estimulando este hormônio o mecanismo indutivo de PDL e de várias espécies que respondem à um período de baixas temperaturas para florescer. Inúmeros trabalhos mostram que GA inibe o florescimento em PDC, citados por ALEXANDER (1973) onde GA a  $100 \text{ mg L}^{-1}$  inibiu o florescimento da cana-de-açúcar. Desta forma, pode-se inferir que GA possui um papel efetivo na indução floral ou no desenvolvimento da cana. Acredita-se que a giberelina endógena seja quantitativamente reduzida, ou seu efeito em estimular o desenvolvimento vegetativo contido, pelas

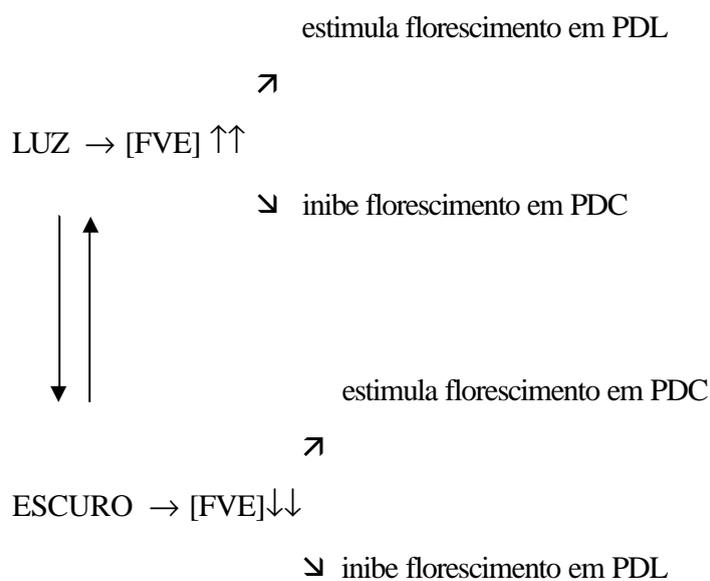
substâncias florais produzidas na fase do florescimento. Isto mostra que o florescimento consiste em trocas no balanço hormonal do meristema apical, de tal forma que este processo só ocorre quando o “florigeno” produzido nas folhas e translocado até o ponto de crescimento, alcance níveis superiores aos hormônios que regulam o crescimento vegetativo.

### 6.3. Efeitos da radiação vermelha e vermelha extrema

O fitocromo está envolvido diretamente com as respostas fotoperiódicas. Normalmente, existem duas formas de fitocromo, uma delas instável, mas fisiologicamente ativa, a forma FVE (fitocromo vermelho extremo) e a forma estável, mas fisiologicamente inativa, a FV (Fitocromo vermelho). Este pigmento encontra-se, normalmente, na forma contrária da radiação que incide em maior concentração. Durante o dia, há maior quantidade de luz vermelha que vermelha extrema, de tal forma que a fisiologia do fitocromo pode ser resumida assim:



Logo, em condições de luz, a forma predominante do fitocromo é a FVE e no escuro, a FV. FV não tem atividade fisiológica em induzir a florescimento, apenas FVE. Logo:



Assim, para a indução do florescimento a cana necessita de baixas concentrações de FVE noturnas, o que é conseguido caso não haja iluminação por luz vermelha ou branca, no período noturno, responsável pela indução, até atingir o número de horas mínima de escuro, em torno de 11:30 horas para a cana. Caso haja qualquer iluminação, a concentração de FVE eleva-se imediatamente, quebrando o estímulo. A radiação vermelha extrema não tem efeito em quebrar a indução, pois caso fosse aplicada apenas diminuiria ainda mais a concentração de FVE, acelerando o estímulo.

Há correlação entre níveis de GA e o fitocromo. Assim, em condições de dias longos, os níveis de GA são altos bem como de FVE, levando à inibição do florescimento da cana. Em condições de dias curtos, há baixos níveis de GA, acompanhado por baixas concentrações de FVE, conseguidas nas noites longas que acompanham os dias curtos. Logo, GA pode inibir o florescimento da cana, ao mesmo tempo que estimula seu crescimento vegetativo.

#### **6.4. Estabilidade do estímulo floral**

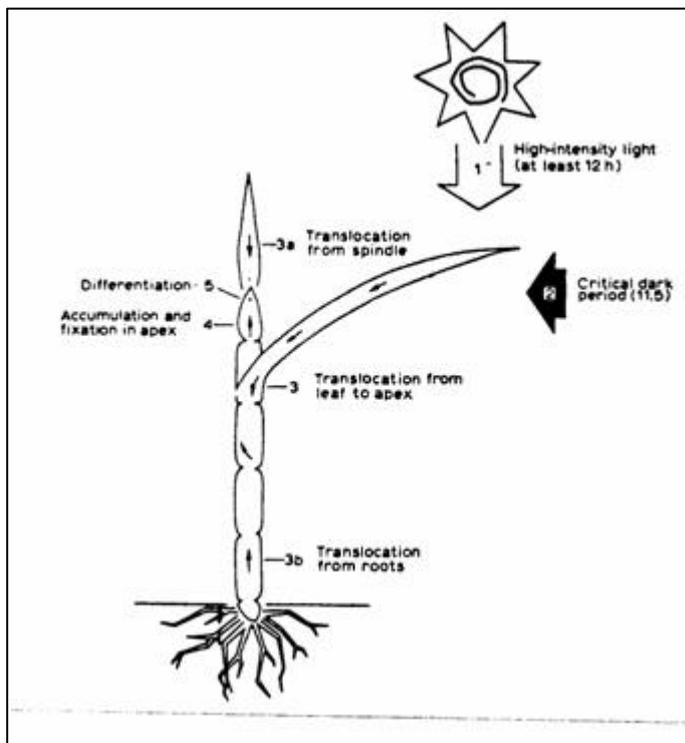
Uma etapa importante no processo do florescimento é a produção e acúmulo de um “estímulo estabilizado”. Este estímulo é um complexo hormonal, que promove o florescimento, produzido nas folhas e translocado ao meristema apical, onde sua estabilidade permite acúmulo a um nível crítico indutivo.

#### **6.5. Sumário do mecanismo de florescimento da cana-de-açúcar**

O conhecimento preciso do hormônio do florescimento, florígeno, ou seja suas propriedades físicas e químicas, sua síntese, modo de ação, ainda intriga os fisiologistas, tanto para PDC e PDL. Poucos dedicam-se ao estudo deste fenômeno na cana-de-açúcar, apesar que o processo do

florescimento foi sumariamente esquematizado onde, em essência, este esquema descreve a produção de muitas substâncias, as quais são translocadas e juntas iniciam o estímulo floral em diversas etapas.

- 1) A cana planta inicialmente adquire maturidade suficiente para florescer, sendo então exposta a um fotoperíodo indutivo e à temperaturas indutivas. O processo, especificamente, se inicia na percepção pelas folhas de dias de comprimento mínimo de 12 horas. Esta etapa continua nas folhas, as quais agora reconhecem o fotoperíodo correto, resultando que muitas substâncias se acumulam a um nível mínimo crítico, requerido para o sucesso das reações subsequentes de escuro;
- 2) A segunda etapa também processa-se nas folhas, requerendo especificamente uma noite indutiva de no mínimo 11 horas e 30 minutos. Neste processo no escuro, ocorre a conversão do fitocromo da forma ativa (FVE) à forma inativa (FV), ocorrendo ainda a produção de outra substância a qual pode ser translocada do meristema apical, o denominado “florigeno” ou então “estímulo estável”;



**Figura 10.** Representação esquemática dos processos de florescimento em cana-de-açúcar.

- 3) A terceira etapa envolve translocação do “florigeno” ao meristema apical, pelo caminho usado pelo transporte de sacarose. Esta translocação ocorre na luz e no escuro, provavelmente requerendo luz para o máximo de velocidade de transporte;
- 4) A quarta etapa é crítica, mas vagamente conhecida. Por dias há acúmulo de “florigeno” ou a síntese de outras substâncias no meristema apical, até que um nível crítico de substâncias de florescimento seja alcançado. Neste ponto, são essenciais a maturidade fisiológica e um alongamento do meristema, indicando ser necessária uma pré-condição bioquímica para a recepção do estímulo, cujas reações são desconhecidas. Há evidências tácitas que podem incluir taxas abundantemente altas de invertase e alta atividade de enzimas hidrolíticas. O estímulo recebido das folhas (florigeno) mais substâncias produzidas no meristema, acredita-se, acumulam em uma forma estável a qual, quantitativamente, determina a extensão da indução floral, uma vez ultrapassado o nível mínimo crítico. É proposto ainda, neste estágio, um estímulo adicional, crítico para a indução floral, recebido das raízes.
- 5) A quinta etapa envolve a diferenciação do primórdio floral, sendo o primeiro ponto onde pode ser visível o processo do florescimento.

## **7. Controle do florescimento**

Inúmeros métodos tem sido utilizados, visando controlar o florescimento, desde a interrupção do período escuro por iluminação artificial, passando por controle de temperatura, suspensão da irrigação, defoliação mecânica e pulverização de substâncias químicas. Qualquer destes métodos pode ter sucesso, suprimindo o florescimento, desde que aplicado durante o período crítico da indução floral. Destes métodos, os mais práticos são o controle hídrico e o uso de reguladores vegetais. O controle da florescência da cana-de-açúcar é importante, pois esta pode reduzir significativamente a produção de colmos e a qualidade dos colmos produzidos. Quando a

florescência ocorre de 4 a 18 meses antes da colheita, poderá comprometer a produtividade, podendo ser associada com uma redução na sacarose produzida por unidade de cana colhida. A florescência da cana-de-açúcar também pode ser reduzida, pela utilização de cultivares com baixo potencial de florescência e utilização de cultivares com alto potencial de florescência somente em lugares mais altos e mais frios.

### **7.1. Controle do florescimento por estresse hídrico**

Este item já foi por nós abordado, dentro dos fatores que afetam a inflorescência. Voltemos rapidamente a este assunto, pois muitos autores concordam que o controle da água, durante o período crítico da indução floral, é uma forma bastante prática de interromper a floração em cultivares comerciais, por ser este estágio da fisiologia da cana bastante sensível ao estresse hídrico. Por outro lado, as diferenças entre as temperaturas extremas é amenizada em períodos chuvosos. A suspensão da irrigação, no período indutivo do florescimento em cana-de-açúcar inibe a floração. Passado o período indutivo, a água sendo novamente fornecida, a planta retoma o crescimento vegetativo. No entanto, a prevenção do florescimento pelo manejo da água só pode ser utilizado em regiões onde ocorrem verões e outonos pouco chuvosos, o que pode tornar este método impraticável em muitas regiões. Por último, o estresse hídrico deve ser imposto durante os três meses anteriores à indução floral.

### **7.2. Controle do florescimento por reguladores vegetais**

Evitar a iniciação floral através da aplicação de reguladores químicos, pode ser de interesse econômico em diversas regiões do Brasil, onde cultivares com alto potencial de inflorescência estão sendo plantados em áreas de baixa altitude, sem irrigação e dependentes da precipitação local.

O controle do florescimento por reguladores vegetais, baseia-se no conhecimento de que o estímulo para este processo é produzido nas folhas, podendo ser suprimido, durante a fase crítica de indução. Dessa forma, o florescimento não ocorre e o crescimento vegetativo retorna à normalidade, após breve período de suspensão. As folhas jovens, situadas na área do ápice, são altamente sensíveis à percepção do estímulo fotoperiódico. A remoção dessas folhas, no período de indução do florescimento, fará com que a cana permaneça vegetativa. O tratamento deverá ser efetuado durante um intervalo crítico de duas semanas, sendo as datas exatas determinadas pela latitude.

Vários compostos foram e estão sendo utilizados no controle do florescimento. Inicialmente, utilizou-se NAA (ácido naftaleno-acético), nitrato de cobalto, catecol, hidroquinona e pentaclorofenol na Índia, sendo os melhores resultados obtidos com o pentaclorofenol. Os outros reguladores vegetais inibiram o florescimento em 30 a 60%, sendo que múltiplas aplicações foram mais efetivas que uma única aplicação. Entretanto, foi deficiente o contato entre os produtos e as folhas, ocorrendo melhora na qualidade do caldo.

No Havaí obtiveram sucesso, além do pentaclorofenol (o mais efetivo), CMU [3-(p-clorofenil)-1,1-dimetiluréia], hidrazida maleica (MH) e NAA. Estes produtos, à exceção da MH, destroem o tecido foliar por ação fitotóxica, reduzindo o florescimento, com resultados comparáveis à defoliação mecânica. MH é ativa como retardante de crescimento.

Em outros trabalhos no Havaí, NAA mostrou-se menos efetivo que a MH em inibir o florescimento. MH + GA proporcionaram total inibição do florescimento na Austrália, sendo que nenhum dos dois reguladores inibiu o florescimento quando aplicados sózinhos.

Em Porto Rico, GA mostrou-se altamente eficiente em prevenir o florescimento, quando aplicado antes do período crítico de indução, dando quase 100% de inibição, melhorando a tonelagem da cana e a qualidade.

Desta forma, mais recentemente diversos produtos químicos tem-se mostrado promissores para o controle da iniciação floral da cana-de-açúcar, revelando-se os mais eficientes hidrazida maleica (6-hidroxi-3-(2H)piridazinone), Monuron (3-p-clorofenil-1,1-dimetiluréia), Diuron [3-(3,4-diclorofenil)-1,1-dimetiluréia], Paraquat (1,1-dimetil-4,4-bipiridílio) e Diquat (1,1-etileno-2,2-

bipiridílio). Destes, Diquat tornou-se o produto mais amplamente utilizado como inibidor químico da florescência no Havaí. A eficiência do Diquat é estritamente dependente da data de aplicação, porque os diferentes cultivares de cana-de-açúcar apresentam diferenciação floral em datas distintas. Aplicações realizadas uma semana antes ou depois da data ideal, mostram eficiência abaixo de 50% com relação à aplicação no momento ótimo. Diquat tem-se mostrado somente parcialmente eficiente em evitar a florescência da cana-de-açúcar, tendo causado danos relativamente extensos ao dossel da cultura da cana, por um período de três meses. Ensaio visando promover a maturação da cana-de-açúcar com ethephon [(ácido 2-cloroetil)fosfônico], mostraram a inibição da emergência da inflorescência da cana. Verificou-se que em condições de campo, este regulador que libera etileno em contato com o tecido vegetal, era capaz de suprimir o desenvolvimento da gema floral.

Experimento realizado no Havaí comparando Ethephon e Diquat, nos cultivares H 70-0144, H 61-1721 e H 62-4761 em quatro localidades e três épocas de aplicação, mostrou ser o ethephon mais eficiente que o Diquat no controle da florescência da cana, apesar da eficiência desses produtos químicos depender do local e da data de aplicação. Certas épocas de aplicação e a necessidade de diversas pulverizações, podem apresentar desvantagens, devido à ocorrência de condições climáticas adversas e à limitada disponibilidade do equipamento de aplicação durante o curto período de indução floral da cana-de-açúcar. Atualmente, estabeleceu-se ter o Ethephon mais potencial que o Diquat, no controle da florescência da cana-de-açúcar, visto ser mais eficiente em um amplo espectro de datas para o controle floral e não atuar como um dessecante do dossel da cultura da cana-de-açúcar.

Aplicações realizadas por via aérea em algumas regiões do Estado de São Paulo, em meados de fevereiro de 1982, mostraram que o Ethephon na dosagem de 2 l/ha, evitou o florescimento da cana tratada em um ano de grande florescimento. Observou-se também que o regulador vegetal reduziu o crescimento dos entrenós do colmo desenvolvidos na época de pulverização, sendo que os entrenós formados posteriormente retomaram o crescimento normal. As plantas, apesar de mais baixas, mostraram que os colmos aproveitáveis atingiram maior proporção na planta, ocorrendo descarte de uma menor região apical (palmito). Verificou-se que as plantas

tratadas com ethephon, apresentaram menor proporção de parênquima sem caldo (isopor), mesmo quando ocasionalmente florescem.

Trabalho realizado em Piracicaba (SP), testando Diquat e MH no controle da florescência da cana-de-açúcar, cultivar RB 78-5148, mostrou que o Diquat a 2 l/ha inibiu totalmente a florescência, sendo MH menos eficiente.

Outros reguladores vegetais têm ação na inibição do florescimento como o etil-trinexapac, sulfometuron-metil, etc., estando estes efeitos abordados no capítulo sobre maturação, dentro da ação dos maturadores de cana-de-açúcar.

## **8. Maturação da cana-de-açúcar**

### **8.1. Generalidades**

Desde os primeiros meses de crescimento e desenvolvimento da cana, o armazenamento do açúcar se processa paulatinamente, nos entrenós completamente desenvolvidos da base do colmo. O acúmulo máximo de sacarose só ocorre, quando a planta encontra condições restritivas ao seu crescimento, sendo o processo de acúmulo total de açúcares, comumente descrito como amadurecimento.

A cana-de-açúcar poderá estar com alto teor de açúcar com apenas alguns meses de idade, bastando para isso ausência de água, nutrientes e outros fatores necessários ao seu desenvolvimento, não significando este fato que ele estará fisiologicamente madura, isto é, em ponto de colheita. Desta forma, apenas idade adulta não significa maturação total.

A maioria dos cultivares modernos tende a amadurecer e alcançar o máximo de maturação em apenas 2 a 4 meses após o início da safra. Este fato, explica parte do interesse generalizado em aplicar agentes amadurecedores, reguladores vegetais e várias práticas culturais, como corte do topo

(desponte), regulagem de água, programa de fertilização, visando antecipar a maturação ou melhorar a situação normal.

Muitas vezes, o excesso de fertilizantes, visando a aumentar a produção, retarda a maturação, favorecendo o excesso de crescimento vegetativo. O excesso de nitrogênio disponível na colheita, é a primeira causa do baixo conteúdo de sacarose. O clima é outro fator que afeta e muito a maturação. Como regra geral, cada cultivar ao alcançar a maturação máxima deve ser colhida, caso contrário seu teor de sacarose declinará.

A maturação da cana é definida pelos fisiologistas, como um estágio senescente, entre o crescimento rápido e a morte final da planta. Somente os entrenós imaturos das folhas verdes e os entrenós superamadurecidos da base (com alto conteúdo de fibra), não retém apreciável quantidade de açúcar. Cada entrenó acumula seu próprio açúcar, sendo os valores de sacarose mais elevados na direção do centro do colmo, declinando no sentido das pontas. Essas diferenças se acentuam mais nos entrenós mais jovens, refletindo provavelmente uma distribuição diferente de invertase, onde o meristema intercalar (anel de crescimento) contém muito mais invertase do que os tecidos centrais do entrenó.

Portanto, maturação é a última fase dos processos fisiológicos da planta. A primeira fase, a síntese de açúcares e sua translocação, termina na ocasião em que ocorre queda da folha; a segunda, envolve todos os processos relacionados com o acúmulo de açúcares nos entrenós expandidos. Entretanto, em nenhuma ocasião, o processo de maturação fica divorciados dos fatores varietais, culturais e ecológicos que influenciam o primeiro período de vida das plantas. Nesse período crucial (primeiros meses de idade da cana), análises de tecido mostraram altos conteúdos de nitrogênio e água, níveis elevados de enzimas, de auxinas e GA endógenas no meristema do tecido de armazenamento imaturo, muita sacarose invertida e numerosos compostos intermediários da fotossíntese e respiração. A atividade respiratória é alta, há rápida absorção e transpiração de água, com absorção e circulação de nutrientes. A sacarose é rapidamente sintetizada e estocada e, com igual rapidez, retirada do armazenamento para ser metabolizada para a formação dos tecidos novos

da planta. As células parenquimáticas de armazenamento (colmos), nesse período são grandes com paredes delgadas e hidratadas.

Cada entrenó, de forma sucessiva, completa seu próprio ciclo vegetativo, que inclui: o engrossamento e alongamento das células da parede, aumento sensível da matéria seca, gradual desidratação, aumento e retenção da sacarose acumulada e diminuição do grau de alongamento, as folhas se desprendendo do colmo e caindo, findando a primeira fase. A segunda fase é regulada por cultivares, solos e aspectos ecofisiológicos, podendo os produtores manipular o nitrogênio e a irrigação, visando melhorar a maturação. Em regiões úmidas, não irrigadas, havendo abundante precipitação, o produtor deve dedicar sua maior atenção ao uso de fertilizantes e reguladores vegetais, buscando melhor qualidade de maturação.

Idade não é sinônimo de maturidade. Após a planta ultrapassar certo número de meses, tenderá a exaurir a maior parte do seu nitrogênio disponível, diminuindo a água em regiões secas. No entanto, se água e nitrogênio permanecerem abundantes, a planta não amadurecerá, no sentido lato da palavra. Assim, depois de inúmeros trabalhos referentes ao transporte, acúmulo de açúcar no colmo e aos fatores de influência, pode-se concluir genericamente:

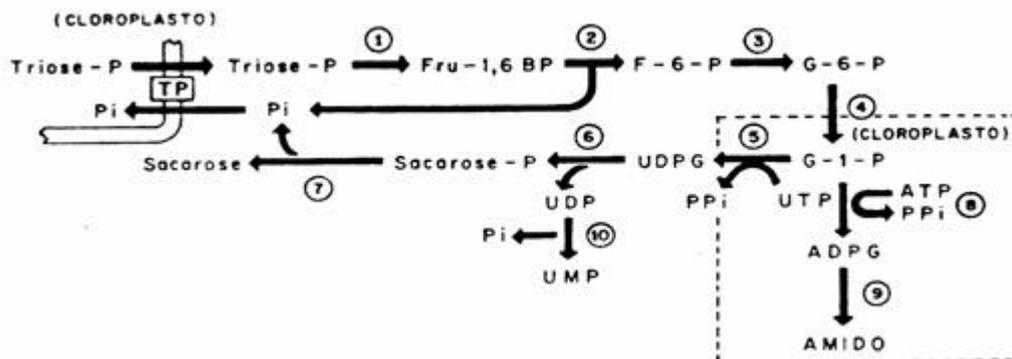
- a. A sacarose é o componente principal translocado na cana-de-açúcar;
- b. A sacarose sintetizada na folha é rapidamente translocada para a bainha e depois para o colmo;
- c. Parte da sacarose chega às raízes e sobe para os brotos ladrões; no entanto, a maior parte é armazenada no colmo de moagem;
- d. A velocidade de transporte da sacarose varia de 1 a 2 cm/minuto;
- e. Em deficiência de nitrogênio, fósforo, potássio e boro a velocidade de transporte da sacarose diminui consideravelmente;
- f. A elevação da temperatura do ar e das raízes, aumenta a quantidade de sacarose existente e transportada.

## 8.2. Síntese, translocação e acúmulo de sacarose

O processo de maturação da cana-de-açúcar, envolve um sistema metabólico complexo, que se inicia com a atividade fotossintética nos cloroplastos das células das folhas, culminando com o acúmulo de carboidratos fotossintetizados, principalmente sacarose, nos colmos. A capacidade de acúmulo dos compostos de carbono produzidos nas folhas é definida geneticamente, sendo importante parâmetro discriminatório do potencial produtivo dos diferentes cultivares.

Durante a fotossíntese, parte da sacarose produzida a partir de trioses-fosfatos transportadas do cloroplasto para o citossol é exportada nas folhas, principalmente nos vacúolos. Parte do carbono assimilado na fotossíntese é transformado em amido, no cloroplasto. Em condições específicas, o amido e a sacarose armazenadas são imobilizadas como sacarose exportável e para consumo na respiração. O fracionamento do carbono entre amido e sacarose nas folhas, constituem dois fatores que afetam o crescimento das partes aéreas em relação às raízes e entre os diferentes órgãos vegetativos e reprodutivos, como as folhas e os frutos em desenvolvimento. A desfolha de folhas maduras diminui a demanda dos drenos de consumo, provocando o acúmulo de amido nas folhas remanescentes, ao contrário da sacarose, cuja concentração cai.

A sequência de eventos que resulta na formação de amido ou sacarose, envolve sistemas metabólicos que ocorrem nos cloroplastos e no citoplasma, ligados pelos “transportadores de fosfato” localizados nas membranas dos cloroplastos. As trioses-fosfatos, produzidas como intermediárias do ciclo reutivo do carbono (ciclo de Calvin-Benson), que ocorre no estroma dos cloroplastos, são transportadas para o citoplasma em troca com fosfato inorgânico (Figura 12).



**Figura 12.** Síntese de sacarose a partir de triose-fosfato. Mecanismo de fracionamento de compostos de carbono para a síntese de sacarose e amido.

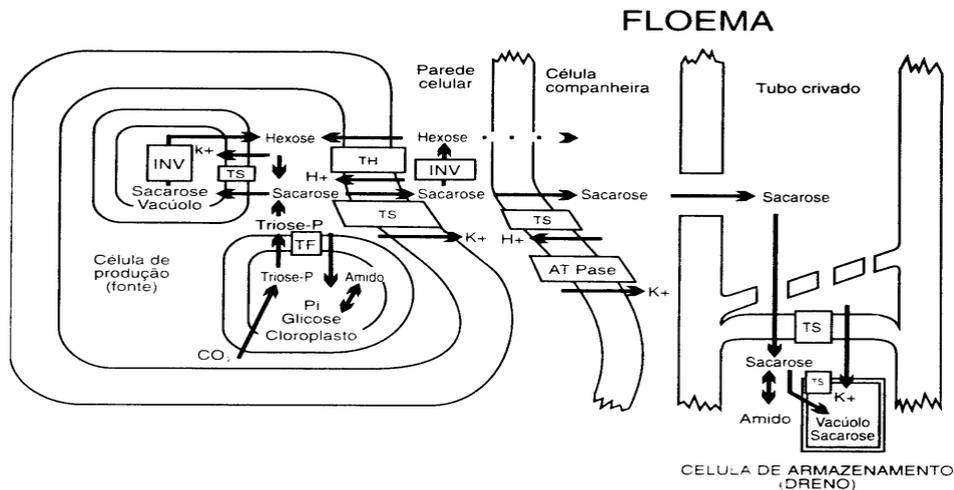
As etapas principais do controle da síntese de sacarose e, conseqüentemente, da produção de amido nas folhas, localizam-se nas reações catalizadas pelas enzimas sacarose fosfato sintetase (SPS) e frutose-1,6-difosfatase (FBPase). Ocorrendo pouca utilização de sacarose no tecido esta se acumula, inibindo a SPS, causando aumento da concentração de frutose-6-fosfato (F-6-P), o que induz à formação de frutose-2,6-bifosfato, potente inibidor da FBPase. Esta forma de frutose-fosfato, análoga à frutose-1,6-bifosfato, concentra-se no citoplasma, sendo sua ação inibitória à fosfatase causa de acúmulo de triose-fosfato e diminuição da concentração de fosfato inorgânico no citoplasma, impedindo o funcionamento do sistema transportador e a remoção de triose-P do cloroplasto. Desta forma, ocorrerá a alocação do carbono assimilado para a formação de amido. O acúmulo deste na folha, não deve ser considerado um processo que utiliza carbono fixado em excesso pela fotossíntese, mas sim que o carbono utilizado para a formação de sacarose ou de amido, parece ser controlado, ao menos parcialmente, pela síntese de sacarose.

A transferência da sacarose, das células do mesofilo para o floema, envolve a passagem através do plasmalema e da parede celular, envolvendo um “transportador de sacarose” que atua em

associação com o transporte de potássio, dependente de energia metabólica. O carregamento de sacarose para as células companheiras do floema é realizado por um sistema de co-transporte com íons hidrogênio, os quais induzem a formação do gradiente eletroquímico necessário, para a geração de energia no sistema ATPase da membrana. Este mecanismo, funciona eficientemente sob condições de baixas concentrações de sacarose na parede celular, ocorrendo o transporte para o floema contra um gradiente de concentração. KURSANOV (1984), citado por MAGALHÃES (1987), diz que sempre que a concentração de sacarose no apoplasto atingir níveis incompatíveis com o funcionamento dos transportadores de sacarose, a enzima invertase ácida, presente na parede celular é ativada, atuando na reação de hidrólise e transformando sacarose em hexoses. Estas hexoses são transportadas de volta às células do mesofilo, sendo novamente convertidas à sacarose. A reciclagem da sacarose, entre o apoplasto e o simplasto, mantém a concentração deste açúcar na parede celular, visando o eficiente funcionamento dos transportadores de sacarose. Uma vez dentro das células companheiras, a transferência da sacarose para os tubos do floema é feita, de maneira preferencial, através dos plasmodesmos, a favor de um gradiente de concentração. Todo este processo até aqui descrito, ocorre na chamada “fonte”, ou seja o local de produção de carboidratos, de onde serão translocados para os locais de consumo ou armazenamento, os chamados “drenos”.

Dessa forma, após a sacarose chegar ao floema da fonte, por este sistema vascular caminhará até ao floema do dreno. Este movimento ocorre por diferentes mecanismos, passivos e ativos. Estes, os ativos exigem energia metabólica, estando principalmente localizados nas zonas das placas crivadas. O grande fluxo do floema, no entanto, é formado por um gradiente de pressão de turgor entre as células do floema fonte e as do floema dreno, possuindo as do floema fonte maior pressão que as do floema dreno. Essa diferença de pressão estabelece-se, pelo contínuo carregamento do floema na fonte e descontínuo descarregamento do floema no dreno. O carregamento do floema fonte aumenta a sua concentração de sacarose, diminuindo o potencial osmótico de suas células, provocando a entrada de água e o aumento da turgescência; o aumento da pressão sobre o plasmalema causa deformação reversível de proteínas carregadoras de sacarose, o que impediria o enchimento total dos vasos (MAGALHÃES, 1987).

Dessa forma, a sacarose se movimenta no floema por fluxo de massa, até atingir a célula dreno, onde sofre descarregamento ativo para o interior do vacúolo de uma célula do parênquima no colmo (Figura 13).



**Figura 13.** Mecanismos de controle das relações fonte-dreno para o transporte de sacarose na planta.

Portanto, ao sair do floema, a sacarose sofre inúmeras transformações, antes de ser armazenada no vacúolo. Essas transformações iniciam-se nos espaços externos do tecido parenquimatoso, onde a sacarose é transformada em glicose e frutose, pela ação da invertase. Essas hexoses penetrarão no citoplasma das células do parênquima do colmo, fora do vacúolo, por um processo de difusão. No citoplasma, as reações são mais complexas, devido ao fato das hexoses serem muito reativas e sofrerem processos rápidos de interconversão e fosforilação. SUZUKI (1982) cita que várias enzimas participam dessas reações, como: hexoquinases (fosforilação da glicose e frutose); fosfohexose isomerase (interconversão de glicose-6-P e frutose-6-P), UDPG frutose-6-P transglicosidase (síntese de sacarose e sacarose-P), numerosas fosfatases não específicas e uma sacarose-P, além de auxinas que controlam o sistema.

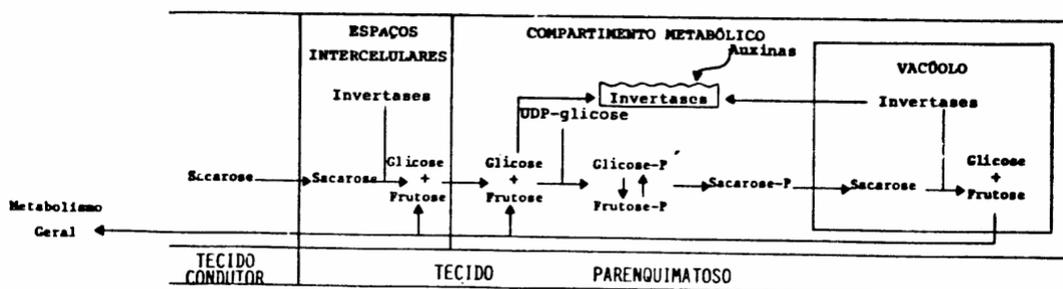
Ao contrário da penetração das hexoses no citoplasma, para penetrar no vacúolo a sacarose tem que ser ativada (sacarose-P), onde a quebra da ligação fosfato fornece energia para a

sacarose penetrar no vacúolo, onde é acumulada. Como a concentração de sacarose é elevada no espaço interno (vacúolo), a absorção passiva não se processa, não entrando pois sacarose livre.

Segundo CASAGRANDE (1991), o mecanismo de acúmulo de sacarose é o mesmo, tanto em tecidos imaturos como em adultos, ocorrendo: a. hidrólise da sacarose, como um pré-requisito e limitante da primeira etapa; b. formação e interconversão de hexosesfosfatos; c. formação de moléculas análogas à sacarose (talvez, sacarose-P) e d. acúmulo de parte da sacarose no vacúolo. Todavia, algumas diferenças entre o acúmulo nesses dois tecidos acontecem, como a presença de reguladores vegetais e a ação das invertases. Nos tecidos imaturos, onde predomina a rápida expansão celular, a sacarose acumulada é rapidamente hidrolizada pela invertase ácida vacuolar, movendo-se as hexoses resultantes rapidamente para o citoplasma, onde são utilizadas no crescimento e desenvolvimento celular (respiração, síntese de moléculas orgânicas, etc.). Plantas adultas, em fase de maturação, ocorre aumento da ação da invertase neutra ou alcalina (com atividade máxima em pH 7,0), havendo correlação entre o nível de atividade desta enzima e a concentração de hexoses. A atividade quase nula da invertase ácida vacuolar, indica que está ocorrendo acúmulo efetivo de sacarose.

Logo, durante a maturação, há declínio na atividade da invertase ácida dos espaços intercelulares (apoplasto), baixa atividade de invertase ácida do citoplasma e atividade quase nula de invertase ácida vacuolar. No caso dos tecidos em crescimento, a invertase ácida do apoplasto é secretada durante a formação das células, na região meristemática. À medida que as células se distanciam dessa região, alongam-se com maior concentração de sacarose, atingindo o processo de maturação. A quantidade de sacarose depende da quantidade de invertase ácida secretada do apoplasto do tecido parenquimático, pois nesta fase nenhuma enzima mais é secretada. Nas células adultas ou maduras, o que encontramos nas paredes celulares (apoplasto) seriam invertases ácidas insolúveis. Em função do exposto, percebe-se ser a maturação consequência de uma cinética de invertases, sendo importante pois entender a troca de invertases ácidas por invertases alcalinas ou neutras. Para SUZUKI (1982), a frutose é um inibidor competitivo da invertase ácida e altas concentrações de sacarose podem suprimir, parcial ou completamente, a ação da invertase ácida.

Neste caso, a função passaria a ser gradativamente efetuada pela invertase alcalina, indicando maturidade e a preparação do tecido para o acúmulo de sacarose. Dessa maneira, as enzimas invertases dirigem os carboidratos para o crescimento da planta ou para o acúmulo dos mesmos nos vacúolos, onde o aumento da sua concentração vai proporcionar o amadurecimento ou maturação dos colmos, a qual ocorre quando a cultura apresentar a melhor produtividade qualitativa e quantitativa de açúcares (Figura 14).



**Figura 14.** Representação esquemática do ciclo da sacarose e hexoses e acúmulo de sacarose no tecido condutor e parenquimático.

### 8.3. Fatores que interferem na maturação

#### Água

Observou-se diferentes respostas à suscetibilidade e resistência de cultivares, para um dado potencial de água no solo. Sugere-se que maior atenção deva ser dada ao potencial água da planta e sua relação com o crescimento. Em termos gerais, o regime de água mais eficiente em promover o amadurecimento da cana é aquele que apresenta maior restrição ao crescimento, embora mantendo um suprimento líquido suficiente para síntese, transporte e armazenamento do açúcar. Estudos antigos mostraram que a fotossíntese não era interrompida em folhas murchas de cana, embora esta

se realizasse em nível inferior àquele de folhas com suprimento de água adequado. Em outro trabalho com suprimento variável de água, observou-se: a. aumento dos açúcares redutores na lâmina foliar e na bainha e diminuição desses açúcares nos colmos, nas plantas deficientes em água; b. sacarose e polissacarídeos elevam-se em folhas de plantas deficientes em água e c. síntese de outros polissacarídeos além do amido em folhas, bainhas e colmos imaturos. Conclui-se que plantas não deficientes em água, aumentam a taxa fotossintética e o transporte de açúcares, direcionando-os para o crescimento.

Estudos incluindo a análise de enzimas, num dos primeiros esforços para tentar definir o mecanismo de controle da água sobre o nível de carboidratos, mostraram que plantas com adequado suprimento de água e iluminadas, continham mais sacarose nas folhas e menos sacarose armazenada nos colmos, do que aquelas cultivadas em deficiência hídrica. Colmos obtidos de folhas verdes e folhas secas continham maior conteúdo de sacarose, em condições de baixo suprimento de água. O autor reconheceu que a folha seca da cana havia sido formada antes das variações da água terem se iniciado, devendo-se o maior conteúdo de sacarose ao seu acúmulo, pois não foi utilizada para a respiração e o crescimento.

No entanto, água abundante é essencial para a síntese de sacarose nas folhas, para a translocação dessa sacarose para o colmo e ótima qualidade do caldo na extração. A fotossíntese, em taxa reduzida, continua em plantas sob déficit hídrico; embora produzindo menos açúcar, mais foi armazenado nos colmos, devido à sua pequena utilidade fisiológica. O aumento da sacarose não foi economicamente importante, devido à sua dificuldade de extração e também devido à sua menor tonelagem, em função das restrições de crescimento.

Inúmeros pesquisadores confirmaram que diferença hídrica é restritiva à fotossíntese. Entretanto, demonstrou-se que déficit hídrico, dentro de certos limites, poderia prejudicar pouco a fotossíntese quando comparada com a translocação de açúcares. A diminuição na velocidade do transporte, leva a melhorar as condições de armazenamento, por haver mais tempo para o acúmulo de sacarose. Ocorre menos sacarose hidrolizada em trânsito sob estresse hídrico, além de maior quantidade de sacarose útil para o armazenamento, por causa do reduzido crescimento. Em função

dos dados, conclui-se que se o déficit hídrico não for tão limitante a ponto de prejudicar a fotossíntese, não há argumento fisiológico contrário ao corte da água para a obtenção da maturação. A suspensão da água para promover a maturação, permanece uma prática aceitável até o momento, podendo ser facilmente utilizável pelo produtor que deve, sempre que possível, colher mecanicamente e remover o “palmito”, evitando as perdas decorrentes do menor crescimento e perdas de açúcar, em função de restrição hídrica. A manutenção do fornecimento de água, ao tempo da colheita, ocasionará na continuação de luxuriante crescimento, com as implicações fisiológicas decorrentes, já amplamente discutidas.

Experimento realizado com baixos potenciais de água (déficit hídrico) e elevados potenciais (excesso de água), mostrou que os efeitos são parecidos, com murchamento das folhas, secamento das bainhas, amarelecimento extenso das folhas e parada do crescimento. No entanto, esses mesmos tratamentos, falta e excesso de água, mais a aplicação de GA a 100 ppm, via foliar, mantém o crescimento ativo com o consequente aumento do peso fresco.

#### **8.4. Nitrogênio**

Efeito prejudicial do nitrogênio contra o amadurecimento em cana de ano, pode ocorrer quando: a. estímulo do crescimento pelo nitrogênio residual, em função da irrigação tardia; b. aplicação pesadas ou tardias de nitrogênio, em relação à estação de crescimento e c. período chuvoso desfavorável, impedindo a utilização do nitrogênio na época correta e atrasando sua utilização tardia. Normalmente, o uso excessivo de nitrogênio ocorre, onde os produtores recebem por tonelada de cana produzida, sem considerar a concentração de sacarose. Já nas regiões onde os produtores recebem pelo teor de sacarose do colmo, o uso desse nutriente pode ser abaixo do recomendável. Outros autores posicionaram-se contra o tratamento com nitrogênio, em regiões com pouca necessidade ou então altas aplicações de nitrogênio, onde quantidades moderadas são necessárias. Trabalhos indicam que em cana de 12 meses, a aplicação nitrogenada deve ocorrer dentro dos dois primeiros meses. Nitrogênio disponível em excesso, na época da colheita é a maior

causa de cana-de-açúcar de baixa qualidade, em termos de conteúdo de sacarose, devido ao seu crescimento exagerado, que dificulta o acúmulo de sacarose nos vacúolos dos colmos. Experimentos realizados na Índia e Venezuela, mostraram que o nitrogênio poderia ser aplicado dentro dos primeiros três meses, de uma cultura com doze, para atingir a máxima produção de sacarose. Portanto, a aplicação de nitrogênio deve ser precoce, não esquecendo que as plantas jovens não possuem sistema radicular completamente desenvolvido, sendo necessárias doses mais elevadas de nitrogênio, para manter o desenvolvimento da cultura. Em Porto Rico, consegue-se a melhora da maturação pela aplicação de todo o nitrogênio no plantio, ou quando cana-soca, o mais cedo possível logo após a colheita. Somente para solos arenosos, com lixiviação severa, admite-se o parcelamento do nitrogênio. As transformações e reações metabólicas que o nitrogênio promove, requerem energia, provenientes principalmente dos açúcares fotossintetizantes. Além disso, a assimilação da amônia e a redução do nitrato, competem com a assimilação do CO<sub>2</sub> no consumo de compostos energéticos e de transferência de elétrons. Logo, enquanto ocorrer crescimento, haverá menor aumento de sacarose nos colmos.

### **8.5. Potássio**

Potássio tem se mostrado um elemento de entendimento difícil, tanto para os fisiologistas como para os produtores. Uma série de dados, parecem indicar a ação do potássio em alguma função, altamente especializada do transporte e acúmulo da sacarose, em níveis totalmente independentes dos encontrados na folha e na bainha foliar. Em Porto Rico, a omissão de potássio reduziu o conteúdo de sacarose na cana.

A ação bioquímica do K<sup>+</sup> na cana-de-açúcar permanece objeto de conjecturas, embora não possa ser descartada a ação do K<sup>+</sup> no metabolismo de hexoses e transporte de sacarose. Foi estabelecida relação entre o nível de potássio e a síntese protéica nas folhas e nos colmos, bem como diminuição da fotossíntese em plantas deficientes desse elemento. Há relatos da influência direta e indireta do potássio, no transporte de sacarose em cana-de-açúcar. Indiretamente, a

deficiência de potássio pode afetar o movimento de sacarose devido à sua influência no crescimento, fotossíntese ou teor de umidade. A teoria eletro-osmótica de Spanner, mostra claramente como a deficiência de potássio pode reduzir drasticamente a translocação de sacarose no floema. Assim, o movimento da sacarose da folha para o colmo, foi marcadamente diminuído pela deficiência de potássio. Este efeito foi detectado em folhas, com sintomas de deficiências ainda não visíveis ou com alterações na atividade fotossintética. Severa deficiência de potássio produziu aumento na respiração foliar, diminuição na fotossíntese e na conversão de açúcares intermediários à sacarose, todos esses efeitos adicionados à restrição no transporte de açúcares. Concluindo, o efeito do baixo suprimento do potássio afeta primeiramente o transporte de sacarose. Também não podemos nos esquecer da importância do potássio em manter o turgor celular, participando do processo de abertura estomática, fundamental para a captação do CO<sub>2</sub>. Logo, deficiência de K<sup>+</sup> leva à fechamento dos estômatos, menor entrada de CO<sub>2</sub>, restrição fotossintética e menor acúmulo de matéria seca e sacarose.

### **8.6. Fotoperíodo, temperatura do dia e temperatura sazonal**

Estudos dos efeitos da interação da temperatura durante 24 horas, duração fotoperiódica e termoperiodicidade da cana-de-açúcar, apresentaram as seguintes considerações: a. efeitos adicionais da temperatura diurna e noturna foram obtidos durante três meses, com interações complexas, sendo evidente aos 6 meses de idade da cana; b. a máxima produção de matéria seca, máxima produção de açúcar por planta e máxima concentração de açúcar no colmo, foram sempre obtidas a 30°C; c. relativamente baixa produção de açúcar foi obtida (acima de 12% do peso verde), quando a temperatura permanecer constante ou quando só variou no dia. Relativamente, altos níveis de açúcares foram produzidos (acima de 17% do peso verde), quando a temperatura variou com a mudança das plantas de locais de temperaturas altas para baixas; d. perdas de açúcares ocorreram, quando as plantas foram removidas de baixas para altas temperaturas. Dessas considerações, evoluíram as seguintes conclusões e observações: I - sob fotoperíodo natural, a cana-

de-açúcar evidenciou melhor crescimento em regime de temperatura constante, do que sob mudança de temperatura entre o dia e a noite; II - sob temperatura constante e regimes fotoperiódicos no período de crescimento, ocorreu maior produção de matéria seca, produzindo igualmente grande quantidade de açúcar por planta e maior conteúdo de açúcar com base no peso seco; III - no início da fase adulta, o desenvolvimento do colmo aproxima-se de um valor constante, independente da temperatura, declinando na maturação ou nos últimos períodos da fase adulta. Foi também observado, que o conteúdo máximo de sacarose não excedia a 12% do peso fresco a uma temperatura constante de 30°C, ou sob temperatura mais baixa mantida constante ou ainda, com a combinação de altas temperaturas diárias e baixas temperaturas noturnas.

Dessa forma, plantas crescidas no campo e removidas para ambientes controlados a 17°C, aumentaram seu conteúdo de açúcares, de 10 para 17% de seu peso verde, requerendo 90 dias para esse aumento. As mudanças de algumas plantas para 30°C constante, conduziu a perdas de açúcares, após 35 dias, com uma rápida reativação do crescimento do colmo. Colocando-se as plantas novamente a 17°C, seu crescimento paralisou, iniciando-se novamente o acúmulo de açúcares.

Entre as regiões do mundo, onde a cana-de-açúcar é plantada, regiões de temperaturas extremas ocorrem com o aumento da distância do equador, diminuindo com a proximidade deste, podendo dizer-se o mesmo em que dias longos tem altas temperaturas, sendo a chuva um fator complicante. O conteúdo de sacarose, também é interpretado como uma função da latitude, insistindo-se em que os valores mais elevados de sacarose são encontrados a 18°N e 18°S, sendo por este ponto de vista o fotoperíodo mais importante que a temperatura. No Irã, de 30 a 33°N de latitude, ocorrem altas temperaturas no verão com produção maior que na Louisiana e Flórida. O inverno é muito frio, sendo comum as geadas, crescendo a cana nessas condições a uma temperatura média anual de 15,6°C, maturando à temperatura mínima de 2,5°C, sendo definitivamente o fator determinante no Irã a temperatura, maior que a luz solar. Para outros autores, baixas temperaturas são o principal fator no amadurecimento da cana, havendo vários que relataram o efeito positivo das baixas temperaturas, na ocorrência de concentrações elevadas de sacarose,

mais evidentes a 16°C do que a 22°C de temperatura constante. Fatores varietais podem também afetar respostas da cana às temperaturas constantes. Finalizando, deve-se lembrar que o efeito das baixas temperaturas, em acelerar e melhorar a maturação da cana-de-açúcar, consiste em diminuir o intenso crescimento vegetativo, traduzido em baixas taxas respiratórias e metabólicas.

### **8.7. Ação dos reguladores vegetais na maturação**

Como regra geral, tem-se que enquanto ocorrer crescimento, o acúmulo de sacarose nos colmos será menor, atrasando ou mesmo inviabilizando o processo de maturação. Dessa maneira, reconhecendo-se que o crescimento reduzido aumentará o acúmulo de sacarose nos drenos dos colmos, a utilização de reguladores vegetais objetiva inibir ou retardar o crescimento vegetativo. Não devemos nos esquecer, que o processo de maturação é um dos mais importantes na produção de cana-de-açúcar. A falta de cultivares produtivos, com maturação precoce, pode ser contornada com a utilização de maturadores químicos para o suprimento da usina durante o ano todo com cana madura. Em condições de altas temperaturas durante todo o ano, em que a cana-de-açúcar vegeta continuamente, também se pode provocar a maturação através da aplicação de maturadores.

Os produtos tradicionalmente usados como maturadores da cana-de-açúcar pertencem ao grupo dos inibidores de crescimento ou ao grupo de compostos com ação herbicida, como a hidrazida maleica, IBA, chlormequat, mefluidide, 2,4-D, Dalapon, Pentaclorofenol, Monuron, Diuron, TBA, N,N Bisfosfometilglicina, glifosato, ethephon, fluazifop-butil, sulfometuron-metil e, mais recentemente, o trinexapac-etil. Vamos discorrer rapidamente sobre algumas dessas substâncias e sua ação na maturação.

#### **Hidrazida maleica (MH)**

Hidrazida maleica (MH), sal colina de 1,2-dihidro-3,6-piridazinadiona ou 6-hidroxi-3-(2H)-piridazinona, substância inibidora do crescimento, considerada anti-auxina, pode causar a perda da

dominância apical e aumentar a concentração de açúcares em monocotiledôneas. Inibe a divisão celular em tecidos em ativo crescimento, interferindo com a síntese de RNA/DNA.

- Aplicação de MH a 2% não afetou o teor de sacarose, em colmos de cana-de-açúcar, analisados 12 e 30 dias após o tratamento.
- Pulverização com MH a 4%, em plantas jovens, aumentou o Brix na região apical, diminuindo na base do colmo.
- Concentrações de 2 e 6% de MH não alteraram a qualidade do caldo do cultivar CP 34-120.
- Diferentes concentrações de MH no cultivar P.O.J. 2878 não alterou os valores de Brix, pol, pureza e sacarose, determinados 72 dias após os tratamentos.
- MH a 2 l/ha em Piracicaba (SP), promoveu pequeno aumento na pol do cultivar RB 78-5148, 27 dias após a aplicação.
- Na concentração de 2,5 l/ha em Piracicaba (SP), MH restringiu o desenvolvimento do colmo e a formação foliar, promovendo a maturação do cultivar SP 70-1143, não mostrando efeito para o cultivar NA 56-79.

### **TIBA (ácido 2,3,6-triclorobenzóico)**

TBA (ácido 2,3,6-triclorobenzóico), herbicida de ação hormonal, com ação na divisão celular.

- Usado em mistura com MCPA (ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético), mostrou taxa de maturação mais rápida que as plantas controle.

### **Chlormequat (Cloreto de 2-cloroetiltrimetilamônio)**

Chlormequat (Cloreto de 2-cloroetiltrimetilamônio), nome comercial Cycocel, possui propriedades retardoras de crescimento, provavelmente por inibir a síntese de GA, na passagem de

geranil geranil pirofosfato à copalil pirofosfato. Portanto, torna as plantas mais compactas, reduzindo o entrenó, diminuindo o crescimento vegetativo.

- Aplicado via foliar, no cultivar TCP 52-43, a 0,3% do ingrediente ativo, aumentou progressivamente o conteúdo de sacarose até o final da colheita, 33 dias após o tratamento. Em concentração menor, 0,07% i.a. elevou o teor de sacarose até 11 dias. Cycocel diminui o nível de invertase ácida de colmos imaturos.

### **Mefluidide**

Mefluidide, nome comercial Embark, retarda o crescimento e aumenta os níveis de sacarose na cana-de-açúcar.

- Mefluidide, aplicado a 1,1 Kg/ha, no cultivar H 59-3775, 8 semanas após o tratamento, elevou a concentração de sacarose no colmo de 89,4 g (testemunha) para 101,8 g, antecipando a maturação.

### **2,4-D**

2,4-D (ácido 2,4-diclofenoxiacético), uma das mais antigas substâncias utilizadas como maturador, testado a partir de 1949. Atua no metabolismo dos ácidos nucléicos e aspectos metabólicos da plasticidade da parede celular. Altos níveis suprimem a síntese de ácidos nucléicos e de proteínas nas plantas, ao passo que níveis menores induzem dramaticamente incremento no crescimento celular, com proliferação dos tecidos originando a epinastia, desestruturação do floema. Este crescimento infrutífero, causa a morte do tecido.

Inúmeros experimentos foram conduzidos com este fitorregulador, sendo os resultados inconsistentes. Em muitos trabalhos, ocorreu o aumento da concentração de sacarose, embora estatisticamente não significativos. De certa forma, os resultados variam em função dos cultivares testados, da época e quantidade aplicada, da região, etc.

## Glifosato

Glifosato (Polado), em 1980, fsfonometilglicina, de nome comum Glifosato, foi também registrado como maturador para a cana-de-açúcar, revelando maior atividade em relação à glifosina, aumentando o conteúdo de sacarose no colmo de cana de forma mais consistente e rápida. Este produto possui translocação simplástica e apoplástica (floema e xilema), por toda a planta. Sua ação fisiológica é inibir a síntese dos amino-ácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, formados a partir da via metabólica do ácido chiquímico, via esta responsável pela síntese de todos os compostos fenólicos da planta, além do ácido indol-acético (IAA) e compostos nitrogenados secundários (poliaminas, alcalóides, etc.). O glifosate (Roundup) inibe a enzima EPSP (sintetase fosfato do ácido enolpiruvato chiquímico), impedindo a formação do metabolismo secundário, ao mesmo tempo que estimula a atividade da enzima PAL (fenilalanina amonioliase), o que leva a aumentar a síntese de compostos fenólicos. Além disso, há grande diminuição da síntese protéica e aumento de compostos tóxicos, estimulando a produção de etileno, levando a planta à degeneração celular. Existem inúmeros trabalhos utilizando glifosate como maturador, levando à antecipação da maturação da cana-de-açúcar. De qualquer forma, a aplicação do glifosate deve ocorrer em condições pouco favoráveis à maturação da cana, ou seja, em março, abril e maio e em outubro e novembro, no reinício do período chuvoso. Após a aplicação a área deve ser colhida entre 30 a 50 dias, devendo a cana, no momento da aplicação já estar com seu rendimento agrícola assegurado, pois o produto provocará a paralização do seu desenvolvimento.

O Glifosato quando aplicado tem as seguintes características:

- ? translocação rápida tanto em mono como em dicotiledôneas
- ? nunca atinge estruturas celulares, só rotas bioquímicas, exceto desarranjo dos cloroplastos
- ? Não há efeitos marcantes do glifosato na fotossíntese, respiração, síntese de ácidos nucléicos e sobre membranas

? inibe a atividade da enzima EPSPS (sintase fosfato do ácido enol-piruvato chiquímico) evitando a síntese dos aminoácidos aromáticos (fenilamina, triptofano e tirosina)

? No cloroplasto, Glifosato inibe a ação da EPSPS evitando a síntese dos aminoácidos aromáticos, paralisando o processo de divisão celular.

Em cultivares floríferas, o glifosate pode ser aplicado mesmo após a diferenciação floral, pois provocará a paralização do desenvolvimento da panícula, quando esta ainda não emergiu. Agora, se o florescimento estiver em fase adiantada, não deve ser aplicado.

A dose a ser utilizada do glifosate, deve ser normalmente de 0,3 a 0,4 l/ha podendo chegar, no máximo, a 0,6 - 0,8 l/ha, ocorrendo diferenças na velocidade de resposta à maturação, em função da dosagem.

A brotação de soqueira, tem-se mostrado normal para doses na faixa de 0,3 a 0,4 l/ha, mesmo em condições de seca após o corte. Para doses na faixa de 0,6 - 0,8 l/ha, se ocorrer período chuvoso após o corte ou em áreas irrigadas, sintomas de fitotoxicidade, se aparecerem, serão mínimos, sumindo em 60/90 dias.

Concluindo, o glifosate a 0,3 l/ha, eleva bastante o conteúdo de sacarose do colmo, bem como melhora as condições tecnológicas do extrato. Glifosate na dosagem acima, proporcionou colmos com conteúdo de sacarose de 104 g, contra 89,4 g da testemunha. Na dosagem de 0,6 l/ha, este valor foi de 107,2 g. Para o cultivar SP 70-1143, glifosate a 0,3 l/ha restringiu o crescimento do colmo, a formação foliar e promoveu a maturação da cana-de-açúcar, em trabalho conduzido em Piracicaba (SP). Este produto tem sido utilizado com os objetivos de antecipar a maturação, melhorar a qualidade da matéria prima, principalmente em áreas com vinhaça para restringir o florescimento e diminuir a isoporização da cana-de-açúcar. Seu efeito é bastante rápido, possibilitando aumento no acúmulo de sacarose 30 a 40 dias após a aplicação. A colheita deve ser efetuada quando os altos níveis de sacarose são atingidos. No mesmo cultivar SP 70-1143, glifosate a 0,9 l/ha, apresentou aos 20 dias pol% cana de 15,19 e o controle 12,83; com 0,6 l/ha, aos 40 dias, o pol% cana elevou-se para 16,28% em relação a 12,83% da testemunha.

## **Fluazifop-butil**

No Brasil, tem-se também utilizado como maturador da cana-de-açúcar o fluazifop-butil (Fusilade), na dosagem de 0,3 a 0,4 l/ha, aplicado em março/abril. Trata-se de um herbicida, inibidor da biossíntese de lipídeos, específico para controle de gramíneas. A seletividade ocorre intra e entre espécies; rapidamente absorvido pelas folhas e translocado pelo xilema e floema. Ocorre rápida parada no crescimento da parte aérea e aumento na permeabilidade das membranas. Este composto age inibindo a ação da enzima ACCase (acetil-coenzima A carboxilase), que se encontra no estroma dos plastídeos e converte Acetil-CoA em Malonil-CoA, pela adição de CO<sub>2</sub> ao Acetil-CoA. ACCase é um complexo enzimático, com três enzimas com ações diferentes: biotina-carboxilase que cataliza a carboxilação dependente de ATP da biotina com HCO<sub>3</sub>; transcarboxilase que transfere o CO<sub>2</sub> ativado, da biotina à Acetil-CoA e a proteína carreadora de biotina (BCP), a qual é covalentemente ligada à biotina, movendo-a entre dois grupos catalíticos. A partir da malonil-CoA formam-se os lipídeos.

O Fluazifop-butil tem como funções e modo de ação os seguintes efeitos:

- Inibe o crescimento
- Restringe o volume de parênquima sem caldo
- Promove acúmulo de sacarose em 30 dias
- Precocidade na colheita
- Inibidor da biossíntese de lipídios → específico para gramíneas
- Inibe a ação da carboxiltransferase, pertencente ao complexo enzimático ACCase (acetil-CoA carboxilase) bloqueando a formação de fosfolipídios e triacilgliceróis que se combinam para formar as membranas celulares.

## **Sulfometuron-metil**

Sulfometuron-metil (SM - Curavial), produto do grupo das sulfoniluréias podem mostrar-se promissores como agentes de maturação da cana-de-açúcar. São potentes inibidores do crescimento vegetal, afetando tanto o crescimento como a divisão celular, sem interferir diretamente no sistema mitótico, nem na síntese de DNA. Parecem não bloquear diretamente a ação de promotores (auxinas, giberelinas e citocininas), estimulando fortemente a produção de etileno, devido ao efeito estressante causado pela fitotoxidez.

Moléculas de sulfoniluréias da absorção foliar, quando atingem o meio ácido da parede celular, podem mostrar-se neutras, forma altamente permeável e suscetível de sofrer carregamento no floema. Nesse meio alcalino, as moléculas se dissociam na forma aniônica, tornam-se presas e movem-se de modo sistêmico por fluxo de massa através do floema. As sulfoniluréias inibem a síntese de amino-ácidos de cadeia ramificada como a valina, leucina e isoleucina, através de ação na enzima ALS (acetolactato sintetase), a qual sofre inibição em sua atividade, impedindo a síntese desses aminoácidos a partir dos substratos piruvato e  $\alpha$ -cetobutarato.

Condições de aplicação e alguns efeitos do Curavial:

- Dose de 20g ha<sup>-1</sup>
- Aplicação 50 a 60 dias em pré-colheita
- Inibe a florescência
- Diminui a quantidade de parênquima sem caldo
- Aumenta a concentração de sacarose
- Maturação antecipada
- Atua inibindo a enzima ALS (**Aceto Lactato Sintase**) impedindo a biossíntese de aminoácidos de cadeia ramificada (Valina, Leucina e Isoleucina)
- Restringem crescimento e divisão celular de forma **transitória** promovendo epinastia, sem interferir no sistema mitótico e na síntese de DNA / RNA
- Estimulam a síntese de fenóis e plastocianina

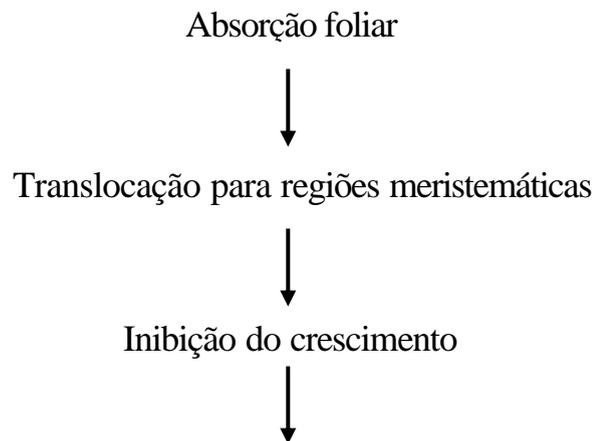
- Reguladores vegetais promotores do crescimento **não são bloqueados**

- Estimula fortemente a produção de etileno pela ação estressante.

A aplicação de SM a 15 g/ha na cana-de-açúcar, cultivar SP 70-1143 promoveu a ocorrência de 0,2 reduções no comprimento do entrenó do colmo, induziu 0,2 a 0,8 brotações laterais por colmo e reduziu o índice de isoporização de 50 a 60%. SM, nessa dosagem, ainda aumentou o Brix em pelo menos 0,9%, incrementou o pol% cana em, no mínimo 1,12 e antecipou em 21 dias a maturação da cana, antecipando seu corte. Em trabalho realizado em Piracicaba (SP), utilizando 20 g produto comercial/ha de SM CASTRO et al. (1994) obtiveram restrição no crescimento do colmo e na formação foliar, promovendo a maturação da cana-de-açúcar, cultivar SP 70-1143.

## Acúmulo de sacarose

## **Resumo da Ação do Sulfometuron-metil**



### **Características do Sulfometuron-metil**

- ? Absorção foliar
- ? Translocado rapidamente via xilema e floema
- ? Baixa pressão de vapor
- ? Baixa toxicidade
- ? Seguro ao meio ambiente
- ? Degradação por hidrólise e microorganismos
- ? Potente inibidor do crescimento vegetal
- ? Inibe a divisão celular
- ? Ação estressante
- ? Não inibe o alongamento celular
- ? Não bloqueia reguladores vegetais promotores de crescimento
- ? Não interfere no processo mitótico e na síntese do DNA
- ? Não mata a gema apical

- ? Não afeta soqueiras subsequentes
- ? Melhora altura do desponte no início e final de safra
- ? Melhora a qualidade da matéria-prima
- ? Resposta na maioria das variedades
- ? Maturador e inibidor de florescimento
- ? Não interrompe o crescimento da cultura

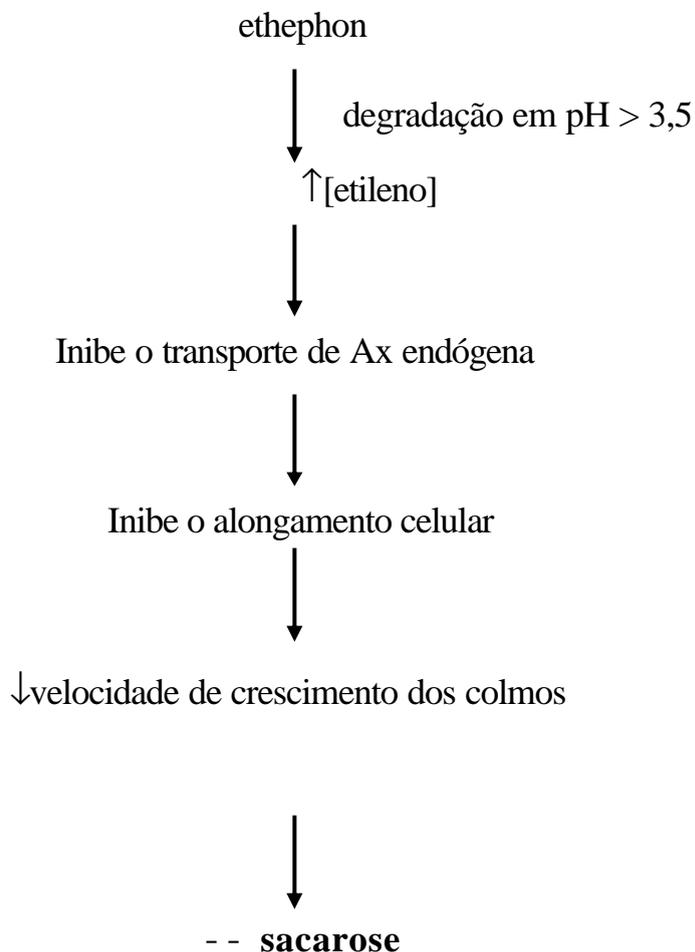
### **Ethephon**

O Ethephon (Ethrel, Zaz, Ethephon, Arvest), ácido 2-cloro-etil fosfônico, tem-se revelado eficiente agente maturador da cana-de-açúcar. Este produto possui como característica de ação o não envolvimento da morte parcial ou total da região apical da planta, o que caracteriza o efeito dos inibidores de crescimento. O Ethephon, pela ação retardadora do etileno, promove somente redução do crescimento do entrenó, formado na época da pulverização. Dessa forma, o ethephon permite maior flexibilidade à colheita, pois como não mata a região apical, não leva à inversão da sacarose, o que não acontece com os inibidores.

O ácido 2-cloro-etil fosfônico é um produto químico, estável quando mantido sob pH ácido, abaixo de 3,5, que libera etileno em contato com o tecido vegetal, o qual possui um pH mais elevado. O mecanismo de ação do etileno envolve sua ligação com um ou mais receptores protéicos, possivelmente uma proteína contendo cobre no seu sítio ativo, localizada na membrana. Se existe um receptor primário na membrana plasmática, deve existir um sistema de transdução e de transcrição gênica, na forma de mRNA e tRNA, decodificando a síntese de enzimas. Há relatos de que esse receptor protéico na membrana celular, seria rico em hidroxiprolina. O etileno poderia alterar a atividade da ATPase transportadora da membrana a aumentar a hidroxilação da prolina, incrementando peroxidase rica em hidroxiprolina na parede. Pode atuar diretamente no bloqueio do metabolismo do DNA, retardando o alongamento do entrenó. Este processo pode ainda levar à

síntese de um mRNA, com suporte do respectivo tRNA, conduzindo à síntese de enzimas capazes de desencadear processos fisiológicos relacionados com o perfilhamento, a florescência, maturação e senescência.

Normalmente, a aplicação de etileno exógeno ou aumento da síntese de etileno endógeno, motivada por aplicações de reguladores vegetais, herbicidas ou estresses de qualquer natureza, estimula a atividade da enzima PAL (fenilalanina amonioliase), o que vai levar à planta a aumentar a síntese de compostos fenólicos. Além do que, a aplicação do etileno leva à inibição do crescimento do colmo e ao seu engrossamento. A aplicação à iniciação floral (Fev / Mar), inibe a florescência, restringe o volume de parênquima sem caldo, aumenta o teor de sacarose no colmo e antecipa a colheita.



Esse regulador vegetal tem sido utilizado com sucesso, em várias regiões do mundo além do Brasil, como maturador de cana-de-açúcar. No Havaí, verificou-se que a aplicação de ethephon aumentou a fitomassa de cana-de-açúcar em 18,8% e o teor de açúcar em 22,3%. A aplicação de ethephon, na Louisiana, a 1,12 Kg i.a./ha elevou significativamente o teor de sacarose nos colmos dos cultivares NCO 310, CP 61-37 e CP 65-357. Notou-se também diminuição nos níveis de glicose e frutoses nesses tecidos, determinados durante 7 semanas após a aplicação. Análises dos colmos, 4 semanas após a pulverização, indicaram aumentos nos teores de açúcar por tonelada de

cana. Análises dos tecidos dos entrenós, mostraram elevado aumento percentual no conteúdo de sacarose na porção superior do colmo, após aplicação de ethephon.

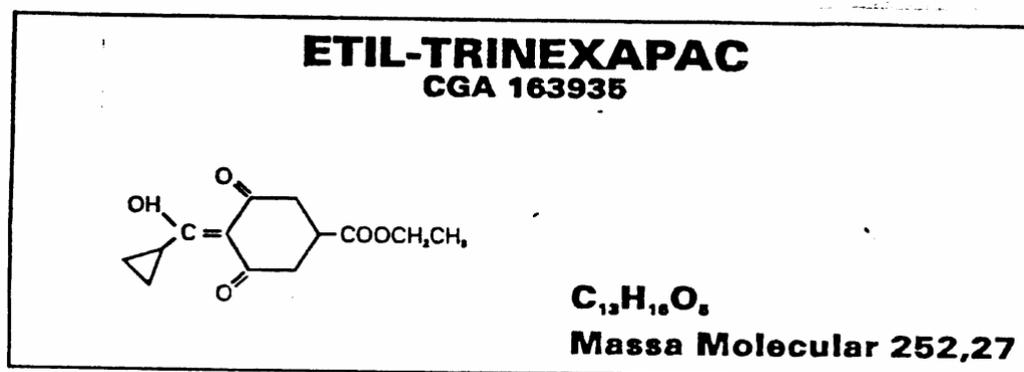
No Estado de São Paulo, aplicação de ethephon 2 l/ha, tem-se mostrado eficiente em antecipar a maturação de diversos cultivares de cana-de-açúcar. O cultivar SP 70-1143, resistente à estresse nutricional e biótico, que apresenta alta isoporização respondeu favoravelmente à aplicação de ethephon, aumentando significativamente a porcentagem de parênquima com caldo. Ethephon antecipou a maturação do cultivar NA 5679, já normalmente precoce. Os cultivares SP 71-1406, SP 71-1081, RB 76-5418 e RB 72-4554, também mostraram precocidade na maturação sob o efeito do ethephon.

Para as condições do sul da África, resultados de 5 anos de experimentos com ethephon, aplicado entre 2 a 6 meses antes da colheita, revelaram grandes melhoras na pureza do suco e na porcentagem de sacarose no início da temporada. Apesar de grande redução no tamanho das folhas e do consumo líquido de CO<sub>2</sub>, não houve redução do rendimento da cana, até 6 meses após a aplicação de uma dose alta de 6 l/ha, resultando em incrementos grandes e rentáveis de açúcar, variando de 0,8 a 2,4 ton/ha. Ethephon maturou todos os cultivares testados, alguns respondendo melhor a doses menores. Aplicações múltiplas foram mais eficientes que aplicações simples e estenderam o período de maturação por até 6 meses após a primeira aplicação

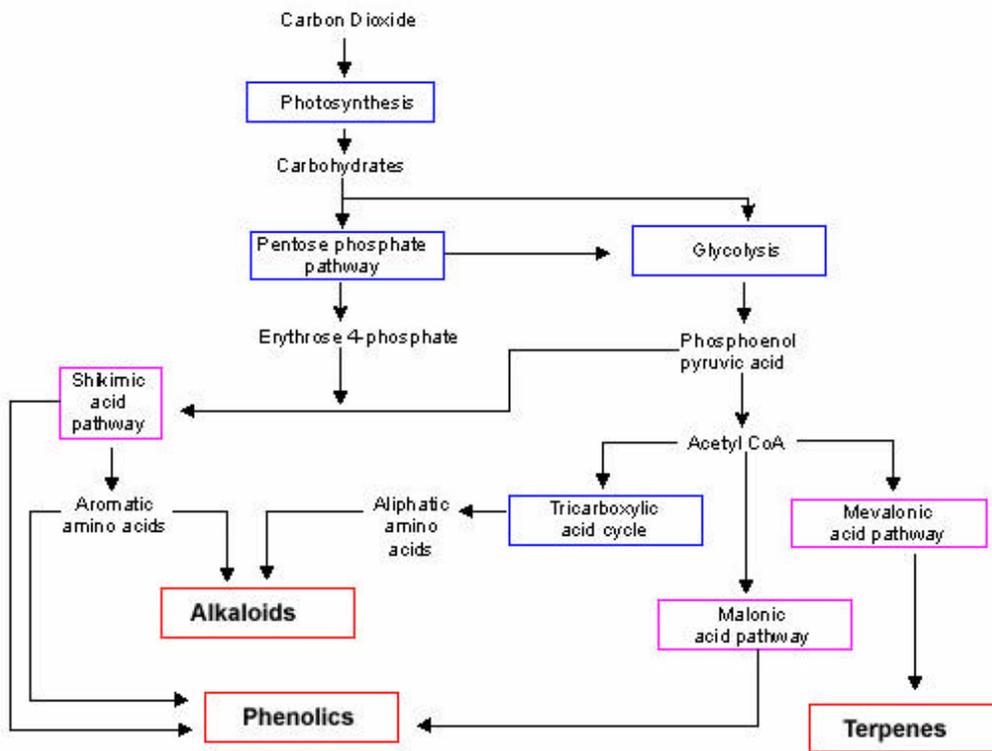
Na região Centro-Sul, cultivares SP 71-6163 e SP 70-1143, pulverizadas em 21 e 22/02/91 com ethephon 2 l/ha, apresentaram aumento no Pol% cana. Também o cultivar SP 71-1406, mostrou elevação na Pol%, ao passo que na RB 72/454 houve elevação no teor de sacarose, com 2 l/ha de ethephon. CASTRO et al. (1995) relata que ethephon, na formulação comercial ARVEST (480 g/l i.a.), o dobro do ethrel (240 g/l i.a.), a 1,0 l/ha mostrou-se eficiente em antecipar, em pelo menos 30 dias, a colheita, a aumentar o conteúdo de sacarose e promover a maturação da cana-de-açúcar SP 70-1143.

## Etil-trinexapac

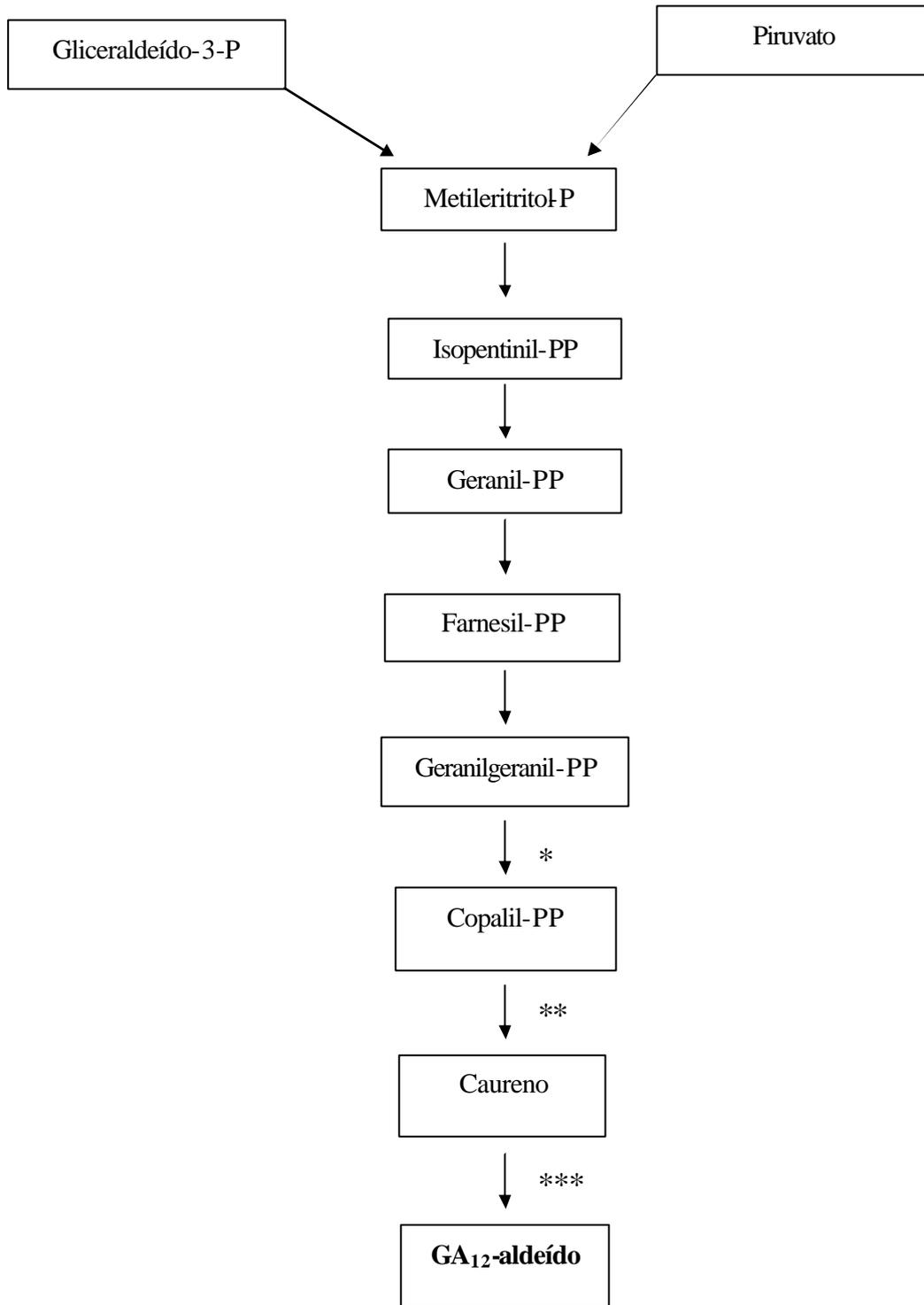
Representa nova classe química de reguladores vegetais, desenvolvido para ser utilizado como maturador da cana-de-açúcar e estimulante do aumento do conteúdo de sacarose nos colmos. Pertence ao grupo químico do ciclohexano ou ciclohexadiona, derivado do ácido carboxílico, cujo nome químico é 4(ciclopropil- $\alpha$ -hidroxi-metileno-3,5-dioxociclohexanocarboxílico ácido etil ester. Este produto tem o nome comum de trinexapac-etil ou etil-trinexapac e nome comercial MODDUS, registrado pela CIBA AGRO, com 250 g/l de ingrediente ativo, com a seguinte fórmula estrutural:



O trinexapac-etil atua na síntese de giberelinas, em locais e de forma diferentes dos outros reguladores vegetais conhecidos. Normalmente, a maioria dos reguladores vegetais que impedem a síntese de GA, atuam na sua primeira fase, ou seja, até a formação do composto GA<sub>12</sub>-aldeído, com 20 carbonos. As outras giberelinas, com 20 ou 19 carbonos, originam-se deste composto por processos de oxidação e hidroxilação, que serão descritos a seguir. A giberelina é um composto do grupo dos terpenos, considerado um diterpeno, ou seja, quatro unidades básicas de 5 carbonos.



A sua síntese ocorre no metabolismo secundário da planta, a partir da oxidação de carboidratos, tanto pela glicólise como pela via das pentoses-fosfato, formando o Acetil-CoA, o qual origina a via metabólica do ácido mevalônico, a partir do qual todos os terpenos são sintetizados, inclusive a giberelina. O esquema simplificado é o seguinte:



\* atuação de reguladores vegetais, inibindo a passagem, tais como: AMO1618, Chlormequat, Phosphon-D, etc.

\*\* atuação do Phospon-D

\*\*\* atuam vários inibidores, principalmente Ancimidol, Paclobutrazol, Uniconazole e outros triazóis.

A partir do GA<sub>12</sub> aldeído, formam-se todas as outras giberelinas, as cerca de 84 conhecidas e identificadas atualmente. Muitas são de 20 e outras de 19 carbonos, sendo estas as mais ativas. Evidentemente, destas 84 giberelinas conhecidas, tanto de 20 quanto de 19 carbonos, muitas são biologicamente inativas, outras mais e outras menos ativas. Dentro das ativas, as mais conhecidas são a GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub>, GA<sub>7</sub>, GA<sub>9</sub>, etc., muitas destas comercializadas isoladas ou em misturas. A partir do GA<sub>12</sub> aldeído, vão existir vários caminhos, que vão originar as diferentes giberelinas e as suas interconversões. Inicialmente, o radical aldeído ligado ao carbono 6 do anel B é oxidado a um radical carboxílico, essencial para a atividade biológica da giberelina.

Assim, a oxidação do carbono 20 do GA<sub>12</sub> aldeído, à radical carboxílico, liberando posteriormente este carbono na forma de CO<sub>2</sub>, forma as giberelinas de 19 carbonos. Pode ocorrer passagem direta de GA<sub>12</sub> aldeído para GA<sub>9</sub>, sem oxidação, apesar da GA<sub>9</sub> ter 19 C, pela formação de um quinto anel, a lactona, a partir do carbono 19 do radical carboxílico ligado ao carbono 4 do anel A.

Além da oxidação como GA<sub>12</sub> aldeído, como já vimos, todas as giberelinas, com 19 carbonos, sofrem processos de hidroxilação e a partir do GA<sub>12</sub> aldeído, para serem sintetizadas ou interconvertidas. Essas hidroxilações, dependendo do número e da posição na molécula, variam a estrutura básica do composto. A situação dos grupos hidroxila e sua estereoquímica, designadas como  $\alpha$  ou  $\beta$  ligações, dá um forte suporte à atividade biológica do composto. Assim, normalmente as hidroxilações mais comuns são do carbono 13 e do carbono 3, na forma de  $\beta$  hidroxilação, que podem ser isolados ou acontecerem ao mesmo tempo. Portanto, a partir da  $\beta$  hidroxilação do carbono 3 ou 3  $\beta$ -hidroxilação, do GA<sub>12</sub> aldeído ou de giberelinas já formadas, vias oxidação ou 13 hidroxilação ou ambas, sintetizam-se compostos biologicamente muito ativos, como a GA<sub>1</sub> e GA<sub>4</sub>, por exemplo. A maioria dos GAs de 19 C são giberelinas 13-OH (hidroxilados), com um grupo 3 $\beta$ -OH.

Em função da pequena recordação sobre a síntese de giberelinas, podemos agora entender como atua o fitorregulador trinexapac-etil. Diferentemente dos demais citados e mais antigos, este



Assim, trinexapac-etil reduzindo a concentração de giberelinas biologicamente ativas, diminui o alongamento das paredes celulares, possibilitando maior acúmulo de açúcares, pela não necessidade de sua utilização como fonte energética para o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Observa-se a inibição do alongamento dos entrenós superiores da cana, não afetando o sistema radicular, nem em comprimento nem em volume. Trinexapac-etil é absorvido, predominantemente, através das folhas e gemas terminais, ocorrendo a quase totalidade da absorção nas primeiras 24 horas; alguma concentração do fitorregulador que não foi absorvida nesse tempo, sofre rápida degradação. Praticamente não é absorvido pelas raízes.

Trinexapac-etil é um produto altamente translocável, no sentido acrópeto, até às áreas meristemáticas, com altas taxas de crescimento, onde ocorre a inibição do alongamento dos entrenós. A translocação é rápida, aparecendo os sintomas de inibição do crescimento dentro das 48 horas seguintes à aplicação. Quando cai no solo é rapidamente hidrolizado (8 horas) à forma ácida, a qual se caracteriza por possuir vida média de 20 dias. Em três meses, todo o produto do solo é liberado como CO<sub>2</sub>; a fotooxidação na superfície do solo, depende basicamente da umidade: solo úmido em 8 horas, enquanto em solo seco pode chegar a 288 horas.

Além disso, não é um produto volátil, independente da umidade do solo. A forma ácida de trinexapac-etil é móvel no solo apresentando, no entanto, pequeno potencial de lixiviação. Na dose recomendada para sua utilização agrícola, imediatamente depois de aplicado ao solo, não apresenta nenhuma atividade reguladora do crescimento, o que nos permite concluir ser um produto seguro, sem risco de impacto ambiental.

### **8.8. Utilização agrícola do Trinexapac-etil**

Como reduz o crescimento, através da inibição da síntese de GA, uma das suas utilizações seria como maturador na cultura da cana-de-açúcar. O tratamento com este fitorregulador, por

causar a diminuição do crescimento do terço superior da cana, promove maior maturação de quase 80% do “palmito” da cana, o qual em plantas não aplicadas seria desperdiçado no campo. Desse modo, na colheita o desponte deve ser feito à maior altura, propiciando o benefício de mais açúcar por cana. As aplicações deverão ser efetuadas quando a cana não completou totalmente o seu ciclo de desenvolvimento, ou seja, entre os 10 e 12 meses de idade.

Pode ser aplicado no início da safra, visando aumentar a Pol% dos cultivares mais precoces, visando antecipar ou viabilizar a colheita, inibindo o florescimento dos cultivares mais floríferos. Aplicação no meio da safra, visa exploração do potencial máximo de sacarose das culturas da época e ao final da safra, tem como objetivo a melhoria da qualidade da cana e a manutenção do teor de sacarose, em função do declínio desta, causada pelo reinício das chuvas na região Centro-Sul do país. Dessa maneira, trinexapac-etil aplicado na época adequada, provoca redução temporária da velocidade de crescimento da cana-de-açúcar, promovendo acúmulo de sacarose nos colmos, ajudando no planejamento e melhor aproveitamento agroindustrial da cultura.

O início da colheita deve ocorrer a partir de 50 a 60 dias da aplicação. A partir de dados experimentais, verifica-se a utilização de 0,5 a 0,75 l/ha de Moddus, em cana de 10,5 a 11,5 meses de idade, visando-se a colheita aos 12/13 meses. Para colheitas mais tardias, acima de 13 meses, recomenda-se 0,8 L ha<sup>-1</sup>. Em trabalhos por nós conduzido, onde se avaliou o Moddus confrontando-o com outros reguladores vegetais (maturadores tradicionais), tivemos como objetivo avaliar o potencial do trinexapac-etil, na formulação comercial Moddus, aplicado sobre a cana-de-açúcar, a partir do início de maior acúmulo de sacarose (maturação), bem no início da safra avaliando possível ganho em teor de açúcar e a extensão do período útil de processamento. O experimento foi montado em Lençóis Paulista (SP), com o cultivar SP 79-1011, estando a cultura da cana no estágio de maturação, aproximadamente 90 dias antes do corte programado para a área. Neste momento, 21/02/94 aplicou-se o Ethephon. Nos tratamentos que contavam com a reaplicação, estas foram efetuadas 30 dias após a primeira (60 dias antes da colheita), bem como a aplicação também de Fluazifop-butil e Glifosate. Os produtos testados e dosagens: trinexapac-etil a 150, 200, 250 e 300 g i.a./ha e ethephon a 480 g i.a./ha, sendo que o trinexapac-etil foi aplicado em

mais duas épocas, a intervalos de 30 dias, nas doses de 150, 200 e 250 (em todos, 150 na primeira mais 100 na segunda) g i.a./ha. Na segunda época, aplicou-se também fluazifop-butil a 43,7 g i.a./ha e glifosate a 240 g i.a./ha, sendo todas as aplicações aéreas. Os resultados obtidos no trabalho descrito permitiram concluir: a. o uso de maturadores químicos é, comprovadamente, excelente ferramenta para o manejo de cultivares de cana, objetivando preencher a lacuna de fornecimento de matéria prima, principalmente no início da safra; b. o efeito maturador do trinexapac-etil, bem como dos demais reguladores vegetais testados, propiciaram aumentos no teor de Pol% e de ATR (Kg de açúcar por tonelada de cana); c. trinexapac-etil a 250 g i.a. ha<sup>-1</sup> (0,8 L ha<sup>-1</sup> - formulação comercial Moddus) aplicado de 60 - 75 dias após aplicação, propiciou excelente nível de ganho, superior a todos os demais testados, indicando seu potencial como maturador químico; d. a utilização de pulverização sequencial não mostrou vantagens, sendo desaconselhável; e. o trinexapac-etil a 250 g i.a./ha (Moddus 0,8 L ha<sup>-1</sup>), embora tenha mostrado ganho no teor de Pol%, com máximo entre 60 - 75 dias pós-aplicação, pode ser utilizado até com mais de 90 dias após aplicação, sem perder muito em eficiência e mostrar efeitos como início de brotação lateral, queda no teor de ATR, etc.

Outros trabalhos com trinexapac-etil, foram conduzidos nos seguintes cultivares:

RB 83-5019 - super precoce

RB 76-5418 - precoce

RB 85-5046 - precoce

RB 83-5486 - precoce/intermediária

SP 79-1011 - precoce/intermediária

SP 71-6163 - intermediária

RB 78-5148 - intermediária

RB 72-454 - intermediária

As conclusões foram:

- os cultivares SP (Copersucar), apresentaram respostas inferiores ao produto, em relação aos cultivares RB (UFSCar);

- o produto possibilita além do enriquecimento precoce da cana, elevação no teor de fibra (importante fator como fonte de energia para as usinas) e taxa de açúcares redutores mais baixas, relativamente à outros reguladores vegetais;
- o acréscimo em Brix, sempre foi acompanhado de aumento proporcional na pureza do caldo revelando, desta forma, maior teor de sólidos solúveis no caldo e, conseqüentemente, maior valor industrial e qualidade, ou seja, mais açúcar;
- o efeito supressor sobre o alongamento apical, a formação de entrenós mais curtos e possível redução do peso das amostras analisadas, não tem influído nos resultados finais de produtividade da cana e do açúcar obtido;
- apresenta excelentes resultados como indutor hormonal da maturação em cana-de-açúcar, tendo mostrado capacidade de competir e superar o padrão ethephon.

Alguns cuidados devem ser tomados no preparo da calda, como: **pré-mistura** para o produto misturar bem com a água no preparo da calda, adotando uma relação mínima de 5,0 litros de água para cada litro de trinexapac-etil - Moddus. Adicionar primeiro a água no tanque ou tambor auxiliar, em seguida o produto, misturar e completar o volume de calda desejado. O preparo da calda, respeitando a sequência onde se coloca primeiro a água e a proporção de 5 litros/1 litro de trinexapac-etil (solução comercial Moddus) é imprescindível para se obter uma mistura uniforme, evitando que o produto fique colado ao tanque.

## **9. Considerações sobre o uso de maturadores em cana-de-açúcar**

A aplicação de maturadores na cana-de-açúcar é uma prática usual, em muitas zonas açucareiras do mundo a qual, como já me referi anteriormente, iniciou-se há muitos anos. Evidentemente, nesse tempo todo, houve uma evolução natural em termos de novos produtos e novos conhecimentos sobre a fisiologia da planta e, principalmente, sobre a ação fisiológica dos maturadores.

O uso dos maturadores gerou controvérsias, por seu possível efeito negativo na produção da cana; no entanto, pode-se afirmar que as aplicações desses produtos, diminuem o crescimento mas não, necessariamente, a produção.

Os maturadores, via regra geral, são reguladores vegetais que afetam a maturação, induzindo diretamente a inibição do crescimento, sem afetar o processo de fotossíntese ou atuando sobre as enzimas que catalizam o acúmulo de sacarose. A melhor época para a aplicação de produtos de tal natureza, seria ao final do período de desenvolvimento da cultura, sem que esta tenha alcançado estado de maturação fisiológica avançada, geralmente, entre os 10 e 12 meses de idade. Aplicações antes dos 10 meses apresenta efeito muito severo no crescimento e depois dos 12 meses possibilidade de resposta menor, porque nesta idade a planta já possui maior grau de maturação, obtido naturalmente.

A cana-de-açúcar, durante o período de crescimento rápido, pode crescer em torno de 8 a 10 centímetros por semana, dependendo este valor dos cultivares, do solo, do clima e das práticas culturais. Depois dos 10 meses de idade, quando inicia-se o processo de maturação, o ritmo de crescimento diminui, algo ao redor de 6 centímetros/semana. Se aplicarmos maturadores, o ritmo de crescimento diminui ainda mais, ao redor de 4 centímetros/semana; este produto, em doses adequadas, não deve conter completamente o crescimento. A ação de causar efeito drástico no crescimento, não implica necessariamente em aumento maior na concentração de sacarose. Se tem avaliados maturadores que detiveram completamente o crescimento, sem produzirem nenhum efeito maturador.

A utilização de maturadores pode aumentar a produção de açúcar em até 25%, mas para atingir este objetivo é indispensável provocar diminuição no ritmo de crescimento da planta, de tal maneira que se armazene maior quantidade de sacarose no colmo. Desde o momento da aplicação do maturador em dosagem adequada, até 6 ou 12 semanas, as plantas apresentam crescimento entre 10 e 25 centímetros menor que teriam, caso não tivesse sido aplicado o fitorregulador. Se este produto tiver efeito direto na produção da cana-de-açúcar, poderia esperar-se diminuição em torno de 3 a 8%; no entanto, deve-se ter em conta dois fatores importantes:

- 1 - Parte do maior crescimento, que apresentam as plantas que não receberam maturadores, deve-se ao maior desenvolvimento do “palmito” (parte jovem da cana em crescimento) o qual deixa-se no campo, no momento da colheita. Já as plantas que receberam os maturadores, apresentam “palmitos” muito mais curtos;
- 2 - A ação dos maturadores aumenta, apreciavelmente, o conteúdo de sacarose no terço superior do colmo, o qual justifica fazer-se o corte mais alto, no momento da colheita. O conteúdo de sacarose, no terço superior dos colmos, das plantas sem maturadores é muito baixo.

Por essas razões, as aplicações de maturadores não tem porque afetar a produção de cana-de-açúcar, se o descarte do “palmito” é feito adequadamente na colheita. Inclusive, na realidade deve-se esperar muito mais produção da cana, sendo o descarte do “palmito” feito de forma adequada, naquelas plantas em que foram aplicados maturadores, pois há disponibilidade de maior colmo útil, o qual pode ser enviado à moenda.

Portanto, a altura do corte da cana ou descarte do “palmito”, deve definir o rendimento em açúcar que possuem os últimos entrenós, próximos ao “palmito” verdadeiro. O valor mínimo do rendimento é determinado pela quantidade de açúcar recuperável, que permite pagar os custos de corte, transporte e processamento, sendo necessário recuperar 56 Kg de açúcar por tonelada de cana moída. Em outras palavras, não é rentável moer porções de colmos que tenham rendimento inferiores a 5,6%, valor que pode variar de uma usina à outra, mas mesmo do próprio preço da cana.

A aplicação de maturadores eleva o rendimento dos últimos entrenós. Avaliações realizadas em culturas que apresentaram boas respostas, mostrou ser possível realizar o corte do “palmito”, de tal forma que não fique colmo aderido. Já em cultivares onde a utilização de maturadores não apresentou respostas tão boa, o corte do “palmito” foi realizado com dois entrenós aderidos. Este fato, equivale a deixar no campo, 6 toneladas de cana, aproximadamente. Em cultivos de cana-de-açúcar, onde não se aplicou maturadores, o descarte do “palmito” ocorreu com 5 entrenós de colmo aderidos, o que equivale a deixar cerca de 17 toneladas de cana no campo. Portanto, a aplicação de maturadores permitiu aproveitar entre 11 e 17 toneladas adicionais de cana, quantidade que

compensa e supera qualquer possível efeito desses reguladores vegetais, na diminuição do crescimento dos colmos.

Deste ponto de vista, o uso de maturadores é vantajoso, não somente para as usinas, que podem recuperar maior quantidade de açúcar, mas também para os produtores, sejam aqueles pagos por peso que podem aproveitar maior quantidade de cana ou aqueles que recebem por rendimento de sacarose, que podem obter até 12,5% mais de açúcar. Até mesmo para os cortadores existem vantagens apreciáveis, pois como pode cortar mais alto, desprezando menos “palmito”, vai apresentar rendimento maior, pois vai conseguindo muito mais tonelagem de cana cortada.

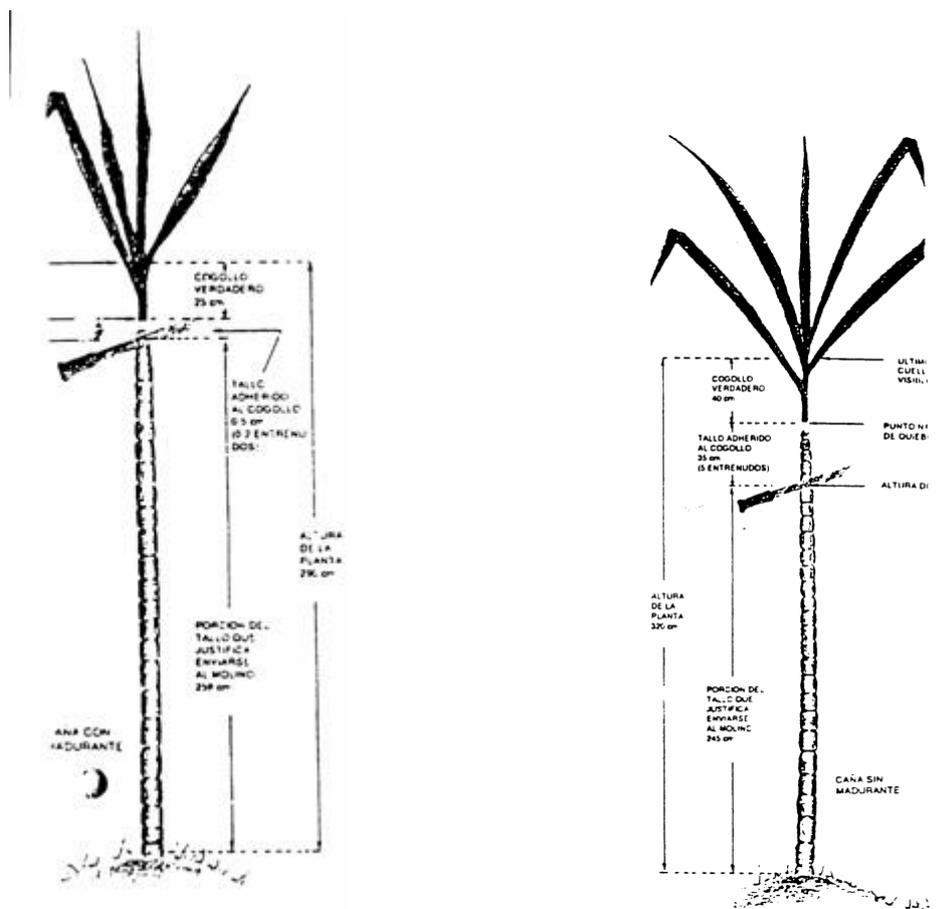
No entanto, não é fácil introduzir “na prática”, o conceito de altura do corte, que envolve as idéias anteriores, pois o rendimento dos últimos entrenós varia, dependendo de condições como cultivares de cana-de-açúcar, idade de corte, clima, resposta ao maturador, etc. Entretanto, nas amostragens pré-colheita efetuadas rotineiramente, além de se determinar o rendimento total do colmo, poderia se determinar também o rendimento dos últimos entrenós. Com base nestas informações, adestrar o pessoal da colheita, para o descarte do “palmito” na altura adequada.

Dessa forma, a utilização de maturadores permite o descarte do “palmito” mais alto, muito mais curto do que naquelas plantas que não receberam os maturadores. Análises efetuadas mostram que a quantidade de colmo aderida ao “palmito” é praticamente a mesma, seja em cana com ou sem maturador. Este fato, demonstra que em muitos casos, onde se aplicam maturadores, parte do ganho é deixado no campo enquanto que, naquelas plantas onde não são utilizados esses produtos, enviam-se às moendas porções de colmo economicamente inviáveis. Portanto, a questão da altura do corte deve merecer a máxima atenção.

Finalizando, a aplicação de maturadores de cana-de-açúcar é uma prática rentável, sendo que um quilograma de açúcar por tonelada de cana moída é suficiente para pagar o gasto. Quando se obtém uma boa resposta, é possível que o benefício auferido supere muitas vezes o custo e em tempo bem curto (6 a 12 semanas). Outros benefícios, indiretos, que poderiam advir ao aumentar-se a produtividade por unidade de área, devido ao uso desta tecnologia, seriam, por exemplo:

quantidade de cana que não seria preciso cortar, transportar e moer para produzir a quantidade de açúcar que consegue, mediante a aplicação de maturadores. Além disso, observa-se que a cana-de-açúcar com maturadores apresenta menor conteúdo de matéria estranha e, por conseguinte, maior rendimento, devido somente a este fato, o que representa também um benefício indireto pelo uso dos maturadores.

Logo, a utilização dos reguladores vegetais, que atuam na maturação da cana-de-açúcar, denominados de maturadores, é uma prática agrícola economicamente atrativa. Pode-se melhorar ainda mais sua rentabilidade, manejando-se adequadamente as dosagens, volume e qualidade da água nas pulverizações, ao mesmo tempo que se coloca em prática o conceito de **altura ótima de corte** e se consegue melhor conhecimento sobre as respostas fisiológicas da cultura, às aplicações de maturadores.



## 10. Características dos Principais Maturadores



Moddus → atua inibindo síntese de giberelinas

Ethrel → inibição do crescimento (IAA)

## 11. Fatores que interferem na eficiência

- Variedade

- Estímulos naturais de respostas ao amadurecimento (componente genético)
- Período de maior acúmulo (precoce, médias e tardias)
- Manejo cultural aplicado

- Área foliar e quantidade de massa verde

- Tempo entre aplicação e corte

- Variável entre 30-75 dias

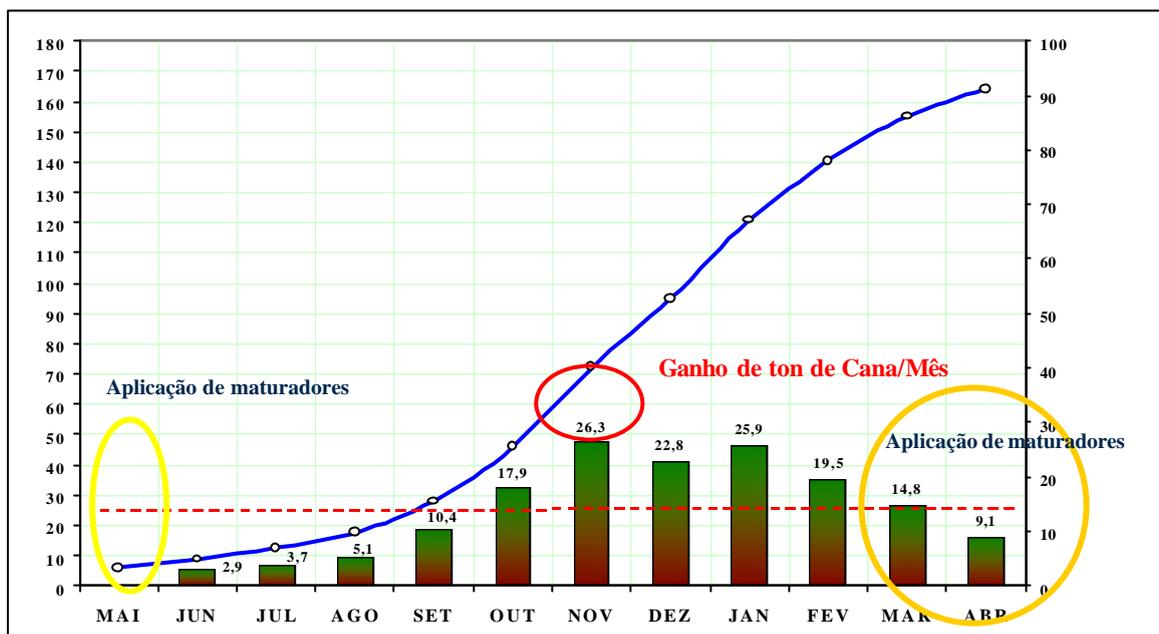
- Idade das plantas

- Maior potencial de resposta quanto mais jovem a planta (até o limite mínimo de 7 a 8 internós)

- Observar idade cronológica x fisiológica para que haja condição de maturação

- Precipitação

- Maior desenvolvimento vegetativo induzem maior resposta a maturadores



**Figura .** Época de aplicação de maturadores químicos de cana-de-açúcar.

## **12. Fatores que alteram a ação dos Maturadores**

- Atuação na maturação fisiológica
  - Maiores respostas no terço inicial da safra
- Qualidade da luz solar
  - Redução na oferta de luz reduz sensivelmente a elaboração e armazenamento de sacarose
  - Maturadores requerem a produção normal da fotossíntese para maximização da função
- Tempo entre aplicação e absorção
  - Chuvas logo após reduzem a absorção
- Variedade
  - Em função do potencial genético, da precocidade ou não de cada variedade temos diferentes níveis de respostas
- Tipos de solo
  - Atuam como fornecedores de água e nutrientes
  - Limitações de água (favorecem a maturação natural)
  - Disponibilização de água (favorece ação de maturadores)
- Excesso de orvalho na aplicação
  - Excesso de umidade nas folhas (Orvalho) pode acarretar o escorrimento consequentemente a menor absorção

## **13. Épocas de utilização dos maturadores**

Época mais indicada em SP:

- a partir da 2ª quinzena de fevereiro até a 1ª quinzena de março (período indutivo ao florescimento)

- Início da safra → -sacarose variedades mais precoces e inibir o florescimento dos cultivares mais floríferos
- Meio da safra → exploração do potencial máximo de sacarose das variedades
- Final de safra → melhoria da qualidade da cana pela manutenção do teor de sacarose, evitando o seu declínio pelo reinício das chuvas na região Centro Sul

#### **14. Algumas considerações sobre maturadores**

- ↓crescimento mas não a produção
- ↓drástica no crescimento → nem sempre -sacarose
- ↓Maturadores podem aumentar até 25% a produção de açúcar
- Utilização de maturadores → prática rentável
- Obtenção de boas respostas = benefícios auferidos superam muitas vezes o custo e em tempo curto
- Benefícios indiretos: quantidade menor de cana a ser cortada, transportada e moída = mesma quantidade de açúcar

#### **15. Aspectos da cultura da cana-de-açúcar no nordeste e de sua fenologia**

O Estado de Alagoas é o segundo maior produtor de açúcar do Brasil. A cana-de-açúcar, o açúcar e álcool contribuem com cerca de 60% da receita gerada pelo ICMS, em 60% dos municípios alagoanos.

O nordeste na zona canavieira, possui clima tropical com período de déficit hídrico bem definido em outubro, novembro e dezembro e excesso hídrico em maio, junho e julho, com total da precipitação entre 400 e 2.000 mm. Assim, o grande problema da região canavieira quanto à precipitação não é o total anual, que é elevado, mas sim a irregularidade na distribuição, pois cerca

de 50% do total anual ocorre em três meses: maio, junho e julho. Além disso, existe grande variação de um ano para outro, o que põe em risco a cultura da cana-de-açúcar sem irrigação.

O clima ideal é aquele em que a precipitação ou irrigação seja bem distribuída, que tenha temperaturas adequadas e muita luminosidade. A fase de crescimento vegetativo exige elevado atendimento hídrico e térmico a fim de permitir bom desenvolvimento. Esta deve ser seguida de período com certa restrição hídrica para forçar o repouso e o enriquecimento em sacarose, antes da colheita. A temperatura e a luminosidade não são problemas no nordeste, tornando esta região em função destes dois fatores, privilegiada para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar. Por exemplo, a zona canavieira de Pernambuco apresenta resultado de 2.058 graus-dias (energia disponível à planta em cada dia) durante o ciclo da cana, contra 1.603 graus-dias, para o mesmo período, na região de Ribeirão Preto (SP).

Assim, as chuvas apesar de mais concentradas em maio, junho e julho, estendem-se desde abril até agosto/início de setembro. Em função desse aspecto, o plantio inicia-se em maio indo até início de setembro. Em cultivo irrigado, planta-se de setembro a janeiro.

Dessa forma, o crescimento pode ser retardado pelo déficit hídrico, ao passo que a maturação pode ser prejudicada por excesso de chuvas; esta só ocorre se a cultura sofrer período de seca.

No nordeste, a cana-planta apresenta ciclo de 15 meses, enquanto a cana-soca, cerca de 12 meses. A Figura abaixo mostra o ciclo da cana-planta dividido em decêndios, ficando com 42 decêndios, mais 3 decêndios do mês de plantio, ao todo 45 decêndios.

Os cultivares mais empregadas no nordeste são SP 70-1143, SP 71-1406, RB-72454, CB 45-3, NA 56-79, sendo recentemente lançada a RB-83102.

Os maturadores são empregados, pois somente a Usina Coruripe, em Alagoas, utiliza em cerca de 5.000 ha, visando apenas aumento no teor de sacarose. Os mais utilizados são o glifosate (Roundup) e o fluazifop-butil (Fusilade), ambos a 0,4 l/ha, 25 a 30 dias antes da colheita. O Ethephon (Ethrel) é pouco utilizado, a não ser para evitar o florescimento.

## 16. Terminologia utilizada para avaliação da qualidade da cana-de-açúcar

**BRIX:** Porcentagem, em peso, de sólidos solúveis no caldo de cana. Representa o peso de sólidos dissolvidos em 100 g de solução. Assim, quando uma solução tem 20° Brix, quer dizer que em 100 g desta solução tem 20 g de sólidos dissolvidos, sendo os 80 g restantes água. Determinado pelo aerômetro de Brix.

**POLARIZAÇÃO OU POL:** Porcentagem, em peso, de sacarose aparente ou a soma algébrica dos desvios provocados no plano de polarização pelas substâncias opticamente ativas (açúcares), contidos nos produtos da usina (caldo), por leitura direta. Na prática, quantidade de sacarose encontrada em 100 g da solução. Assim, quando uma solução tem Pol de 14, quer dizer que em 100 g desta solução temos 14 g de sacarose. Determinada em sacarímetro.

**PUREZA APARENTE:** Porcentagem de sacarose nos sólidos solúveis totais (Brix). Os tipos de pureza mais importantes são a aparente e a real, sendo calculadas por:

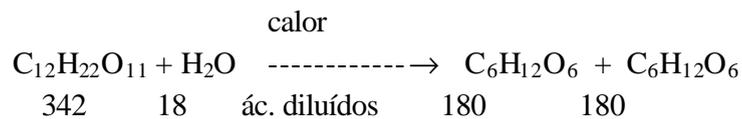
$$\text{Pureza Aparente} = \frac{\text{Pol} \times 100}{\text{Brix}}$$

$$\text{Pureza Real} = \frac{\text{sacarose} \times 100}{\text{sólidos por secagem}}$$

**AÇÚCAR PROVÁVEL:** Definido como a quantidade de açúcar recuperável de uma cana, durante o processamento industrial, sendo dado por:

$$\text{Ac. Prov. \% cana} = \frac{\text{Pol} (1,4 - \frac{40}{P}) \times 0,8}{P}$$

**AÇÚCARES REDUTORES:** Todos os açúcares (monossacarídeos) que tem a propriedade de reduzir o cobre das soluções cupro-alcálicas (licor de Fehling). No caldo da cana, são a glicose e a levulose. Além da quantidade normalmente existente na cana, se formam na fabricação do açúcar, pelo desdobramento da molécula de sacarose, sob a ação de ácidos diluídos e calor, conforme:



Logo, 100 gramas de sacarose dão 105 gramas de açúcares redutores, pois 1 mol de sacarose = 342, enquanto os redutores possuem PM de 180 cada.

**COEFICIENTE GLUCÓSICO:** Porcentagem de açúcares redutores, em relação à sacarose.

Calcula-se pela fórmula:

$$\text{Coeficiente Glucósico} = \frac{\% \text{ açúcares redutores} \times 100}{\% \text{ polarização}}$$

**FIBRA:** Parte lenhosa da cana, insolúvel na água.

**BAGAÇO:** Resíduo fibroso, resultante da extração do caldo das canas.

**MELAÇO:** Mel esgotado, do qual não mais se extrai açúcar, por razões econômicas.

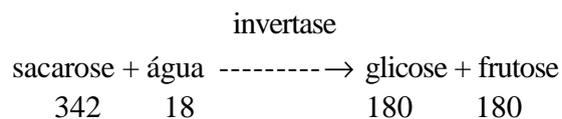
## 17. Cálculo do rendimento na Fermentação

Geralmente, baseado em álcool produzido por % glicose ou % de açúcares redutores. Multiplica-se a % de sacarose por 1,05, somando com os açúcares redutores, obtendo-se os açúcares totais fermentescíveis (ATF).

Logo, 100 g de sacarose dão 105 gramas de açúcares redutores, que são diretamente fermentescíveis. Assim:

$$\text{ATF \%} = \text{sacarose (real)} \times 1,05 + \text{redutores}$$

logo:



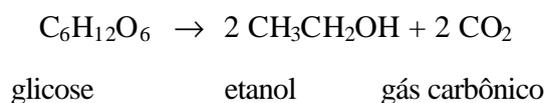
$$\begin{array}{l} 342 \text{ g} \text{ ----- } 360 \text{ g} \quad \therefore \quad x = 1,05 \\ 1 \text{ g} \text{ ----- } \quad x \text{ g} \end{array}$$

sacarose (real) x 1,05 = quantidade de açúcares redutores após inversão  
 açúcares redutores = 1% (já existente no caldo)

assim:

$$\text{ATF\%} = \text{sacarose (real)} \times 1,05 + 1$$

Além disso, a equação de Gay-Lussac, na fermentação alcoólica, estabelece:



180 g                      92 g                      88 g

$$\begin{array}{l} 180 \text{ g} \text{ ————— } 92 \text{ g} \\ 1 \text{ g} \text{ ————— } x \text{ g} \end{array} \quad \therefore \quad x = 0,511 \text{ g de etanol}$$

## 18. Terminologia Industrial

Terminologia	Definição
Caldo absoluto	Caldo em cuja composição entram todos os sólidos solúveis na cana e toda a água da cana.
Caldo do esmagador	Caldo extraído na primeira unidade de esmagamento do conjunto de moendas. Esse caldo não contém água de embebição.
Caldo misto	Mistura dos caldos extraídos em todas as unidades de esmagamento do conjunto de moendas. Compreende a fração extraída do caldo absoluto encontrado nas canas mais a água de embebição, adicionada durante a operação de moagem.
Caldo residual	Caldo fornecido pelo rolo superior e bagaceiro do último terno do conjunto de moendas. Para efeito de controle, admite-se que a pureza do caldo retido no bagaço seja a mesma do caldo residual.
Caldo sulfitado	Caldo misto após passagem pela coluna de sulfitação onde absorveu certa quantidade de anidrido sulfuroso.
Caldo clarificado	Caldo límpido e transparente obtido após as operações de tratamento químico, aquecimento e decantação.
Caldo filtrado	Resultante da operação de filtração do lodo produzido no processo de decantação.
Torta	Resíduo sólido retido nos filtros após a operação de filtração do lodo dos decantadores.
Xarope	Produto resultante da concentração parcial do caldo clarificado.
Massa cozida	Produto resultante da concentração do xarope e méis, constituído de cristais de açúcar em suspensão no mel-mãe.
Méis	Produtos resultantes da separação dos cristais das massas cozidas.

## 19. Critérios para avaliação do estágio de maturação da cana-de-açúcar

Início da safra		Decorrer da safra	
Brix	18% (mínimo)	Brix	18% (mínimo)
Pol	14,4% (mínimo)	Pol	15,3% (mínimo)
Ac. redutores	1,5% (máximo)	Ac. redutores	1,0% (máximo)
Pureza aparente	80,0% (mínimo)	Pureza aparente	85% (mínimo)
Ac.Provável % cana	10,4% (mínimo)	Ac.Provável % cana	11,4% (mínimo)

## 20. Referências Bibliográficas

- ABELES, F.A., MORGAN, P.W., SALTVEIT JR., M.E. **Ethylene in plant biology**. San Diego: Academic Press Inc., 1992, 414p.
- ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing, 1973. 752p.
- ALFONSI, R.R., PEDRO JR., M.J., BRUNINI, O., BARBIERI, U. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. et al. **Cana-de-açúcar**; cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.42-55.
- ARCHER, M.C. Glyphosate trials in Brazil. In: SUGARCANE RIPENING SEMINAR, Rio de Janeiro, 1977, **Proceedings ...** Rio de Janeiro, 1977, p.206-211.
- AZZI, G.M., ALVES, A.S., KUMAR, A. Cane ripening problems and chemical ripeness experiences - Northeast Brazil. In: SUGARCANE RIPENING SEMINAR, Orlando, 1976, **Proceedings ...** Orlando, 1976, p.39-54, 1976.
- AZZI, G.M., ALVES, A.S., KUMAR, A. Chemical ripeness studies with Polaris in sugarcane in Northeast Brazil. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE, 16, 1977. **Proceedings ...**, 1977, p.1653-1669.
- BEAUDRY, R.M., KAYS, S. Applications of ethylene - releasing compounds in agriculture. In: NEUMANN, P.M. (ed.) **Plant growth and leaf-applied chemicals**. Boca Raton: CRC Press, 1988. p.127-155.
- BLACKBURN, F. **Sugarcane**. Singapura: Longman Group Limited, 1984. 414p.
- BRINHOLI, O. **Resistência ao frio de diferentes variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1972. 88p. (Tese) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, 1972.
- BUCHANAN, B.B., GRUISSEM, W., JONES, R.L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1367p.

- BULL, T.A., GLASZIOU, K.T. Sugarcane. In: EVANS, L.T. (ed.) **Crop physiology**. Cambridge: Cambridge University, 1975. p.51-72.
- CÂMARA, G.M.S., CASTRO, P.R.C., CESAR, M.A.A., NOGUEIRA, M.C.S., GLÓRIA, B.A. Efeito de Diquat e Hidrazida maleica no desenvolvimento, florescência e maturação da cana-de-açúcar. p.129-132.
- CAMARGO, A.P. de, ORTOLANI, A.A.V. Clima das zonas canavieiras do Brasil. In: MALAVOLTA, E. et al. **Cultura e adubação de cana-de-açúcar**. São Paulo: POTAFOS, 1964. p.121-138.
- CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.
- CASTRO, P.R.C. Controle da florescência da cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v.4, n.17, p.44-49, 1984.
- CASTRO, P.R.C. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: ENCONTRO CANA-DE-AÇÚCAR. São Paulo, 1992. **Anais ...** São Paulo: Rhodia Agro, 1992, p.4-8.
- CASTRO, P.R.C. Inibidores da florescência e estimulantes da maturação da cana-de-açúcar. In: Encontro cana-de-açúcar. In: ENCONTRO CANA-DE-AÇÚCAR. São Paulo, 1992. **Anais ...** São Paulo: Rhodia Agro, 1992, p.87-91.
- CASTRO, P.R.C., CÂMARA, G.M.S., CESAR, M.A.A., NOGUEIRA, M.C.S. Ação comparada de maturadores em dois cultivares de cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, n.73, p.36-39, 1994.
- CASTRO, P.R.C., CÂMARA, G.M.S., CESAR, M.A.A., NOGUEIRA, M.C.S. Efeitos do Ethephon na maturação de dois cultivares de cana. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, n.79, 1995.
- CASTRO, P.R.C., KLUGE, R.A., PERES, L.E. **Manual de fisiologia vegetal**. São Paulo: Ceres, 2005. 640p.
- CESAR, M.A.A., MAZZANI, M.R. O teor de amido em função do estágio de maturação da cana. **Brasil Açucareiro**, n.1, p.54-62, 1972.

- CLEMENTS, H.F. Flowering of sugarcane: mechanics and control. **Havai Agric. Exp. Station** 1975. 56p. (Technical Bulletin, 92).
- CLEMENTS, H.F., AWADA, M. Experiments on the artificial induction of flowering in sugarcane. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS - ISSCT, 12, Porto Rico, 1965. **Proceedings ...** Porto Rico, 1965, p.554-560.
- COBB, A. **Herbicides and plant physiology**. London: Chapman & Hall, 1992. 175p.
- COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCIA, B.S.; TAMÉS, R.S. **Fisiologia vegetal**. 6.ed. Madri: Ediciones Pirâmide, 2001. 566p.
- CREMLYN, R.J. **Agrochemicals**; Preparations and mode of action. 1991. 396p.
- DAVIES, P.J. **Plant hormones: physiology, biochemistry and molecular biology**. 3ed. Dordrecht: Klumer Academic Publishers, 2004. 750p.
- FLOSS, E.L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. 3.ed. Passo Fundo: Editora da Universidade de Passo Fundo, 751p. 2006p.
- FOLONI, L.L.; SERRA, G.E. Avaliação da eficiência do maturador trinexapac em cana-de-açúcar, em aplicação aérea. Campinas, 1994.
- GALLI, A.J.B. Uso de glifosate (Roundup) como maturador de cana-de-açúcar. In: **Progressos na utilização de Roundup como maturador em cana-de-açúcar**. Ribeirão Preto: Monsanto do Brasil, 1988.
- GALLI, A.J.B. Roundup como maturador da cana-de-açúcar: a melhor opção para flexibilizar o manejo de corte. In: Seminário Roundup efeito maturador. Monsanto do Brasil, Guarujá, p.18-23, 1993.
- GASCHO, G.J., SHIH, S.F. Sugarcane. In: TEERE, I.D., PEET, M.M. **Crop-water relations**. New York: A Wirley Interscience, 1983. p.445-479.
- HESS, F.D. Mode of action of photosynthesis inhibitors. In: **Herbicide action**. West Lafayette, 1993. p.93-109.
- HESS, F.D. Mode of action of Paraquat and Diquat. In: **Herbicide action**. West Lafayette, 1993. p.114-122.

- HESS, F.D. Mode of action of lipid biosynthesis inhibitors. In: **Herbicide action**. West Lafayette, 1993. p.216-228.
- HESS, F.D. Mechanism of action of inhibitors of aminoacid biosynthesis. In: **Herbicide action** West Lafayette, 1993. p.310-326.
- HUMBERT, R.P. **El cultivo de la caña-de-azucar**. México: Companhia Editora Continental S.A., 1974. 719p.
- HUMBERT, R.P. The ripening of sugarcane. In: SUGARCANE RIPENEN SEMINAR, Orlando, 1976, **Proceedings ...** Orlando, 1976, p.2-9.
- IRVINE, J.E. Freezing and Mill cane. **Sugar Journal**, v.30, n.8, p.23-27, 1968.
- KERBAUY, G.B. *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452p.
- KRASILCHICK, D. Flower control with polaris. In: SUGARCANE RIPENEN SEMINAR, Rio de Janeiro, 1977, **Proceedings ...** Rio de Janeiro, 1977, p.72-76.
- LEGENDRE, B.L. Preliminary investigation on the influence of topping height on the yield of sugarcane. **Sugar Journal**, New Orleans, v.56, n.5, p.6-9, 1993.
- LESHEM, Y.Y., HALEVY, A.H., FRENKEL, G. **Process and control of plant senescence**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986. 215p.
- LIEBL, R. Growth regulator herbicides. In: **Herbicide action**. West Lafayette, 1993. p.241-253.
- LOPEZ-HERNANDEZ, J.A. The quality of flowering cane. **Sugar Azucar**, v.60, p.41-42, 1965.
- MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar; cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.56-87.
- MACHADO E.C., PEREIRA, A.R., FAHAL, J.I., ARRUDA, H.V., CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.17, n.9, p.1323-1329, 1982.
- MACMILLAN, J. Gibberellin deficient mutants of maize and pea and the molecular basis of gibberellin action. In: HOAD, G.V., LENTON, J.R., JACKSON, M.B., ATKIN, R.K. (ed.) **Hormone action in plant development; a critical appraisal**. London: Butterworth & Co., 1987. p.73-88.

- MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar; aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C., FERREIRA, S.O., YAMADA, T.Y. (ed.) **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p.113-118.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ULTRAFÉRTIL, 1982. 80p.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola, nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E., HAAG, H.P. Nutrição e adubação. In: MALAVOLTA, E. et al. **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: POTAFOS, 1964. p.237-278.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A.de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**; princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.
- MANGELSDORF, A.J. Sugarcane breeding; in retrospect and improspect. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS (ISSCT), 9, Nova Delhi, 1956. **Proceedings ...** Nova Delhi, 1956, p.560-575.
- MARENCO, R.A., LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 451p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.
- MATOO, A.K., SUTTLE, J.C. **The plant hormone ethylene**. Boca Raton: CRC Press, 1991. 337p.
- MENGEL, K., KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. England: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MODDUS 250 ME - Boletim Técnico. Ciba-Geigy Colombiana. 4p.
- MOORE, T.C. **Biochemistry and physiology of plant hormones**. New York: Springer-Verlag, 1989. 330p.
- MUSONGE, P., KAPSEU, C., NZIÉ, E.B. Effects of the application of chemical ripeness glyphosate on the starch concentration of harvested sugarcane. **Sugar Journal**, New Orleans, v.56, n.8, p.20-22, 1994.

- MUTTON, M.A. Modo de ação do sal de isopropilamina de N(fosfonometil)glicina (glifosate) e efeito maturador na cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO ROUNDUP EFEITO MATURADOR. Monsanto do Brasil, Guarujá, p.9-17, 1993.
- NAYLOR, A.W., DAVIS, E.A. Maleic hydrazide as a plant growth inhibitor. **Bot. Gaz.**, v.12, n.1, p.112-126, 1950.
- NUNES JR., D. Manejo varietal e planejamento de corte com a inclusão de maturadores. In: **Progressos na utilização de Roundup como maturador em cana-de-açúcar.** Ribeirão Preto: Monsanto do Brasil, 1988.
- OLIVEIRA, D.A., CASTRO, P.R.C., ANDRADE, T.L.C., PONTINI, J.C., PANINI, E.L., DAMACENO, A.C., SILVA, J.E., MORAES JR., E.C., VALÉRIO, W.G. Ação do maturador sulfometuron-metil na cana-de-açúcar cultivar SP 70-1143. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.**, v.5, n.1, p.82, 1993.
- PEREIRA, A.R. Previsão do florescimento em cana-de-açúcar. **Comunicação da Pesquisa Agropecuária**, v.3, n.6, p.15-16, 1985.
- PEREIRA, A.R., BARBIERI, V., VILLANOVA, N.A. Condicionamento climático da indução do florescimento em cana-de-açúcar. **Boletim Técnico PLANALSucar**, Piracicaba, v.5, n.3, p.5-14, 1983.
- RESENDE, P.A.P. **MODDUS**. Boletim Técnico da Ciba Agro - Departamento de Marketing e Pesquisa & Desenvolvimento, São Paulo, 1995. 9p.
- ROBERTS, J.A., HOOLEY, R. **Plant growth regulators**. New York: Chapman and Hall, 1988. 190p.
- RODRIGUES, B.N., ALMEIDA, F.S. de. **Guia de herbicidas**. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciências das Plantas Daninhas, 1995. 675p.
- RODRIGUES, J.D. Avaliação da eficiência do maturador trinexapac-etil, em cana-de-açúcar, em aplicação aérea. Botucatu, 1994.
- ROSTRON, H. Radiant energy interception, root growth, dry matter production and apparent yield potential of two sugarcane varieties. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF

- SUGARCANE TECHNOLOGISTS ISSCT, 15, Durben. **Proceedings ...** Durben, 1974, p.1001-1010.
- ROSTRON, H. A review of chemical ripening of sugarcane with Ethrel in Southern Africa. In CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS ISSCT, 16, Rio de Janeiro, 1977. **Proceedings ...** Rio de Janeiro, 1977, p.1605-1616.
- ROSTRON, H. Prolonged chemical ripening of sugarcane following multiple applications of Ethrel. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS ISSCT, 16, Rio de Janeiro, 1977. **Proceedings ...** Rio de Janeiro, 1977, p.1743-1753.
- RUGAI, S., SOUSA, J.A.G.C. Maturação da cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, n.4, p.73-82, 1974.
- SALISBURY, F.B., ROSS, C.N. **Plant physiology**. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992. 682p.
- SCARDUA, R., ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. et al. **Cana-de-açúcar**, cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.373-431.
- STEHLE, H. The principal agronomic aspects of the flowering of sugar cane; growth, methods of cultivation, maturity, deterioration after arrowing, rippen point of cutting. In: BRITISH WEST INDICES SUGAR TECHN., Barbados, 1955. **Proceedings ...** Barbados, 1955, p.49-62.
- SUZUKI, J. **Biossíntese e acúmulo de sacarose em can-de-açúcar (*Saccharum spp*); influência do íon potássio durante diferentes estádios de crescimento em solução nutritiva**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982. 96p. (Tese) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- Universidade de São Paulo, 1982.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 690p.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 690p.
- TAKAHASHI, N. **Chemistry of plant hormones**. Boca Raton: CRC Press Inc., 1988. 277p.
- TAUCONNIER, R., BASSEREAU, D. **La caña de azucar**. Barcelona: Editorial Blume, 1975. 433p.

- THILL, D.C., APPLEBY, A.P., DAWSON, J.H. Sulfonylureas. In: **Herbicide Action**. West Lafayette, 1993. p.288-309.
- TOKESHI, H. Problema do florescimento da cana-de-açúcar no norte-nordeste. IAA/PLANALSucar - Programa Nacional de Melhoramento da cana-de-açúcar, Piracicaba, 1979. 8p.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Georg. Rev.**, v.38, p.55-94, 1948.
- VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: Ckonica Botanica Co., 1952.
- VILLEGAS, F.T., TORRES, J. El maturante y la producion. **Cenicaña**, Cali, n.2, 1993.
- WEAVER, R.J. **Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura**. México: Trillas, 1982. 622p.