

DEFICIÊNCIA DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM  
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum* spp)  
VARIEDADE CB 41-76 CULTIVADA EM SOLUÇÃO NUTRITIVA\*

H.P. HAAG \*\*

W.R. ACCORSI\*\*\*

*RESUMO*

Mudas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* spp) cultivar CB 41-76 foram cultivadas em soluções nutritivas, omitindo - se por vez o N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, com os seguintes objetivos:

1. Obter um quadro sintomatológico da morfologia externa e morfologia interna em função das carências;

2. Verificar o efeito da presença e omissão dos macronutrientes na composição química das folhas (+1, +2, +3); (+4, +5, +6); (+7, +8, +9) e nas bainhas (+4, +5, +6).

Foram constatados e descritos os sintomas de carência dos macro e micronutrientes.

As partículas subcelulares mais afeta-

---

\* Entregue para publicação em 14.11.1978.

\*\* Departamento de Química, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

\*\*\* Departamento de Botânica, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

das pelas carências foram os cloroplastos das células da bainha envolvente dos feixes liberos lenhosos e do parênquima paliçádico adjacente ao limbo.

Níveis nas folhas de plantas sadias e deficientes, expressos em porcentagem na matéria seca, foram:

Nutriente	Sem sintoma	Com sintoma
Nitrogênio	1,28 - 1,3%	0,55 - 0,57%
Fósforo	0,10 - 0,16%	0,05%
Potássio	3,25 - 3,30%	0,71 - 1,75%
Cálcio	0,15 - 0,38%	0,13 - 0,14%
Magnésio	0,08 - 0,12%	0,05%
Enxôfre	0,17%	0,13%

## INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se como produtor mundial de cana-de-açúcar, com área cultivada superior a 2 milhões de hectares (PLANALSUCAR, 1976), com uma produção na safra de 1976-77 de 80 milhões de toneladas de cana.

A variedade CB 41-76 é a mais significativa no Estado de São Paulo, onde representa 32,5% da área cultivada (PLANALSUCAR - 1976).

São escassos em nosso meio ensaios a respeito da fisiologia da cana-de-açúcar e ausentes no que se refere a carência dos nutrientes para a variedade CB 41-76.

Sintomas de carência de nutrientes foram descritos por vários autores entre os quais destacam-se: NANQUIM (1926), MARTIN (1934, 1938, 1941), MAR

TIN & MORIGUCHI (1941), CLEMENTS *et alii* (1941), HUMBERT & MARTIN (1955), EVANS (1955), EVANS (1959) e HAAG (1965).

Os objetivos do presente trabalho são:

1. Obter um quadro sintomatológico da carência dos macro e micronutrientes;

2. Aquilatar o efeito da omissão dos nutrientes nas alterações de alguns constituintes celulares;

3. Verificar o efeito da omissão e presença dos macronutrientes nos diversos órgãos da planta em nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxôfre.

#### MATERIAL E MÉTODOS

Mudas de *Saccharum* spp, cultivar CB 41-76 de 30 cm de altura foram transferidas para vasos de 30 litros de capacidade contendo solução nutritiva de HOAGLAND & ARNON (1950), modificada quanto ao fornecimento de ferro.

Os tratamentos inteiramente casualizados em número de 14, constitutidos pelo tratamento completo e tratamentos complementares omitindo-se um nutriente de vez da solução nutritiva. A técnica detalhada do cultivo das plantas acha-se descrita em HAAG (1965).

Uma vez obtidos os sintomas de carência dos nutrientes as plantas foram coletadas e divididas de acordo com o sistema de KUIJPER, citado por DILLEWJN VAN (1952) o qual permite definir de modo racional a posição da folha no colmo com referência ao seu estágio de desenvolvimento.

Para maior uniformidade na anotação das cores utilizou-se o Atlas de los Colores de VILLALOBOS-

-DOMINGUES & VILLALOBOS (1947), no qual a letra ou letras indicam a cor e seu matiz, o número o valor de luminosidade e o grau expressa a tonalidade do matiz.

Secções de folhas apresentando sintomas de deficiência foram cortadas a mão livre e montadas em água e glicerina em partes iguais e observadas ao microscópio óptico.

As análises químicas foram executadas no material seco de acordo com os métodos usuais nos laboratórios.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### - NITROGÊNIO

#### - Morfologia externa

As plantas submetidas à carência deste elemento, permanecem pequenas, mal desenvolvidas. As folhas apresentam-se menores do que as normais e rígidas o que é devido ao seu menor teor de umidade. O crescimento dos colmos cessa. Sendo pequeno o desenvolvimento da planta tem-se a impressão que as folhas nascem todas do mesmo ponto. A relação parte aérea/raiz diminui.

Os sintomas associados com a deficiência de nitrogênio tem sido descritos por vários autores: NANKIN (1926); MARTIN (1939, 1941); SUZUKI & KENJŌ (1937); CLEMENTS *et alii* (1941) e estão em acordo com os obtidos neste trabalho.

Os sintomas aparecem principalmente nas folhas mais velhas e com o progredir da deficiência tomam conta da planta toda. No início da carência o limbo se apresenta inteiramente de cor verde clara (LIG-13-10♀) ligeiramente tocada ao amarelo (LLY-17-10♀) em confronto com o verde cana da planta

(LIG-10-89). Em seguida as pontas das folhas mais afetadas secam apresentando-se coloração palha (OOY-17-119).

#### - Morfologia interna

Os sintomas associados com esta deficiência manifestam nos cloroplastos da bainha que envolve os feixes liberolenhosos, os quais mostram modificações na forma, textura e coloração. Os cloroplastos perdem a capacidade de se multiplicar. Com o progredir dos sintomas, os cloroplastos fragmentam-se e pouco a pouco desaparecem. Observações similares foram feitas em café (*Coffea arabica* L.) por HAAG (1958) e em goiabeiras (*Psidium guajava* L.) por ACCORSI *et alii* (1960). A bainha dos feixes fica vazia, ocorrendo s seguir idênticas alterações nos cloroplastos das células paliçádicas que envolvem a bainha dos feixes vasculares.

#### - FÓSFORO

##### - Morfologia externa

Plantas vegetando na solução da qual foi omitido o fósforo, apresentam-se bem menores do que as testemunhas. A brotação reduzida e os colmos apresentam internódios curtos. As raízes curtas, atrofiadas e de cor cinza. A relação parte aérea/raiz diminui sensivelmente em relação a da testemunha. Os sintomas de fósforo segundo MARTIN (1934) são os mais difíceis de se distinguir.

Sintomas ligados a deficiência de fósforo foram descritos por vários autores dentro os quais, MARTIN (1934), CLEMENTS *et alii* (1941); HUMBERT & MARTIN (1955). A sintomatologia apresentada por estes autores difere um pouco da obtida neste trabalho.

A deficiência aparece inicialmente nas folhas

mais velhas e se caracteriza por um secamento e re-  
torcimento da ponta, apresentando uma coloração pa-  
lha (OOY-17-119). Posteriormente o secamento cami-  
nha a partir do ápice para o limbo marginando seus  
bordos, de cor palha passando a clorótica e por  
fim verde (L-10-119). No estágio mais avançado a-  
parecem algumas manchas avermelhadas (SSO-13-129),  
pequenas, esparsas, dispostas no sentido do compri-  
mento do limbo.

#### - Morfologia interna

Os cortes foram praticados na região onde o  
limbo mostra, lateralmente as duas faixas amarele-  
cidas. As alterações citológicas manifestam-se a  
uma certa distância da nervura principal e cami-  
nham em direção às margens e consistem nas modifi-  
cações dos cloroplastos da bainha do feixe libero-  
lenhoso, cuja cor vai se esmaecendo tornando-se a-  
marela e em alguns casos adquirem tonalidade ala-  
ranjada. Os cloroplastos do parenquima paliçadi-  
ço, adjacente à bainha do feixe, apresentam também  
idênticas modificações. Além das modificações cro-  
máticas; os cloroplastos fragmentam-se em numero-  
sos grânulos. Nas vizinhanças dos bordos das fo-  
lhas essas alterações são mais pronunciadas. Os  
tecidos possuem células vazias e deformadas. Só o  
arcabouço histológico permanece. No exame dos cor-  
tes resulta que, na região dos sintomas, pode se  
distinguir três zonas:

- 1a. - da nervura principal, de aspecto aparen-  
temente normal.
- 2a. - início de clorose, ligeiramente descora-  
da.
- 3a. - completamente dessecada junto às margens.

## - POTÁSSIO

### - Morfologia externa

Plantas deficientes em potássio se apresentam com o crescimento reduzido, os colmos se tornam finos. Os internódios se apresentam curtos. Há uma diminuição da brotação, mas não de um modo tão drástico como no caso da omissão de nitrogênio e fósforo. As plantas deficientes mostram um quociente parte aérea"raíz, maior do que as plantas normais.

Sintomas de carência de potássio foram descritos por um grande número de pesquisadores, dentre os quais citam-se: CLEMENTS *et alii* (1941); HART (1929, 1934); Mc GEORGE (1929); MARTIN (1934, 1941); NANQUIN (1926); HUMBERT & MARTIN (1955).

A deficiência de potássio manifesta-se inicialmente nas folhas mais velhas que secam na pontadas extremidades e margens para dentro e como no caso da carência de fósforo, as margens do limbo nessa região apresentam faixas estreitas e paralelas. Esse sintoma progride até a base da fôlha. A cordas fôlhas muda de verde intenso (LIG-10-8?) a amarelo pálido (YYO-17-11?) e há o aparecimento no limbo, manchas avermelhadas (SO-7-10?) pequenas e esparsas de forma e contôrno irregulares e que vão aumentando de número e tamanho, resultando manchas maiores. Aos poucos a coloração avermelhada se transforma em parda (SO-7-1?) e no final fica cor de palha (OOY-17-11?), adquirindo centros necróticos.

O sintoma mais típico de deficiência de potássio é o aparecimento de manchas avermelhadas (SO-7-10?) na superfície das nervuras das fôlhas mais velhas, sendo a coloração mais pronunciada nas bases.

- Morfologia interna

Região da nervura principal, face ventral, com manchas avermelhadas.

O exame dos cortes revela que as paredes das células epidérmicas (espessas) e as do esclerênquima (1 a 2 camadas conforme o trecho) são de coloração vermelha. Essa coloração atinge, em alguns casos, as células do parênquima, nas duas primeiras camadas. Não se pode determinar a causa dessa coloração, que tanto ocorre nas paredes celulósicas como nas paredes lignificadas. A princípio, essa coloração é rosada e vermelha em estágios avançados dos sintomas conforme se pode verificar do exame das manchas que na orla são róseas e vermelhas no centro.

As manchas vermelhas do limbo - Nesta região, a cor vermelha é das paredes das fibras dos feixes hipodérmicos, que delimitam os grandes feixes libero-lenhosos. Os dois feixes de fibras ou um apenas podem apresentar-se vermelhos. Trechos de epiderme e partes das membranas das células subjacentes, contiguas ao feixe de fibras, apresentam - se também vermelhas. Nas nervuras menores notam-se idênticos sintomas. A coloração vermelha pode atingir ainda as células que envolvem os tecidos vasculares.

Tecidos verdes (bainhas dos feixes e parênquima paliçádico) - As alterações ocorrem nos cloroplastos e afetam tanto a cor como a forma, começando pela bainha que envolve os feixes e, a seguir, as células do paliçádico. Os cloroplastos apresentam-se como que fragmentados, desfeitos; as vezes, aglutinam-se formando massas. Aos poucos, o conteúdo celular vai adquirindo coloração pardacenta e dessa fase em diante, começam a surgir sintomas secundários.

Alterações histológicas provenientes da carência de potássio foram estudados por diversos auto-

res em outras espécies de planta: NIGHTINGALE *et alii* (1930); PENSTON (1931); MILLIKAN (1953); ACCORSI & HAAG (1960); ACCORSI *et alii* (1960); BUSSELLER (1962).

## - CÁLCIO

### - Morfologia externa

Plantas submetidas a carência de cálcio apresentam um desenvolvimento aparentemente normal. A brotação é ligeiramente afetada sendo os colmos mais finos com a casca mole. O quociente da relação parte aérea/raiz é aumentada.

Sintomas associados com a deficiência de cálcio foram descritos por MARTIN (1958); HUMBERT & MARTIN (1955); EVANS (1955).

As primeiras manifestações de carência deste macronutriente surge nas folhas mais velhas e se caracteriza pelo aparecimento de inúmeras manchas pequenas, pontiformes, vermelhas (SSO-4-6?) e de contorno mais claro. A ocorrência destas manchas, de tamanho, forma, número, tonalidade, variam com a região do limbo. Onde os sintomas são mais pronunciados, o limbo, além de amarelado (YYL-14-8?) mostra grandes manchas pardo-escuras (O-S-9?) (necrosadas), irregulares, em contraposição com as zonas cujos sintomas são menos intensos. As áreas mortas logo coalescem tomando quase toda a folha. Nesses casos, a folha morre rapidamente. As folhas novas se tornam fracas, exibindo uma leve clorose (XY-17-11?).

### - Morfologia interna

Assemelham-se, em parte, aos sintomas de deficiência de potássio. A coloração vermelha ou ferruginosa das pequenas manchas decorre da mudança

de cor das membranas das células epidérmicas, especialmente na sua face externa. A coloração inicial é rósea passando, a seguir, ao vermelho. Esse fato esclarece as diversas tonalidades que as manchas apresentam. Os feixes de fibras que demarcam os tecidos condutores da nervura comportam-se, quanto à cor, de modo idêntico, começando como róseo e terminando como vermelho. A coloração vermelha manifesta-se tanto nas membranas cutilizadas como nas celulósicas e lignificadas, com nuances que variam naturalmente com a intensidade dos sintomas e provavelmente com a composição da membrana. Às vezes, a coloração permanece apenas nas células da epiderme.

As modificações estruturais dos cloroplastos da bainha envolvente dos feixes libero-lenhosos e do parênquima paliçádico seguem, via de regra, a marcha já assinalada para os demais sintomas de deficiência, modificações que determinam, consoante o grau, os diversos aspectos que assumem as manchas. Contudo, em algumas células foram identificadas alguns corpúsculos anelares, de coloração esverdeada, como se fossem cloroplastos escavados em sua parte central.

No parênquima paliçádico constata-se em certos setores um conteúdo pardacento.

## - MAGNÉSIO

### - Morfologia externa

Plantas com carência de magnésio se mostram aparentemente normais, diferenciando-se apenas pelos sintomas foliares externos e internos.

Sintomas de deficiência de magnésio foram obtidos e descritos por MARTIN (1934, 1938); EVANS (1955); HUMBERT & MARTIN (1955).

Os sintomas se manifestam primeiramente nas folhas mais velhas e consistem no aparecimento de manchas cloróticas, pequenas e isoladas no limbo. A medida que crescem, as manchas vão se fundindo, especialmente as situadas nas margens e adquirem coloração avermelhada (SSO-3-69). O ápice foliar desseca tornando-se cor de palha (OOY-17-119). Esse sintoma propaga-se para as margens da folha formando duas faixas estreitas e pardacentas (OOS-6-99). As folhas mais novas perdem a cor verde passando à coloração verde claro (L-14-109).

#### - Morfologia interna

A carência de magnésio ocasiona uma descoloração dos cloroplastos, que se tornam cloróticos. Como nos casos de deficiências anteriores, a clorose começa nos cloroplastos da bainha envolvente do feixe, liber-lenhoso, manifestando-se, a seguir, nas células de fibras que delimitam o feixe libero-lenhoso mostram-se, no início, amarelados, passando depois ao róseo e finalmente com a coloração vermelha, não tão pronunciada como a que se observa com os sintomas de deficiência de potássio e cálcio. Nas áreas onde os sintomas são mais acentuados, os cloroplastos estão completamente desorganizados e as células com conteúdo avermelhado, inclusive as membranas das células da bainha e do parênquima paliçádico. Em certas regiões, próximas às nervuras os tecidos se apresentam pardacentos.

#### - ENXÔFRE

##### - Morfologia externa

Plantas cultivadas em solução nutritiva da qual foi omitido o enxôfre apresentam desenvolvimento aparentemente normal. O número de colmos ligeiramente menor do que os da planta testemunha.

Diversos autores obtiveram e descreveram sintomas de deficiência deste elemento, dentre os quais citam-se, MARTIN (1934, 1938, 1941); HUMBERT & MARTIN (1955); DUTT (1962), sendo que este último constatou a deficiência em condições de campo.

Os sintomas de carência manifestam-se inicialmente nas folhas mais novas. O limbo vai perdendo a sua cor verde (LLG-10-8?) normal e adquire uma tonalidade verde citrina (LIG-13-10?). Com o progredir da carência aparecem no limbo, pequenas manchas, ligeiramente cloróticas, de forma irregular, visíveis principalmente contra a luz e disposta em linha, como as nervuras. Com o evoluir dos sintomas essas manchas se apresentam de cor púrpura (R-4-5?). As folhas mais velhas permanecem de cor verde cana (LIG-10-8?).

#### - Morfologia interna

Os cloroplastos da bainha envolvente dos feixes tornam-se esmaecidos em primeiro lugar e depois os do parênquima paliçádico adjacente. Seguem-se, posteriormente, alterações no estroma plastidial, com a formação de aglomerados amorfos ou então fragmentação dos plastos. Essa clorose dos plastídios verdes ocorre em certas áreas, daí a presença de manchas no limbo. A membrana das fibras dos feixes delimitantes do tecido libero- lenhoso mostra-se um tanto amarelada.

#### - BORO

##### - Morfologia externa

Nas plantas cultivadas em solução carente de boro, após curto tempo, cessa o crescimento devido a morte da gema apical. As folhas mais novas se apresentam enroladas. Os colmos são mais finos e adquirem internamente estrias pardas pouco abaixo

do broto terminal.

Sintomas de deficiência de boro foram constatados por MARTIN (1938); EVANS (1955, 1959); HUMBERT (1955).

Manifestam-se nas folhas mais novas, nas quais aparecem manchas a principio claras, pequenas, dispostas longitudinalmente, paralelas às nervuras. Com o progredir dos sintomas elas se tocam pelas pontas, formando estrias esbranquiçadas (LLY - 15-69) de comprimento e largura variáveis. Em fase mais acentuada, os tecidos das estrias adquirem coloração pardacenta (SO-6-69). A lâmina foliar torna-se quebradiça, como se estivesse dessecada. O ápice apresenta-se enrolado. As gemas apicais morrem e se apresentam de coloração marrom (OOS-7-79). Os colmos internamente apresenta uma coloração parda escura (OOY-8-19) e externamente manchas esbranquiçadas (LLY-14-39). As folhas mais velhas apresentam-se normais, com coloração verde escuro (LIG-10-89).

#### - Morfologia interna

Do exame dos cortes transversais praticados na área dos sintomas, pode-se assinalar, ao microscópio, as seguintes alterações:

1. Os cloroplastos das células paliçádicas contínuas e bainha envolvente dos feixes libero-lenhosos são de um verde oliva, enquanto os desta última é de cor verde normal. A intensidade da coloração paliçádica deve-se em grande parte ao acúmulo de gases retidos nas células e entre as células. A origem desse gás ou gases é desconhecida.

Fenômeno idêntico foi observado por ACCORSI *et alii* (1961) em folhas de eucaliptos (*Eucalyptus tereticornis* Smith), deficientes em boro. Os cortes submetidos ao aquecimento ou a ação do álcool abso

luto desprenderam rapidamente, numerosas bolhas de gás, notadamente nas células paliçádicas, fenômeno que se pode acompanhar ao exame microscópico.

Após a expulsão parcial dos gases a coloração das células paliçádicas apresentam-se mais claras.

2. Os cloroplastos de ambas as camadas de células paliçádicas e da bainha dos feixes libero- lenhosos, experimentaram alterações na forma, no tamanho, na estrutura, na coloração, variáveis com a intensidade dos sintomas. Assim, nas porções do mesofila em correspondência com as manchas claras do limbo, as células paliçádicas e as da bainha envolvente dos feixes estão praticamente vazias, com seu conteúdo citoplasmático desorganizado.

3. As células aquíferas ou motoras ou ainda bulbiformes, revelam modificações estruturais. Fenômeno similar foi observado por EVANS (1959). Inicialmente perdem água, a começar pelas mais externas e conseqüentemente as membranas se retraem, passando a adquirir coloração marrom, o que justifica a mudança de cor nas manchas lineares com o progredir dos sintomas. As células motoras mais profundas sofrem, por seu turno, modificações idênticas as que ocorrem nas mais externas.

4. Finalmente, quando os sintomas estão bem de finidos e bem demarcados, surgem sintomas secundários e o processo de necrose se instala.

#### - COBRE

##### - Morfologia externa

Plantas cultivadas em solução nutritiva da qual foi omitido o cobre, apresentaram um desenvolvimento normal; possivelmente devido não se ter purificado os sais da solução nutritiva.

Sintomas associados com deficiência de cobre foram descritos por ALLISON (1930, 1932); VALLANCE (1951); EVANS (1959). Apesar de não ter se obtido os sintomas descritos pelos autores citados observa-se o seguinte nas folhas mais novas: manchas lineares, de comprimento variável, esparsas pelo limbo; em torno da maioria das manchas há uma orla mais clara, meio amarelada. Em algumas manchas mais longas a parte central se encontra seca.

#### - Morfologia interna

De um modo geral, as alterações provocadas pela carência de cobre no parenquima paliçádico e bainha envolvente dos tecidos condutores, nas membranas celulares e no conteúdo celular, assemelham-se aos da carência de molibdênio e zinco e se traduzem por modificações na forma e na estrutura dos cloroplastos; os quais muitas vezes se aglutinam, dando origem a massas de aspecto variável. A retenção de gases no parênquima paliçádico é mais pronunciada.

Na área das manchas, as membranas celulares e as das fibras mostram coloração que vai do roxo claro ao vermelho e os cloroplastos do parênquima paliçádico são os que se mostram mais afetados, enquanto os da bainha apesar de alterados continuam verdes. Em trechos em que os sintomas são mais pronunciados, as membranas, o conteúdo das células do paliçádico são mais escuros e na bainha envolvente dos tecidos condutores e protoplasma de suas células está desorganizado.

Sintomas anatômicos semelhantes foram observados por REED (1929) em folhas de tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, Mill).

- FERRO

- Morfologia externa

Plantas carentes de ferro apresentam um desenvolvimento retardado, sendo s $\tilde{o}$  superado pelo das plantas deficientes em nitrogênio. Os colmos s $\tilde{a}$ o finos e escassos. A deficiência de ferro se faz sentir no desenvolvimento radicular e é muito característico; o crescimento das raízes primárias é retardado, enquanto as secundárias e terciárias mostram-se extremamente curtas.

Sintomas de deficiência de ferro foram descritos por MARTIN (1938); HUMBERT & MARTIN (1955); EVANS (1959), em condições de campo.

Dentre os sintomas de carência, os de ferro s $\tilde{a}$ o talvez os mais definidos e fáceis de se reconhecer. Surgem nas fôlhas mais novas e constam de estrias p $\tilde{a}$ lidas que aos poucos tornam-se muito pronunciadas.

As estrias verdes (L-15-9 $\text{\textcircled{9}}$ ) em alternância com as faixas cloróticas estendem-se por todo o comprimento das fôlhas. Em algumas semanas as fôlhas novas mostram-se completamente brancas (YYL-17-6 $\text{\textcircled{9}}$ ) e apenas as nervuras e notadamente a principal s $\tilde{a}$ o marginadas por um friso verde (L-17-11 $\text{\textcircled{9}}$ ) realçando as do fundo claro do limbo.

Em est $\tilde{a}$ dio mais avançado a ponta da fôlha mostra-se completamente dessecada e pardacenta (OY-9-9 $\text{\textcircled{9}}$ ). Há um contraste bem patente entre as fôlhas novas que s $\tilde{a}$ o praticamente brancas, as da idade intermediária que s $\tilde{a}$ o parcialmente verdes e ainda um contraste mais acentuado entre as jovens e as velhas de um verde escuro (LLG-10-8 $\text{\textcircled{9}}$ ).

### - Morfologia interna

A deficiência de ferro acarreta o aparecimento de uma clorose que pouco a pouco se vai acentuando até culminar com o desaparecimento completo dos cloroplastos. JACOBSON & OERTLI (1957) observaram fenômeno idêntico em fôlhas de girasol (*Helianthus annuus* L.). O exame microscópico das estruturas em corte transversal do limbo, nas áreas onde os sintomas são mais evidentes, mostram que os cloroplastos do parênquima paliçádico e da bainha que circunda os feixes condutores são os componentes celulares que mais sofreram os efeitos da carência, traduzidos por alterações na cor, na forma, no tamanho e no agrupamento. Dessa fase em diante surgem os sintomas secundários. Nas áreas das manchas pardas, as células da bainha dos feixes condutores encerram um conteúdo escuro, marrom e os dois pequenos feixes de fibras que encimam os tecidos vasculares mostram-se coloridos de róseo até o vermelho intenso.

Em certos trechos da estrutura, assinalam-se ao longo das paredes das células das bainhas, zonas escuras resultantes de gases acumulados nos tecidos.

### - MANGANÊS

#### - Morfologia externa

Plantas cultivadas em solução nutritiva da qual foi omitido o manganês apresentam um desenvolvimento quase normal. As fôlhas e colmos ficam flácidos. O sistema radicular é muito pobre.

Sintomas de manganês foram descritos por DAVIS (1931); MARTIN (1931, 1934); HUMBERT & MARTIN (1955); EVANS (1959).

Aparecem a princípio nas fôlhas mais novas e consiste no aparecimento de uma clorose na lâmina

foliar, cujos efeitos são mais nítidos na porção terminal e pronunciados nos bordos. Nesta região verifica-se que a clorose apresenta estrias lineares (Y-17-99) de comprimento variável, paralelas às nervuras e as que se situam nas imediações das margens são mais nítidas que as outras (Y-17-129). As estrias tomam direções do meio e das extremidades e as vezes continuam por todo o comprimento das folhas. Esta característica diferencia a carência de ferro e de manganês. O ápice foliar ostenta coloração de palha (OOY-17-119). A dessecação avança das marvens para a nervura principal.

#### - Morfologia interna

O exame microscópico dos cortes revela que nas manchas cloróticas os cloroplastos do parênquima paliçádico e os da bainha envolvente dos feixes libero-lenhosos, estão esmaecidos, exibindo alterações morfológicas de diversos graus, traduzidos por modificações na forma e na contextura, culminando por se apresentarem fragmentadas em pequenos grânulos esverdeados. Nas áreas em que a clorose está em andamento, podem ser anotados cloroplastos nos diversos graus de modificações por que passam. As células do parênquima paliçádico, além das alterações assinaladas para as da bainha dos feixes, mostram-se um tanto escuras, como que sombreadas, em consequência dos gases acumulados nas células ou entre elas.

Nas áreas onde existem manchas marrons, os tecidos estão mortos, em fase de necrose, e os tecidos condutores com as paredes celulares vermelhas e as células do parênquima paliçádico, bem como as da bainha, com conteúdo marrom-pardacento. As membranas das células epidérmicas, nas zonas das manchas, também são coloridas.

## - MOLIBDÊNIO

### - Morfologia externa

Plantas cultivadas em solução nutritiva a qual não foi adicionado molibdênio, apresentam um desenvolvimento aparentemente normal, tanto em altura, como em produção de colmos.

Até hoje não se conhece com exatidão a sintomatologia da falta de molibdênio. EVANS (1955), descreve sintomas associados a baixo teor deste elemento em cana cultivada em Roraima e são concordantes com os obtidos neste trabalho. Primeiramente nas folhas mais velhas que se apresentam de cor verde mais escura do que as normais. Posteriormente surgem no limbo numerosas manchas pontiformes, pequenas, aglomeradas e que em estádios mais avançados, se fundem em manchas maiores, formando placas grandes, de coloração avermelhada, visíveis em ambas as faces do limbo.

### - Morfologia interna

A semelhança do que ocorre com as alterações provocadas pela carência de zinco, as alterações manifestam-se nos cloroplastos do parênquima paliçádico os quais além de se modificarem na forma, se aglutinam. Nessa face já se percebe o escurecimento da célula, o qual se estende às outras tomando o parênquima o aspecto de um anel escuro. Na bainha adjacente dos tecidos condutores os cloroplastos também modificados na forma e no contorno comumente se aglutinam em massas amorfas, de coloração escura.

Afora as alterações nos cloroplastos, outras referentes à coloração se manifestam nas membranas celulares da epiderme, nas fibras e nas células do parênquima. A princípio é de tonalidade violácea, tornando-se depois avermelhadas, motivando a colo-

ração de manchas. Em estádios mais avançados, o conteúdo celular torna-se pardo ou violáceo.

- ZINCO

- Morfologia externa

Plantas submetidas a carência de zinco mostram um desenvolvimento normal.

Sintomas de deficiência de zinco foram obtidos e descritos por EVANS (1959). No presente trabalho não se obteve um quadro sintomatológico idêntico ao de EVANS (1959). Os sintomas surgem nas folhas intermediárias e constam de pequenas manchas ferruginosas, pontiformes umas, alongadas outras, localizadas na zona terminal do limbo, onde chegam a formar aglomerados, formando manchas maiores. Os bordos e as mais novas perdem a cor verde (LLG-10-89) passando a um verde esmaecido (LIG-13-79).

- Morfologia interna

As alterações ocorrem no parênquima paliçádico que circunda a bainha adjacente dos tecidos condutores, cujos cloroplastos experimentam modificações no aspecto e também na sua consistência, pois há numerosos plastos aglutinados, culminando com a formação de uma massa esverdeada. Alterações histológicas similares foram observadas em folhas de milho por REED (1938).

- COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é constituída essencialmente por três elementos: hidrogênio, oxigênio e carbono que perfazem mais de 99% de seu peso fresco, sendo o restante, cerca de 1%, constituído por outros elementos dentre os quais figuram os nutrientes es-

senciais.

São diversos os fatores que influem na composição química da cana-de-açúcar, variedade, idade, clima, água, doenças, pragas e nutrientes. A intensidade de absorção de macronutrientes durante o ciclo da vida da cana-de-açúcar é diferente de elemento para elemento; no caso de um mesmo elemento é, por outro lado, maior ou menor de acordo com o período considerado.

- Composição química das folhas (+1, +2, +3)

A Tabela 1 apresenta as percentagens de: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre contidos nas folhas (+1, +2, +3).

- Nitrogênio

Houve diferença significativa no teor de nitrogênio em relação ao tratamento completo nos tratamentos dos quais se omitiu nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio.

O tratamento no qual se omitiu o potássio acusou um aumento significativo no teor de nitrogênio em relação ao do tratamento completo. É conhecido o fato de que plantas deficientes em potássio apresentam um aumento de amino ácidos livres (RICHARDS, 1954; EATON, 1952).

A acumulação de ácidos aminados livres é explicada por WALL (1939), que afirma ser o potássio necessário para a condensação dos ácidos aminados em proteínas; RICHARDS & TEMPLEMAN (1936), conclue que o potássio não está envolvido diretamente na síntese de proteínas, mas que é necessário para manter o complexo protoplasmático. STREET (1963) afirma que microsomas supridos em ácidos aminados, ATP,  $Mg^{++}$  e  $K^+$  são particularmente ativos na síntese de proteínas.

O tratamento no qual se omitiu o cálcio apresentou uma diminuição significativa em relação ao tratamento, "macro + micronutrientes". Segundo STEINBERG (1951) e GAUCH (1957) o cálcio interfere no metabolismo do nitrogênio. BURSTROM (1954) citado por GAUCH (1957) verificou que o cálcio é necessário para a absorção de  $\text{NO}_3^-$ .

Na omissão do fósforo da solução nutritiva acarretou uma diminuição significativa no teor de nitrogênio em relação ao tratamento completo. CLEMENTS *et alii* (1941) observaram que o teor de nitrogênio nas folhas (+1, +2, +3) na cana-de-açúcar provenientes do tratamento no qual foi omitido o fósforo apresentava-se mais elevado do que no tratamento completo.

#### - Fósforo

Houve diferença significativa no teor de fósforo nos tratamentos dos quais se omitiu nitrogênio ou potássio.

No tratamento do qual se omitiu o nitrogênio as plantas cresceram lentamente, apresentando em consequência um aumento de fósforo. Fato semelhante foi constatado por CLEMENTS *et alii* (1941) em cana-de-açúcar.

A omissão de potássio na solução nutritiva causou um aumento significativo no teor de fósforo quando comparado ao tratamento completo. HARTT (1934), constatou que plantas de cana deficiente em potássio absorviam mais fósforo, ferro, cálcio, magnésio e silício do que as plantas bem supridas em potássio. SUZUKI & KENJO (1936), constataram que folhas de cana deficientes em potássio, apresentavam teores mais elevados em fósforo do que nas folhas bem nutridas em potássio. No Hawaii, em condições de campo foi constatado que a cana deficiente em potássio, apresentava teores elevados

em fósforo nas folhas e nas raízes (ANONIMO, 1963).

Observa-se que no tratamento no qual se omitiu o fósforo não houve diminuição no teor deste nutriente. Explica-se pelo fato de que o fósforo foi translocado das folhas mais velhas para as mais novas, fenômeno bem conhecido em fisiologia vegetal.

#### - *Potássio*

O teste estatístico acusou uma diferença significativa no teor de potássio nos tratamentos nos quais se omitiu nitrogênio, fósforo ou potássio (Tabela 1).

No tratamento do qual se omitiu o nitrogênio as plantas tiveram um crescimento lento, e sendo a cana-de-açúcar, grande assimiladora de potássio, houve em consequência uma concentração deste elemento nas folhas (+1, +2, +3).

As folhas do tratamento no qual se omitiu o potássio apresentaram um teor de potássio bem menor do que as do tratamento completo.

#### - *Cálcio*

Somente o tratamento no qual se omitiu o cálcio apresentou uma diferença mínima significativa no teor de cálcio em relação ao tratamento completo. Interessante nota-se que apesar do teor em cálcio nestas folhas ser menor do que a metade do valor das folhas bem nutridas, não exibiram sintomas de deficiência.

#### - *Magnésio*

Houve uma diferença significativa no teor de magnésio em relação ao do tratamento completo nos

Tabela 1 - Teores percentuais de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas (+1, +2, +3,)\*.

Tratamento	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	S%
Macro + micro-nutrientes	1,28 (6,45)	0,10 (1,84)	3,25 (10,36)	0,38 (3,58)	0,12 (2,03)	0,11 (1,91)
Omissão de nitrogênio	0,55 (4,25)	0,32 (3,26)	4,46 (12,15)	0,46 (3,90)	0,14 (2,13)	0,31 (3,18)
Omissão de fósforo	0,77 (5,05)	0,11 (1,91)	4,52 (12,20)	0,37 (3,50)	0,12 (2,00)	0,21 (2,63)
Omissão de potássio	1,35 (7,49)	0,26 (2,90)	1,75 (7,56)	0,54 (4,19)	0,23 (2,79)	0,37 (3,50)
Omissão de cálcio	0,80 (5,15)	0,10 (1,87)	2,99 (9,92)	0,15 (2,24)	0,14 (2,19)	0,19 (2,53)
Omissão de magnésio	1,28 (6,46)	0,09 (1,70)	3,66 (10,98)	0,42 (3,71)	0,05 (1,24)	0,18 (2,43)
Omissão de enxofre	1,16 (6,15)	0,08 (1,64)	3,18 (10,25)	0,46 (3,87)	0,18 (2,43)	0,10 (1,84)
d.m.s. (Tukey 5%)	0,82	0,52	0,83	0,74	0,44	1,10
CV%	5,63	7,41	3,48	7,54	8,41	13,96

\* Os dados desta tabela e das demais foram transformados pelo emprego da expressão  $\text{arc sen } \sqrt{x}$ , sendo x as porcentagens dos elementos e se acham entre parenteses.

tratamentos dos quais se omitiu o potássio ou o magnésio.

O tratamento no qual se omitiu o potássio acusou um aumento significativo no teor de magnésio em relação ao do tratamento completo. HAAG (1958), observou fenômeno idêntico em fôlhas de cafeeiro, cultivados em solução nutritiva carente em potássio. EVANS (1955), observou que fôlhas de cana-de-açúcar provenientes de um ensaio de campo, deficientes em potássio, apresentavam um alto teor de magnésio, cerca de 0,4%. Este antagonismo dificulta de sobre maneira a determinação dos níveis críticos para o magnésio.

A omissão de magnésio na solução nutritiva acarretou uma diminuição significativa no teor deste elemento em relação ao teor de magnésio nas fôlhas do tratamento completo.

#### - Enxofre

Houve uma diferença mínima significativa no teor de enxofre em relação ao do tratamento completo nos tratamentos dos quais se omitiu o nitrogênio ou o potássio.

O tratamento no qual se omitiu o potássio acusou um aumento significativo no teor de enxofre em relação ao tratamento completo.

Não se encontrou explicação na literatura para o presente fenômeno.

#### - Composição química das fôlhas (+4, +5, +6)

A Tabela 2 apresenta as percentagens de: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre contidas nas fôlhas (+4, +5, +6).

Tabela 2 - Teores percentuais de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas (+4, +5, +6) \*.

Tratamento	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	S%
Macro + micro-nutrientes	1,38 (6,72)	0,16 (2,27)	3,30 (10,42)	0,20 (2,50)	0,08 (1,69)	0,12 (2,23)
Omissão de nitrogênio	0,57 (4,35)	0,45 (3,85)	4,46 (12,43)	0,51 (4,11)	0,15 (2,08)	0,36 (3,44)
Omissão de fósforo	1,24 (6,35)	0,05 (1,36)	3,68 (11,04)	0,61 (4,47)	0,12 (1,97)	0,20 (2,58)
Omissão de potássio	1,47 (6,96)	0,29 (3,11)	1,00 (5,69)	0,90 (5,38)	0,21 (2,64)	0,34 (3,32)
Omissão de cálcio	1,02 (5,84)	0,13 (1,98)	3,15 (10,14)	0,13 (2,07)	0,11 (1,90)	0,13 (2,09)
Omissão de magnésio	1,72 (7,49)	0,12 (2,26)	3,20 (10,16)	0,33 (3,19)	0,05 (2,32)	0,12 (1,93)
Omissão de enxofre	1,16 (6,21)	0,13 (2,04)	3,13 (10,04)	0,18 (2,21)	0,13 (2,07)	0,15 (2,21)
d.m.s. (Tukey 5%)	0,82	0,52	0,83	0,74	0,44	1,10
CV%	5,63	7,41	3,48	7,54	8,41	3,96

\* Os dados desta tabela foram transformados pelo emprego da expressão  $\text{arc sen } \sqrt{x}$ , sendo x as porcentagens de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre.

- *Nitrogênio*

Houve uma diferença mínima significativa no teor de nitrogênio em relação ao do tratamento completo nos tratamentos dos quais se omitiu o nitrogênio, cálcio ou magnésio.

No tratamento do qual se omitiu o cálcio acusou uma diminuição significativa no teor de nitrogênio em relação ao do tratamento completo.

No tratamento do qual se omitiu o magnésio acusou um aumento significativo no teor de nitrogênio em relação ao do tratamento completo. Em bananeiras deficientes em magnésio FREIBERG & STEWARD (1960), constataram um aumento significativo no teor de ácido aspártico e glutâmico, ocorrendo talvez fenômeno idêntico em cana-de-açúcar.

- *Fósforo*

Houve uma diferença mínima significativa no teor de fósforo em relação ao do tratamento completo nos tratamentos de fósforo em relação ao do tratamento completo nos tratamentos nos quais se omitiu o nitrogênio, o fósforo ou o potássio.

O tratamento no qual se omitiu o nitrogênio, acusou um aumento significativo no teor de fósforo em relação ao tratamento completo. Este aumento no teor de fósforo foi devido ao fato de que as plantas deficientes em nitrogênio cresceram pouco, havendo em consequência um acúmulo de fósforo nas folhas.

O tratamento no qual se omitiu o fósforo acusou uma diminuição significativa no teor de fósforo, como era esperado, em relação ao tratamento completo.

O tratamento no qual se omitiu o potássio acusou um aumento significativo no teor de fósforo em

relação ao do de potássio possivelmente seja devido a um efeito indireto. É conhecido o efeito antagonico do potássio sobre o magnésio. JACOB (1958), apresenta uma excelente revisão de literatura sobre o assunto. WALLACE citado por JACOB (1958), observou que *Ribes grossularia* (planta silvestre) cultivada em solução nutritiva carente em potássio apresentou um alto teor de magnésio nas fôlhas. Por outro lado, TRUOG *et alii* (1947), constataram a existência de uma correlação positiva entre os teores de fósforo e magnésio em diversas plantas.

#### - Potássio

O teste estatístico acusou uma diferença mínima significativa no teor de potássio em relação ao do tratamento completo nos tratamentos aos quais se omitiu o nitrogênio ou o potássio.

O tratamento no qual se omitiu o nitrogênio acusou um aumento significativo no teor de potássio em relação ao tratamento completo. Como já foi visto anteriormente, trata-se de um efeito de "concentração" devido ao pouco desenvolvimento das plantas deficientes em nitrogênio.

O tratamento no qual se omitiu o potássio acusou uma diminuição significativa no teor de potássio em relação ao do tratamento completo.

#### - Cálcio

Houve uma diferença mínima significativa no teor de cálcio em relação ao do tratamento completo nos tratamentos aos quais se omitiu o nitrogênio, o fósforo ou o potássio.

O tratamento no qual se omitiu o nitrogênio acusou um aumento significativo no teor de cálcio em relação ao do tratamento completo. Possivelmente

trata-se de um efeito de "concentração" já observado.

O tratamento no qual se omitiu o fósforo acusou pelo teste estatístico um aumento significativo no teor de cálcio quando confrontado com o do tratamento completo. Não se achou aplicação na literatura para o presente fenômeno.

Digno de nota é o fato de que apesar do teor de cálcio não ter deferido estatisticamente daquele do tratamento completo, as folhas mostravam sintomas de deficiência deste nutriente.

O tratamento no qual se omitiu o potássio acusou um aumento significativo no teor de cálcio, em confronto ao do tratamento completo. O antagonismo cálcio-potássio foi constatado na cana-de-açúcar em condições de campo, num ensaio de adubação, por HUMBERT (1963). Aumentando o nível da adubação potássica, correspondia a um decréscimo no teor de cálcio e magnésio, como se pode observar a seguir.

K <sub>2</sub> O libras/acre	teores percentuais dos elementos nas folhas		
	Ca	Mg	K
0	0,49	0,17	1,07
200	0,30	0,08	3,02
400	0,27	0,07	3,85

#### - Magnésio

Houve uma diferença mínima significativa no teor de magnésio em relação ao do tratamento completo nos tratamentos nos quais se omitiu o potássio ou o magnésio.

O tratamento no qual se omitiu o potássio, acu

sou um aumento significativo no teor de magnésio em relação ao do tratamento completo. Este fato foi constatado e comentado anteriormente.

No tratamento no qual se omitiu o magnésio houve uma diminuição significativa no teor deste elemento em relação ao do tratamento completo, como era de se esperar.

Houve uma diferença mínima significativa no teor de enxôfre em relação ao do tratamento completo nos tratamentos dos quais se omitiu o nitrogênio ou o potássio.

O tratamento no qual se omitiu o nitrogênio acusou um aumento significativo no teor de enxôfre em confronto ao do tratamento completo. Trata-se de um efeito de "concentração" como foi visto anteriormente.

No tratamento do qual se omitiu o potássio houve um aumento significativo no teor de enxôfre confrontado com aquele do tratamento completo.

- Composição química das fôlhas (+7, +8, +9)

A Tabela 3 apresenta as percentagens de: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxôfre contidos nas fôlhas (+7, +8, +9).

- *Nitrogênio*

Nenhum tratamento acusou uma diferença mínima significativa no teor de nitrogênio em relação ao do tratamento completo.

- *Fósforo*

Somente o tratamento no qual se omitiu o potás

Tabela 3 - Teores percentuais de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas (+7, +8, +9) \*

Tratamento	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	S%
Macro + micro-nutriente	1,44 (6,80)	0,18 (2,46)	3,30 (10,47)	0,13 (2,04)	0,08 (1,67)	0,11 (1,86)
Omissão de nitrogênio	-	-	-	-	-	-
Omissão de fósforo	-	-	-	-	-	-
Omissão de potássio	1,39 (6,80)	0,37 (3,49)	0,71 (4,84)	1,25 (6,55)	0,22 (2,60)	0,39 (3,58)
Omissão de cálcio	1,19 (6,38)	0,16 (2,27)	3,65 (10,72)	0,13 (2,10)	0,09 (1,84)	0,11 (1,94)
Omissão de magnésio	1,57 (7,14)	0,18 (2,43)	3,60 (10,94)	0,16 (2,29)	0,07 (1,57)	0,10 (1,86)
Omissão de enxofre	1,62 (7,34)	0,17 (2,34)	3,36 (10,57)	0,25 (2,88)	0,09 (1,87)	0,13 (2,06)
d.m.s. (Tukey 5%)	0,54	0,46	1,41	1,11	0,51	0,96
C.V. %	2,5	5,6	4,8	10,6	8,0	13,0

\* Os dados desta tabela foram transformados pelo emprego da expressão  $\text{arc sen } \sqrt{x}$ , sendo x as porcentagens dos elementos acima.

sio, acusou um aumento significativo no teor de fósforo em relação ao do tratamento completo. Este fato foi observado em todos os órgãos da cana-de-açúcar, com exceção das folhas secas e da bainha (+4, +5, +6) no presente trabalho e por HARTT (1934), SUZUKI & KENJO (1936) e ANÔNIMO (1963).

- *Potássio*

O tratamento no qual se omitiu o potássio, acusou uma diminuição significativa no teor de potássio em relação ao do tratamento completo.

- *Cálcio*

Somente o tratamento no qual se omitiu o potássio acusou um aumento significativo no teor de cálcio, quando confrontado com o tratamento completo. Este fato foi verificado nas folhas (+4, +5, +6).

- *Magnésio*

Houve diferença mínima significativa somente no teor de magnésio em relação ao do tratamento completo somente no tratamento no qual se omitiu o potássio. Este fato já foi constatado anteriormente nas folhas (+1, +2, +3) e (+4, +5, +6), não sendo constatado nas folhas secas e na bainha (+4, +5, +6).

- *Enxôfre*

Somente o tratamento no qual se omitiu o potássio, acusou uma diferença mínima significativa no teor de enxôfre em relação ao do tratamento completo.

- Composição química das folhas secas

A Tabela 4 apresenta as percentagens de: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre contidas nas folhas secas.

- *Nitrogênio*

Não houve uma diferença mínima significativa no teor de nitrogênio em relação ao do tratamento completo em nenhum dos tratamentos.

- *Fósforo*

O teste estatístico não acusou uma diferença mínima significativa no teor de fósforo nos diversos tratamentos quando testados com o tratamento completo.

- *Potássio*

Houve uma diferença mínima significativa no teor de potássio em relação ao do tratamento completo nos tratamentos dos quais se omitiu o potássio ou o cálcio.

O tratamento no qual se omitiu o potássio acusou uma diminuição significativa no teor de potássio quando confrontado com o do tratamento completo. Isto indica que as plantas estavam realmente deficientes e que parte do potássio se translocou para as folhas mais novas.

No tratamento do qual se omitiu o cálcio, houve uma diminuição significativa no teor de potássio. CLEMENTS (1958), demonstrou a existência, na cana-de-açúcar, de uma correlação negativa entre o cálcio e o potássio; o que foi constatado no presente trabalho.

Tabela 4 - Teores percentuais de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas secas \*

Tratamento	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	S%
Macro + micro nutrientes	0,80 (5,17)	0,07 (1,49)	3,65 (11,03)	0,85 (5,30)	0,18 (2,50)	0,27 (3,00)
Omissão de nitrogênio	-	-	-	-	-	-
Omissão de fósforo	0,90 (5,91)	0,05 (1,26)	4,48 (12,20)	0,27 (2,99)	0,17 (2,35)	0,32 (3,49)
Omissão de potássio	0,60 (4,91)	0,44 (3,80)	0,88 (5,33)	1,06 (5,88)	0,23 (2,75)	0,42 (3,72)
Omissão de cálcio	0,48 (4,04)	0,10 (1,82)	2,61 (9,26)	0,23 (2,78)	0,15 (2,35)	0,31 (2,99)
Omissão de magnésio	0,74 (4,90)	0,06 (1,37)	3,61 (10,93)	0,06 (1,48)	0,06 (1,48)	0,18 (2,44)
Omissão de enxofre	0,75 (4,96)	0,07 (1,49)	3,10 (10,14)	0,80 (5,13)	0,19 (2,52)	0,16 (2,26)
d.m.s. (Tukey 5%)	1,14	0,95	1,28	0,81	0,57	1,00
C.V. %	8,4	8,7	4,8	7,6	8,6	12,1

\* Os dados desta tabela foram transformados pelo emprego da expressão  $\text{arc sen } \sqrt{x}$ , sendo x as porcentagens dos elementos acima.

- *Cálcio*

Houve uma diferença mínima significativa no teor de cálcio em relação ao do tratamento completo, nos tratamentos aos quais se omitiu o fósforo ou o cálcio.

O tratamento no qual se omitiu o fósforo acusou uma diminuição significativa no teor de cálcio quando confrontado ao do tratamento completo.

O tratamento no qual se omitiu o cálcio, apresentou uma diminuição significativa no teor de cálcio em relação ao do tratamento completo. Estudos realizados no Hawaii em cana-de-açúcar com cálcio marcado ( $^{45}\text{Ca}$ ) demonstraram que o cálcio é menos móvel que o fósforo e o potássio, mas mais móvel do que o enxofre.

- *Magnésio*

Somente o tratamento no qual se omitiu o magnésio acusou uma diferença mínima significativa no teor de magnésio em relação ao do tratamento completo.

- *Enxofre*

Nenhum tratamento acusou uma diferença mínima significativa no teor de enxofre, quando comparado ao do tratamento completo.

- Composição química da bainha (+4, +5, +6)

A Tabela 5 apresenta as percentagens de: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre contidas nas bainhas (+4, +5, +6,).

Tabela 5 - Teores percentuais de N, P, K, Ca, Mg e S na baidha (+4, +5, +6) \*

Tratamento	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	S%
Macro + micro nutrientes	1,16 (6,10)	0,07 (1,49)	4,30 (12,01)	0,21 (2,64)	0,17 (2,43)	0,17 (2,31)
Omissão de nitrogênio	0,40 (3,62)	0,16 (2,34)	3,75 (11,09)	0,58 (4,37)	0,12 (2,28)	0,46 (3,87)
Omissão de fósforo	1,31 (6,54)	0,05 (1,28)	4,75 (12,52)	0,35 (3,40)	0,15 (2,21)	0,29 (3,11)
Omissão de potássio	0,75 (4,95)	0,31 (3,17)	0,80 (5,08)	0,53 (4,18)	0,23 (2,75)	0,49 (3,99)
Omissão de cálcio	1,05 (5,91)	0,19 (2,58)	4,37 (12,05)	0,14 (2,09)	0,16 (2,26)	0,11 (2,35)
Omissão de magnésio	0,99 (5,66)	0,19 (2,28)	4,75 (12,38)	0,23 (2,77)	0,05 (1,32)	0,12 (1,98)
Omissão de enxofre	1,26 (6,36)	0,16 (2,27)	4,62 (12,38)	0,26 (2,96)	0,17 (2,31)	0,16 (2,26)
d.m.s. (Tukey 5%)	0,82	0,52	0,83	0,74	0,44	1,10
C.V. %	5,6	7,41	3,48	7,54	8,41	10,46

\* Os dados desta tabela foram transformados pelo emprego da expressão  $\text{arc sen } \sqrt{x}$ , sendo x as porcentagens dos elementos contidos acima.

- *Nitrogênio*

Somente nos tratamentos nos quais se omitiu o nitrogênio ou o potássio houve uma diferença mínima significativa no teor de nitrogênio, comparado ao do tratamento completo.

O tratamento no qual se omitiu o nitrogênio apresentou uma diminuição significativa no teor de nitrogênio em relação ao do tratamento completo, o que já foi observado por HUMBERT e MARTIN (1955) no Hawaii.

No tratamento com omissão de potássio, houve uma diminuição significativa no teor de nitrogênio em relação ao do tratamento completo. Este fato foi constatado em condições de campo por HUMBERT (1955), e em solução nutritiva por HUMBERT & MARTIN (1955).

- *Potássio*

O tratamento no qual se omitiu o potássio, acusou pelo teste estatístico uma diferença mínima significativa no teor de potássio em relação ao do tratamento completo. As bainhas (+4, +5, +6) e as folhas (+7, +8, +9) são os órgãos da parte aérea na cana-de-açúcar que melhor refletem o estado nutricional deste elemento. No Hawaii são analisados conjuntamente bainhas (+4, +5, +6) e o 8 - 10 internódio do colmo para fins de diagnose foliar (HUMBER, 1958).

- *Fósforo, cálcio, magnésio e enxofre*

Em nenhum dos tratamentos nos quais se omitiu o fósforo, o cálcio, o magnésio ou o enxofre, o teste estatístico acusou uma diferença mínima significativa no teor destes elementos em relação ao tratamento completo.

## CONCLUSÕES

Foram constatados sintomas de carência de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn.

As partículas subcelulares mais afetadas pelas deficiências foram os cloroplastos das células da bainha envolvente dos feixes libero lenhosos e do parênquima paliçádico adjacente ao limbo.

Plantas não deficientes e deficientes apresentaram os seguintes valores porcentuais médios, em função da matéria seca:

Nutriente	Não deficiente	Deficiente
N	1,28 - 1,38%	0,55 - 0,57%
P	0,10 - 0,16%	0,05%
K	3,25 - 3,30%	0,71 - 1,75%
Ca	0,15 - 0,38%	0,13 - 0,14%
Mg	0,08 - 0,12%	0,05%
S	0,17%	0,13%

## SUMMARY

MINERAL NUTRITION OF SUGAR CANE (*Saccharum officinarum* spp)  
VAR. CB 41-76 GROWN IN NUTRIENT SOLUTION

The present work was carried out in order to study:

1. The symptoms of deficiency of macro and micronutrients;
2. The modification induced by those treatments in the histological make up of the leaves;
3. The effect of the deficiency on the chemical

composition of leaves (+1, +2, +3), (+4, +5, +6), (+7, +8, +9) and sheaths (+4, +5, +6).

Young sugar cane plants were grown in nutrient solution, two treatments being used: complete solution (HOAGLAND & ARNON, 1950), deficient solution, in which a given nutrient were omitted.

Symptoms of malnutrition were observed in all treatments.

The deficiencies affected the characteristic of the chloroplast observed through the histological examinations.

Non deficient and deficient levels for the macronutrientes in the leaves expressed in function of the dry matter were:

Element	Deficient	Non deficient
N	0.55 - 0.57%	1.28 - 1.38%
P	0.05%	0.10 - 0.16%
K	0.71 - 1.75%	3.25 - 3.30%
Ca	0.13 - 0.14%	0.15 - 0.38%
Mg	0.05%	0.08 - 0.12%
S	0.13%	0.17%

#### LITERATURA CITADA

ACCORSI, W.R.; HAAG, H.P., 1960. Alterações morfológicas e citológicas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. *Bourbon*) cultivado em solução nutritiva, decorrentes das deficiências e excesso dos macronutrientes. Revista do Café Portugues, Sep. Nº 14.

- ALLISON, R.V., 1930. The role of special elements in plant development upon peat and much soils of the Everglades. Rep. Fla. Agric. Expt. Sta., 129.
- ALLISON, R.V., 1932. The use of less common elements as soil amendmets for sugar cane production in South Florida. Proc. 4 th Congr. ISSCT 1 - 16.
- ANÔNIMO, 1963. Expt. Sta. HSPA Retp. Honolulu.
- BUSSLER, N., 1962. Vergleichende Untersuchungen an Kali-Mangel pflanzen. Verlag Chemie, Berlin.
- CLEMENTS, H.F.; MARTIN, J.P.; MORIGUCHI, S., 1941. Composition of sugar cane plants grown in deficient nutrient solutions. Haw. Plant Rec. 45: 227-239.
- DAVIS, L.E., 1931. Manganese as an essential element in the growth of sugar cane. Haw. Plant. Rec. 35: 393-400.
- DILLEWJIN, C. VAN, 1952. Botany of sugar cane. The Chronica Botanica Co., Mass, U.S.A.
- DUTT, A.K., 1962. Suphur deficiency in sugar-cane. Emp. J. Exp. Agric. 30: 257-262.
- EATON, S.V., 1952. Effects of potassium deficiency on growth and metabolism of sunflower plants. Bot. Gaz. 114: 165-180.
- EVANS, H., 1955. Studies in the mineral nutrition of sugar cane in Br. Guiana. II. The mineral status of sugar cane as revealed by foliar analysis. Trop. Agr. Trinidade, 32: 295-322.
- EVANS, H., 1959. Elements other than nitrogen, potassium, and phosphorus in the mineral nutrition of sugar cane. Pro. 10 th Congr. ISSCT, 473-508.

- FREIBERG, S.R.; STEWARD, F.C., 1960. Physiological investigations on the banana plant. III. Factors which affect the nitrogen compounds of the leaves. *Ann. Botany* 24: 157-247.
- GAUCH, H.G., 1957. Mineral nutrition of plant. *Ann. Rev. Plant Phys.* 8: 31-64.
- HAAG, H.P., 1958. Efeitos das deficiências e excessos de macronutrientes no crescimento e na composição (*Coffea arabica* L. var. *bourbon* (B. Rodr.) Choussy) cultivado em solução nutritiva. Tese, Piracicaba, S. Paulo.
- HAAG, H.P., 1965. Estudos de Nutrição Mineral na Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L. Var. CB 41-76) cultivada em solução nutritiva. Tese, Piracicaba, S. Paulo.
- HARTT, C.E., 1934. Some effects of potassium upon the amounts of protein and amino forms of nitrogen, sugar, and enzyme activity of sugar cane. *Plant. Phys.* 9: 453-490.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I., 1950. The water method for growing plants without soil. *Calif. Agr. Exp. Sta., Calif., Circ.* 347.
- HUMBERT, R.P., 1955. Nutrient balance in sugar cane nutrition. *Haw. Plant. Rec.* 55: 47-54.
- HUMBERT, R.P.; MARTIN, J.P., 1955. Nutricional deficiency symptoms in sugar cane. *Haw. Plant. Rec.* 55: 95-102.
- HUMBERT, R.P., 1958. Potash fertilization in the Hawaiian sugar industry. *Proc. 6 th Congr. ISSCT*, 319-344.
- HUMBERT, R.P., 1963. *The growing of sugar cane*, Elsevier Publ. Co., Amsterdam, London, New York.
- JACOBSON, N.L.; DERTLI, J.J., 1956. The relation between iron and chlorophyll contents in chlorotic sunflower leaves. *Plant Phys.* 31: 199-204.

- JACOB, A., 1958. Magnesium. The fifth major plant nutrient. Staples press limited, London.
- MARTIN., J.P., 1934. Symptoms of malnutrition manifested by sugar cane plant when grown in culture solution from which certain essential elements are omitted. Haw. Plant. Rec. 38: 3-30.
- MARTIN, J.P., 1938. Sugar cane diseases in Hawaii. Exp. Sta. Haw. Sug. Plant Assoc., pp. 295.
- MARTIN, J.P., 1941. Varietal differences of sugar cane in growth, yields, and tolerance to nutrient deficiencies. Haw. Plant. Rec. 45: 79-91.
- MILLIKAN, C.R., 1953. Nutritional disorders in subterranean clover. Rept. Agr. Victorial Tech. Bull. 11.
- NANQUIN, W.P., 1926. Plant food deficiency and its relation to root rot. Ref. Book Sug. Ind. World 4: 51-53.
- NIGHTINGALE, G.T.; SHERMERHORN, L.G.; ROBBINS, W.R., 1930. Some effects of potassium deficiency on the histological structure and nitrogenous and carbohydrate constituents of plants. New Jersey Agr. Exp. Sta. Bull. 499.
- PENSTON, N.L., 1931. Studies of the physiological importance of the minerals elements in plants. III. A study by microchetato plant. Ann. Botany 45: 673-692.
- PLANALSUCAR, 1976. Relatório Anual de 1976 do PLANALSUCAR, Piracicaba, São Paulo.
- REED, H.S., 1929. The relation of copper and zinc salts to leaf structure. Am. J. Botany 26: 29-33.
- REED, H.S., 1938. Cytology of leaves affected with "little-leaf". Am. J. Botany 25: 174-186.

- RICHARDS, E.J.; TEMPLEMAN, W.G., 1936. Physiological studies in plant nutrition. IV. Nitrogen metabolism in relation to nutrient deficiency and age in leaves of barley. *Ann. Botany* 50: 367-402.
- RICHARDS, E.J.; BERNER, E., 1954. Physiological studies in plant nutrition XVII. A general survey of the free amino acids of barley as effected by mineral nutrition with special reference to potassium supply. *Ann. Botany* 18: 15-33.
- SUZUKI, K.; KENJO, M., 1936. The water culture experiments with sugar cane plant. Part e. The nitrogen deficiency experiment. Report of the Government Sugar Exp. Sta., Tainan, Formosa.
- STEINBERG, R.A., 1951. *Em* Mineral nutrition of plants. Univ. Wiscoursin, USA.
- STREET, H.E., 1963. Plant metabolism. The Mac Millan company, New York.
- TRUOG, E.; GOATES, R.J.; GERLOFF, G.C.; BERGER, K.C., 1947. Magnesium-phosphorus relationships in plant nutrition. *Soil Sci.* 63:19-25.
- VALLANCE, L.G., 1951. Advances in sugarcane culture in Queensland. *Emp. J. Exptl. Agric.* 19:13.
- VILLALOBOS-DOMINGUEZ, C.; VILLALOBOS, J., 1947. Atlas de los colores. Libreria El Atenes, Buenos Aires, Argentina.
- WALL, M.E., 1939. The role of potassium in plant. I. Effects of varying amounts of potassium on nitrogenous, carbohydrate and mineral metabolism in the tomato plant. *Soil Sci.* 47:143-161.

