

Produtividade

Recuperação e manutenção

da fertilidade dos solos

José Luiz Ioriatti Demattê *

Diversas práticas agrícolas concorrem para a recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. Neste artigo, serão abordados a avaliação do estoque de nutrientes, a relação entre o cálcio e o sistema radicular da cana-de-açúcar, a ação do calcário e do gesso, a dinâmica dos cátions básicos (Ca, Mg e K), a relação entre calcário, gesso e a produtividade da cana, a quantidade de nutrientes extraída pela cana, o caso do nitrogênio, o parcelamento da adubação nitrogenada e a questão da lixiviação como resposta da cana às adubações fosfatada e potássica, a adubação da cana-palha, os silicatos, a adubação com micronutrientes, a combinação nematicida e eficiência de



*Plantio e distribuição de mudas no sulco;
Usina da Barra, Barra Bonita, SP; 2001*

fertilizantes, além de alguns comentários sobre a agricultura de precisão.

A produtividade da cana-soca, em função da saturação por bases (V%), em talhões comerciais da Usina Barra Grande, em Lençóis Paulista-SP, pode ser observada na Tabela 1. No segundo corte da RB806043, a produtividade foi de 70 t/ha, contra a média dos demais talhões de 87 t/ha. Por outro lado, no décimo corte, a produtividade da SP71-1406, localizada em ambiente A, foi de 62 t/ha, então elevada, se se considerar o número de cortes.

O principal fator que levou à queda acentuada da produtividade da RB 806043 e da grande longevidade da SP71-1406 foi a fertilidade dos solos. A V% do primeiro caso apresentou valor baixo na primeira camada, e extremamente baixos na subsuperfície, até os 100 cm de profundidade. No outro caso, o valor da saturação de bases é elevado, tanto na superfície, como na subsuperfície, até 100 cm de profundidade. Portanto, no primeiro caso, o solo está empobrecido, tanto na superfície, como na subsuperfície, e não tem suporte para grandes produtividades. A baixa saturação por bases em profundidade restringe o desenvolvimento radicular e, em consequência, o volume de solo explorado pelas raízes, o que não ocorreu no segundo caso.

Em princípio, as bases para a recuperação da fertilidade dos solos seriam as seguintes:

- Em relação ao primeiro caso, elevar e manter o nível da saturação das bases na faixa de 40 a 65% na superfície do solo, e pelo menos na faixa de 40% até os 60 cm de profundidade do solo. Essa recuperação deve ser feita com o uso de calcário e de gesso.
- No segundo caso, de solos férteis, é importante não deixá-los empobrecer. Posteriormente, haverá necessidade de enriquecer a superfície do solo com fósforo, assim como equilibrar a quantidade de micronutrientes,

o que poderá ser feito com o uso de fertilizante mineral ou orgânico.

AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE NUTRIENTES

Para avaliação do estoque de nutrientes, são utilizadas as diagnoses visual e a foliar, assim como as análises do solo. Para complementação, podem-se utilizar as análises do caldo da cana. Para a diagnose visual, usam-se os critérios dos sintomas de deficiências nas folhas da cultura. No caso do nitrogênio, há amarelamento generalizado nas folhas, pouco perfilhamento e colmos finos. No caso de deficiência de fósforo, há redução e atraso no desenvolvimento do sistema radicular, o que tende a refletir no menor desenvolvimento da cultura da cultura. Tais deficiências, principalmente a do nitrogênio, podem ser mascaradas com a época de observação (período seco) ou com determinadas doenças (estria vermelha).

A diagnose foliar é avaliada através das análises das folhas, usando as faixas de teores indicadas por Raij e Cantarella (1996). Os cuidados a serem tomados nesse exame são os seguintes:

- Uniformidade da área em relação à idade da cultura, variedade, categoria de corte; coletar a folha + 3, usando o terço médio para análise em época de

maior desenvolvimento da cultura, normalmente no período vegetativo, em torno de seis meses para cana-planta e socas de início e meados da safra e três meses para socas de final de safra; coletar na faixa de 20 a 30 folhas por talhão (10 a 12 ha).

- A amostragem dos solos para a avaliação da fertilidade deve ser feita três a cinco meses antes do plantio, retirando-se 12 a 15 amostras simples, para uma área de 12 a 15 ha. Amostrar nas duas profundidades, 0-25 e 26-50 cm. Nas canas-socas, é recomendado amostrar no corte anterior e na entrelinha; se o caso for de correção da saturação por bases, amostrar em duas profundidades. A densidade de amostragem pode ser maior, 20 a 30 ha, dependendo da variabilidade da área. Atualmente, tem-se tentado correlações entre solo-variedade-análise do caldo, para calibrar melhor o aspecto nutricional da cultura, principalmente para os macronutrientes.

CÁLCIO E SISTEMA RADICULAR

Uma das limitações dos solos na região tropical úmida é a baixa fertilidade em profundidade, e isso se reflete no menor volume explorado pelo sistema radicular e, em consequência, na menor produtividade. Em cana-de-açúcar, a

TABELA 1 | PRODUTIVIDADE DA CANA-SOCA E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS DA REGIÃO DE LENÇÓIS PAULISTA-SP. SAFRA 1995/1996

PROFUNDIDADE	Al	Ca	Mg	CTC	V
cm	cmol/dm ³				%
RB806043 – 2º Corte – 70 t/ha (ambiente E)					
0-25	0,24	0,49	0,38	3,47	27
25-50	0,81	0,07	0,03	3,20	5
50-75	0,84	0,05	0,02	3,01	6
75-100	1,02	0,05	0,03	2,98	5
SP71-1406 – 10º Corte – 62 t/ha (ambiente A)					
0-25	0,12	6,27	1,12	10,89	62
25-50	0,17	5,50	0,92	8,63	74
50-75	0,10	4,35	0,89	7,37	71
75-100	0,12	4,50	1,11	7,61	73

profundidade do sistema radicular no Brasil atinge os 60 cm, contra 160 em outros países. Portanto, um dos objetivos no manejo da fertilidade desses solos é favorecer o maior volume de exploração radicular.

Em trabalho feito no Brasil Central, Ritchey et al. (1981) observaram que, após calagem, houve redistribuição do cálcio até 110 cm de profundidade; ao mesmo tempo, houve tendência de distribuição das raízes de trigo, em função desses teores de cálcio, tanto no primeiro ano como após o quarto ano. Trabalhando na calibração do gesso e do calcário em solos de baixa CTC na cultura da cana, Morelli et al. (1987) encontraram a mesma correlação entre cálcio e sistema radicular. Após 27 meses de instalação do experimento, o tratamento com 2,8 t/ha de gesso indicou a distribuição do cálcio e das raízes até 150 cm de profundidade.

ACÇÃO DO CALCÁRIO E DO GESSO

Historicamente, o uso do calcário na cultura da cana tem sido controverso, principalmente em relação às respostas na produtividade. No final da década de 1970 e início da de 1980, eram comuns informações de que o calcário não aumentava a produtividade e por isso não haveria necessidade de seu uso. Além disso, ao longo da década de 1980, diversas recomendações para o uso do calcário, assim como das fórmulas para o cálculo da quantidade do corretivo, foram sugeridas, entre elas o teor de Al, o teor de Ca+Mg, o pH, os níveis críticos de Ca e Mg etc.

Foi somente a partir de meados da década de 1980 que esse tema tomou um rumo mais consistente, e os resultados permitiram uma linha de recomendação mais segura. Benedini e Korndörfer (1988), em diversos experimentos, sugeriram o uso do cálculo da necessidade da calagem pela expressão: $NC = (3 - (Ca+Mg) * 100) / PRNT$, onde NC = Necessidade de calagem em t/ha a 20 cm de profundidade, Ca+Mg em $cmol/dm^3$ e

PRNT=Poder Relativo de Neutralização do Calcário. Como essa sugestão não leva em consideração a CTC do solo, à medida que aumenta esse valor, pode aumentar também o teor de Ca+Mg, podendo ser superior a $3 cmol/dm^3$ e, nesse caso, não haveria necessidade de calcário. Com isso, criou-se um impasse, pois experimentos com solos de elevada CTC e teor de Ca+Mg superior a $3 cmol/dm^3$, porém com V% abaixo de 30%, tem respondido positivamente à aplicação do corretivo.

Posteriormente, esses autores, assim como Penatti e Forti (1994), corrigiram esse caso, indicando que, para solos que apresentem CTC maior que $5,5 cmol/dm^3$ e V abaixo de 15%, deve-se utilizar, pelo menos, 2 t/ha de calcário a mais do que a dose recomendada pela Copersucar, ou optar pela fórmula desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas, que leva em consideração a CTC: $NC = 100 \cdot (Vf - Vi) \cdot CTC / PRNT$, onde: Vf= saturação de bases desejada; Vi=saturação de bases do solo por ocasião da calagem; CTC =Capacidade de Troca de Cátions em $cmol/dm^3$.

Tais fórmulas levam em consideração a NC até 20 cm de profundidade. Entretanto, é necessário, em cana-planta e em solos pobres em profundidade, aplicar o corretivo a, pelo menos, 30 cm. A sugestão seria usar o somatório da quantidade de calcário a 0-20 cm, usando a CTC desta análise, acrescida da quantidade de 20-30 cm, ou seja: $NC = (Vf - Vi) \cdot CTC^1 + \frac{1}{2} (Vf - Vi) \cdot CTC^2 / PRNT$, onde CTC^1 corresponde à análise de 0-20 cm e a CTC^2 à análise de 20-40 cm. Para o sucesso dessa prática, recomenda-se incorporar o calcário o mais profundo possível, até 40 cm, principalmente, em solos argilosos. Trabalhos têm indicado que o cálculo teórico da NC não corresponde ao aumento da saturação por bases desejada. Devido a esse fato, tem-se aplicado 20% a mais do calcário. Como já foi enfatizado, o uso do gesso auxilia a recuperação química do solo em profundidade, além de fornecer cálcio e enxofre à cultura. Seu uso pode

TABELA 2 | QUANTIDADE APROXIMADA DE GESSO A SER APLICADA DE ACORDO COM A CTC E V% DO SUBSOLO

CTC ($mmol/dm^3$)	V%	GESSO (t/ha)
	<10	2
Menor que 30	10-20	1,5
	20-35	1
30-60	<10	3
	10-20	2
	20-35	1,5
60-100	< 10	3,5
	10-20	3
	20-35	2,5

Fonte: Demattê (1986)

ser direcionado no plantio e nas soqueiras, dependendo do tipo de planejamento implantado. O cálculo para a quantidade de gesso a ser aplicada para cana-planta ou soca pode ser feito em função da CTC e da saturação por bases do solo, de acordo com a análise da segunda camada (20-40 cm) (Tabela 2).

Há necessidade de alguns esclarecimentos quanto ao método de aplicação desses dois insumos. Teoricamente, e para melhor eficiência da ação do gesso no transporte de nutrientes em profundidade, ele deveria ser aplicado de três a seis meses após o calcário. Entretanto, tal procedimento é difícil de ser executado e, sendo assim, sugere-se armazenar os insumos um ao lado do outro na lavoura e aplicá-lo um em seguida do outro. Aparentemente, os resultados obtidos com esse procedimento têm sido satisfatórios.

A recuperação química é relativamente rápida em solos de baixa CTC, independentemente da textura. Entretanto, a recuperação em solos de elevada CTC é mais cara e demanda mais tempo, justamente devido ao elevado poder tampão desses solos.

É recomendado que a recuperação química de solos de elevado poder tampão seja feita ao longo dos anos, em vez de tentar fazê-la de uma única vez. Por

outro lado, um solo de CTC elevada, uma vez recuperado, demora mais tempo para perder a fertilidade, em relação a um solo de baixa CTC.

DINÂMICA DAS BASES (Ca, Mg, K)

Ao longo da exploração agrícola, os teores dos nutrientes tendem a cair, principalmente as bases, mais rapidamente nos solos de baixa CTC. Em experimento de longa duração, Morelli et al. (1992), trabalhando na calibração de doses de calcário e de gesso, em solos de baixa CTC, avaliaram os valores de V% após 8 e 18 meses do plantio da cana. Aos oito meses, e com as doses crescentes de gesso, houve aumento, porém de menor expressão, da saturação por bases em profundidade. Aos 18 meses, houve redistribuição dos resultados em profundidade, porém com diminuição dos valores na superfície. Com o calcário, a situação de decréscimo é a mesma, porém há diferenças expressivas nos valores de V%. Quando há associação do calcário com o gesso, a redistribuição em profundidade é mais eficiente e duradoura.

Examinando-se o comportamento isolado do cálcio e do magnésio, após 18 meses de aplicação, os autores notaram o empobrecimento do Mg, quando se utilizou o gesso isoladamente, como no tratamento 4 t/ha. Nesse tratamento, o teor de Mg na testemunha era de 0,17 cmol/dm³ na superfície e passou para 0,06 cmol/dm³. Na profundidade de 100-150 cm, o teor de Mg na testemunha, que era de 0,02 cmol/dm³, passou para 0,13 cmol/dm³. Por outro lado, quando se associou o calcário com o gesso (tratamento 4 t/ha de calcário+2 t/ha de gesso) houve enriquecimento em profundidade, tanto para o Mg como para o Ca. Sendo assim, é importante que o uso do gesso deva ser sempre acompanhado pelo calcário, a menos que os resultados das análises de solos indiquem o contrário.

TABELA 3 | PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR, EM SOLO ARENOSO ÁCIDO TRATADO COM CALCÁRIO E GESSO (QUATRO CORTES)

TRATAMENTOS		1º CORTE	2º CORTE	3º CORTE	4º CORTE	DIFER. PARA	
CALCÁRIO	GESSO	(7/88)	(7/89)	(8/90)	(9/91)	SOMA	TESTEMUNHA
t/ha		t cana/ha					
0	0	121,8	98	88	88	395	-
0	2	128,8	103	93	100	424	29
0	4	129,7	109	96	110	444	49
0	6	130,7	109	96	111	446	51
2	0	128,8	107	94,0	110	439	44
2	2	131,4	109	98,0	116	454	59
2	4	140,4	116	99,9	112	467	72
2	6	133,1	111	95,4	117	456	61
4	0	130,0	110	97	113	449	56
4	2	140,0	119	100	125	482	87
4	4	133,5	119	102	116	469	73
4	6	135,1	129	95	113	471	76
6	0	126,1	106	95	112	439	44
6	2	128,8	110	104	125	467	72
6	4	130,7	109	96	117	452	57
6	6	126,7	117	103	126	472	77

CALCÁRIO, GESSO E PRODUTIVIDADE

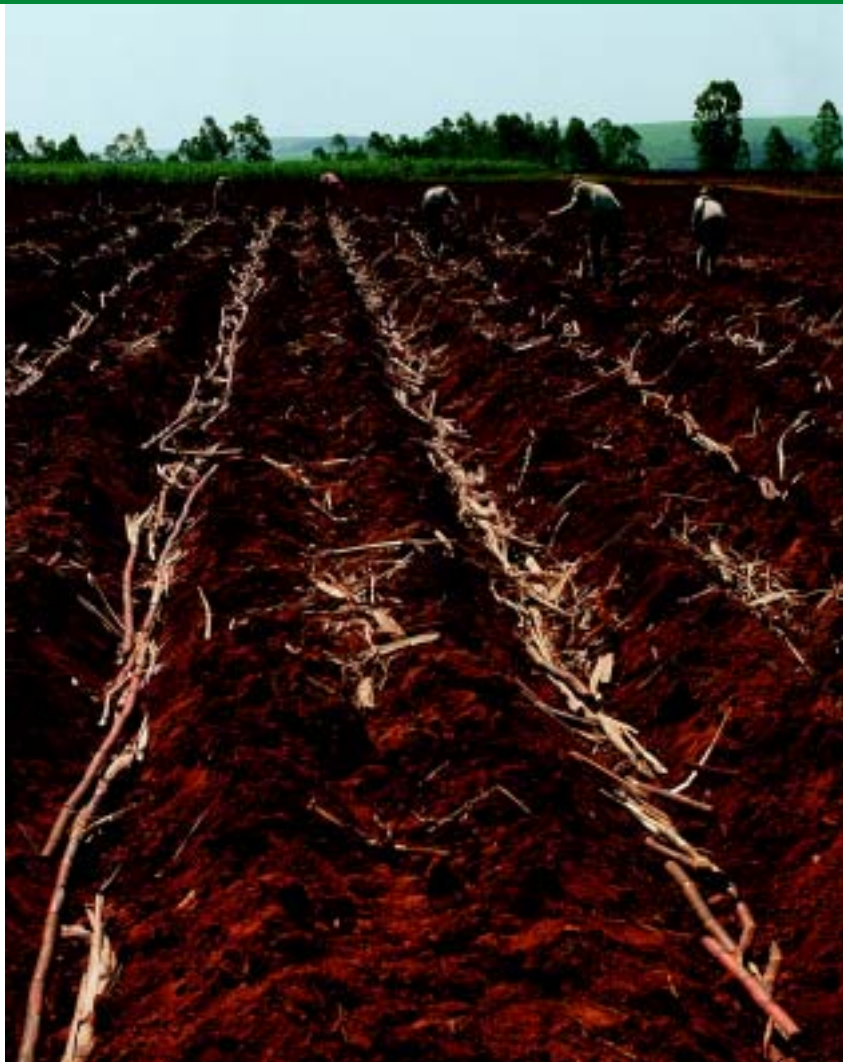
O uso do corretivo é componente fundamental na recuperação dos solos, assim como no aumento da produtividade, haja vista o grande número de resultados experimentais positivos, principalmente quando associado com o gesso (Penatti e Forti, 1994). Neste caso em particular, Morelli et al. (1992), em trabalho de longa duração, com quatro cortes, usando calcário e gesso em solo de baixa CTC, obtiveram resultados expressivos (Tabela 3).

A aplicação do calcário, como corretivo do solo, é indicada em área total e, se possível, com incorporação, se bem que a aplicação também no sulco tem tido efeito positivo. Em plantio direto, pode-se optar pela aplicação de 2/3 em área total e 1/3 dentro do sulco. Tem sido discutida a questão da relação Ca/Mg, principalmente quando se usa o gesso. Morelli et al. (1992) observaram que produtividades elevadas foram obtidas com

relações Ca/Mg variando de 3,9 a 8,9, o que vem comprovar que não há necessidade dessa relação ser menor. O que deve ser levado em consideração, neste caso, é o cuidado de não deixar que o teor de Mg atinja valores mínimos, que possam comprometer sua absorção.

Após a recuperação química e ao longo dos cortes, os teores de Ca e Mg do solo tendem a cair, com maior velocidade nos solos de baixa CTC. Assim é que, em trabalho de longa duração, cinco cortes, com solo de CTC baixa, Morelli et al. (1987) verificaram que, para o tratamento de 2,5 t/ha de calcário, associado com 1,5 t/ha de gesso, aplicado por ocasião do preparo do solo, a saturação por bases era de 15 e 7%, respectivamente, a 0-20 cm e 20-50 cm de profundidade.

Após o primeiro corte, a saturação na camada superficial era de 52 e 38%, respectivamente, para as duas profundidades, caindo gradativamente ao longo dos cortes e atingindo valores próximos à do estado inicial, após o quinto corte.



Disposição de mudas no sulco de plantio na Estação Experimental de Piracicaba (CTEP-CTC); Piracicaba, SP, 1984

Mediante esses resultados, conclui-se que há necessidade de se aplicar novamente os corretivos no meio do ciclo da cultura. Com base nessas evidências, Lorenzetti et al. (1992), em quatro experimentos aplicando calcário, gesso e fósforo em soqueiras e em solos de valores variados de CTC, obtiveram acréscimos de produtividade praticamente em todos os casos analisados. Com isso, um talhão que iria ser reformado passou a dar mais cortes. A associação do calcário com o fósforo foi favorável ao aumento da produtividade, porém o mesmo não ocorreu com o gesso. Isso se explica porque o usado continha fósforo, e, além disso, o gesso não altera o pH do solo. O uso em soqueira desses produtos pode ter efeito residual nos cortes

subseqüentes. Demattê (1986) observou que a aplicação de 2 t/ha, logo após o primeiro corte de uma SP70-1143 promoveu acréscimo de produtividade de 8 t/ha. Nos cortes seguintes, o efeito residual propiciou acréscimos nesse tratamento de 19 e 12 t/ha, respectivamente, num total nos três cortes de 37 t/ha.

As recomendações quanto ao uso desses produtos em soqueiras será em função das análises de solos da camada superficial, indicado para o calcário, e da subsuperfície, indicado para o gesso. Quando a saturação por bases estiver abaixo de 45% na camada superficial, usa-se o calcário (determinar a necessidade do calcário usando a recomendação do IAC, com a Vf para 60%). Quando esse valor estiver abaixo de 40%, na

segunda camada, usa-se o gesso. Haverá casos em que devem ser aplicados os dois insumos. Os produtos são aplicados em área total, na superfície do solo, e, quando possível, incorporado ligeiramente, por ocasião do cultivo.

NUTRIENTES EXTRAÍDOS PELA CANA

A cultura da cana-de-açúcar é grande extratora de nutrientes do solo. Para formação de 1 t de colmo, a literatura tem indicado variações de 0,9 a 1,32 kg de nitrogênio; 0,20 a 0,69 kg de P_2O_5 ; 1,2 a 1,8 kg de K_2O ; 0,70 a 0,95 de CaO; 0,56 a 0,86 de MgO e 0,30 a 0,36 de S. A quantidade de nutrientes a ser suprida pela cultura pode ser dada pela expressão: "Quantidade de nutrientes = (necessidade da planta-reserva no solo).f".

O fator f, de aproveitamento do fertilizante pelas raízes da planta, visa corrigir as possíveis perdas sofridas nos processos que ocorrem entre a aplicação do fertilizante e a absorção, entre elas as perdas por erosão, volatilização (no caso da uréia e aquamônea), lixiviação (para nitrato e potássio), fixação (para fosfato), queima da palhada (volatilização do N e SO_2). Em função dessas perdas, pode-se estimar a percentagem média de aproveitamento dos nutrientes, a saber 30 a 40% para o fósforo e 70% para o potássio. Em relação ao nitrogênio, sua ação no solo é muito influenciada pela matéria orgânica e, sendo assim, o aproveitamento é extremamente variável. No caso de cana-soca, o aproveitamento está na faixa de 25 a 30% e, na cana-planta, o valor é mais baixo.

NITROGÊNIO

As respostas à adubação nitrogenada no plantio são não conclusivas, enquanto nas socas são mais consistentes. O N aplicado, uma vez em contato com o solo, entra no complexo matéria orgânica, morta ou viva, sofrendo as reações de imobilização e mineralização, cuja dimensão, infelizmente, é pouco conhecida ainda em

nossos solos, principalmente na cultura canavieira. Em relação à cana-planta, Azeredo et al. (1986) e Carnauba (1990) mostraram que, em 135 experimentos de campo, nas mais diversas regiões canavieiras do Brasil, somente 19% indicaram acréscimos significativos na produtividade, devido à adubação nitrogenada. De 1990 até Gava et al. (2003), outros experimentos foram testados, com as mesmas tendências de respostas.

Se considerar que a cana extrai na faixa de 0,92 a 1,2 kg/t de colmo, como explicar produtividades de primeiro corte na faixa de 115 t/ha, como no ano agrícola 2002 (Copersucar), com doses de N de 0 a 60 kg/ha? Nessa linha de trabalho, Morelli et al. (1997a) obtiveram 148 t/ha no primeiro corte, em Latossolo de textura média arenosa, com dose zero de N. Trabalhos relacionados a aprofundar esse tema têm sido desenvolvidos, principalmente sobre o N marcado, liderado por Trivelin, no Cena, em Piracicaba (Trivelin et al., 1995, 1996) e pelo grupo de microbiologia (Dobereiner, 1983). O aparente não empobrecimento em N do solo e a manutenção da produção da cana sugerem que a cultura pode obter seu N a partir de outros meios, ou então o próprio solo fornecer o N por outros caminhos. Como fonte alternativa de N para a cana, citam-se:

- **N mineralizado dos restos de cultura da própria cana** — Barnes (1964) indica que, dos 100% do N da cultura, 14% estão na forma de soqueira e 4,6% na de raiz.
- **N mineralizado da matéria orgânica do solo** — Greenland (1986) considera que, em ambiente tropical úmido, 5% da matéria orgânica do solo estão na forma de N e que a taxa de mineralização anual é de 2%.
- **N armazenado no tolete de plantio** — Carneiro (1995) observou que as reservas de N no tolete, um total de 12 kg, são transferidas parcialmente (50%) para os tecidos da cultura principal.

- **Práticas agrícolas** — A calagem, associada com a mobilização do solo e com o período quente e úmido por ocasião do preparo dos solos, acelera o processo de mineralização. O uso do gesso favorece o desenvolvimento radicular em profundidade, que pode captar mais nitrogênio.

- **Fixação biológica** — Em 1961, Dobereiner encontrou diversas bactérias fixadoras de N, tanto na rizosfera, quanto na superfície das raízes. A partir daí, outros pesquisadores identificaram grande diversidade de bactérias fixadoras de N em cana (Arias et al., 1978), assim como identificaram serem elas dependentes das variedades (Urquiaga et al., 1997), encontrando valores de 52,3% do N fixado pela SP70-1143 e 46 % na SP71-799.

De acordo com Morelli et al. (1987), os cálculos grosseiros para estimar a quantidade de N estocado no solo, usando a mineralização do N da matéria orgânica, na faixa 0-50 cm de profundidade, assim como o N mineralizado pelo ciclo de cinco cortes da soqueira, acrescido pelas reservas do N no tolete, chegou a um total de 135 kg de N mineralizado, suficiente para suprir grande parte da demanda do N pela cana-planta, em todos os experimentos testados. Não foi estimada a fixação biológica. Resultados experimentais foram obtidos por técnicos da Copersucar (2000, Boletim, n. 115), em três experimentos sobre adubação nitrogenada em cana-planta (doses de 0 a 90 kg/ha), em solos de texturas contrastantes, desde os arenosos aos argilosos, e em 40 variedades SPs e RBs. Tais autores observaram que as respostas também foram inconclusivas. No caso da RB72454, houve resposta no solo arenoso, mas não no argiloso. No Latossolo de textura média, das 40 variedades testadas, somente duas responderam. A análise conjunta mostrou haver retorno econômico com aplicação do N na faixa de 40 a 60 kg/ha, para as variedades responsivas.

PARCELAMENTO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO PLANTIO

A prática do parcelamento da adubação nitrogenada tem sido efetuada, principalmente pelos fornecedores de cana, mais por tradição e por algumas usinas, estas mais pelo receio das perdas do N por lixiviação. Da mesma maneira que os resultados da adubação nitrogenada no sulco de plantio são inconclusivos, o mesmo tem se repetido no parcelamento, tanto por via solo como por aplicação aérea. Morelli et al. (1997a) instalaram cinco experimentos sobre parcelamento do N no plantio, em Areia Quartzosa, com teor de argila de 8% na superfície e 12% na subsuperfície. Os autores observaram que não houve resposta ao fracionamento do N, da mesma maneira que os resultados da Copersucar (1998, Boletim, n. 91). Possíveis explicações:

- O próprio estoque de N do solo, como visto anteriormente;
- O parcelamento normalmente é feito no início das chuvas, período de máxima mineralização do N orgânico.

Por outro lado, a operação de parcelamento implica no “fechamento” do sulco de plantio, ou seja, há necessidade de um cultivo. Tem-se constatado perda de produtividade com essa operação, além da quebra do efeito dos herbicidas e danificação dos perfilhos. A perda de produtividade está mais relacionada à perda de umidade do solo, devido ao processo de escarificação ainda no período seco, assim como ao rompimento de raízes. O parcelamento do N via aérea foi muito utilizado durante a década de 1980 e início da de 1990, e tem sido ainda utilizado, porém em menor escala. Entretanto, tal prática tem sido questionada. Em experimento de longa duração (Morelli et al., 1997b), simulando aplicação aérea em relação ao parcelamento do N e do K, nas formas de uréia e cloreto de potássio, em parcelas controladas durante as safras de 1992, de 1993, (esta com reaplicação dos produtos), de 1994 e de 1995 (também com re-

aplicação), em solos de textura arenosa a argilosa, desde as Areias Quartzosas ao Latossolo Roxo, em diversas variedades, não obtiveram resultados significativos.

A QUESTÃO DA LIXIVIAÇÃO

A perda do N por lixiviação é influenciada por uma série de fatores, entre eles a quantidade de chuvas, a solubilidade dos sais, a afinidade dos íons pelos sítios de adsorção do solo, a presença de íons acompanhantes, a composição química do material orgânico adicionado ao solo, o clima e as características dos solos (Oliveira et al., 1999). Apesar da preocupação por parte dos técnicos das usinas, em relação a possíveis perdas por lixiviação do N no plantio, tal fato não parece ser significativo. Experimentos com N^{15} , feitos em cana-planta no Brasil, têm indicado ausência de perda por lixiviação do nitrogênio do adubo ou quando ela ocorreu, foi em pequena quantidade (Salcedo et al., 1988). Tais autores atribuem essa ausência ou pequena quantidade lixiviada ao papel da imobilização pelos organismos do solo. Contudo, há relatos de perdas de N fertilizante com 28,2% e 7,5%, quando se utilizou a uréia e aquamônia, respectivamente (Camargo, 1989).

Oliveira et al. (1999) estudaram as perdas de N^{15} proveniente da uréia, em solo podzolizado com 84% de areia na camada superficial e doses de N de 0, 30, 60 e 90 kg/ha. Durante o período experimental, as precipitações e as irrigações somaram 2.015 mm de água. Tais pesquisadores observaram que, durante o experimento, não ocorreu perda por lixiviação de N originário da uréia, em nenhuma das doses aplicadas. As maiores perdas de N, principalmente na forma de NO_3 , foram provenientes do solo e dos restos de cultura. O valor médio do N lixiviado foi de 4,5 kg/ha. Um cálculo aproximado da lixiviação é sugerido por Reichardt et al. (1982). Tais autores, após deduzirem a evapotranspiração da precipitação, indicam a lixiviação, na faixa

de 1 mm de NO_3 translocado no solo/mm de chuva. Considerando um saldo de 600 mm entre precipitação e evapotranspiração, a profundidade do lixiviado estaria a 60 cm de profundidade do solo, ainda possível de ser absorvido pelas raízes da cana.

ADUBAÇÃO DE N PARA PLANTIO

Os trabalhos da Copersucar (2000, Boletim, n. 115) sobre recomendação de adubação, assim como de outras fontes, têm indicado o seguinte: as doses de N estariam na faixa de zero a 60 kg/ha; na média, tem-se usado 30 a 40 kg/ha; a aplicação seria feita somente no fundo do sulco; no uso de leguminosa como cultura secundária, não se aplica o N; a torta de filtro supre todo o N. Não há nenhuma contra-indicação quanto ao uso das diversas formas de N, no caso uréia, nitrato de amônia e sulfato de amônio.

O FÓSFORO NO SOLO

O fósforo é um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas, devido ao fato das reações de "fixação" que se processam no solo. As quantidades aplicadas, principalmente no plantio da cana, superam a quantidade extraída pela cultura (faixa de 0,43 kg de P_2O_5 /t), diferindo nesse aspecto em relação ao potássio, cuja quantidade aplicada corresponde aproximadamente à quantidade extraída pela cultura. Tal fato evidencia que, antes de adubar a planta com fósforo, é preciso adubar o solo. A maior disponibilidade do fósforo está na faixa de pH em H_2O de 5,5 a 6,8, condição que permite a combinação das maiores solubilidades de fosfatos de alumínio, de ferro e de cálcio. Além disso, uma série de fatores interferem na eficiência da adubação fosfatada relacionada ao adubo, ao solo e a planta, fatores esses que não serão tratados neste trabalho.

Zambello Junior et al. (1983) testaram a interação calcário e fósforo, em solo de elevada CTC, na região de Piracicaba, usando o superfosfato triplo. O solo era

podzolizado, com CTC de 10 cmol/kg e com teor de Ca+Mg de 4,0 cmol/kg. Após quatro cortes, notou-se que, à medida que aumentou o teor de calcário, o acréscimo de produtividade foi de 72 t/ha, respondendo assim a esse insumo, apesar do teor de Ca+Mg ser superior a 3 cmol/kg. Por outro lado, a interação calcário e fósforo apresentou maior produtividade do que o uso isolado do supertriplo.

APLICAÇÃO DO FÓSFORO

O fósforo é pouco móvel no solo. Novais e Smyth (1999) indicam uma distância média percorrida do fósforo de 0,013 mm/dia. Se considerarmos os meses com chuva de novembro a abril, ou seja, 180 dias, a distância máxima percorrida pelo fósforo será de 0,23 cm. Considerando que o sistema radicular da cana tende a explorar diversas camadas do solo, principalmente as mais superficiais, onde houver raiz, deveria haver fósforo. Portanto, seria recomendado, em solos de baixo teor de fósforo, aplicações de fósforo combinadas em área total e no sulco, por ocasião do plantio.

Morelli et al. (1996), trabalhando com solos de baixa CTC e baixo teor de fósforo (6 ppm), aplicaram o termofosfato magnésiano em área total e no sulco. A aplicação a lanço foi mais eficiente nos dois cortes do que a aplicação no sulco. Comparando a aplicação de 200 kg/ha de P_2O_5 a lanço, com a aplicação da mesma quantidade no sulco, a diferença para a aplicação a lanço, nos dois cortes, foi de 56 t/ha. Entretanto, a associação das aplicações a lanço com a aplicação no sulco tem resultado mais favorável do que as aplicações isoladas. Tais resultados vêm comprovar da necessidade de se proceder à fosfatagem por ocasião do plantio. A fosfatagem tem sido recomendada quando o teor de P_2O_5 do solo for inferior a 10 ppm.

Em relação à fonte a ser utilizada, tanto a aplicação em área total, como no sulco de plantio, os fosfatos solúveis são

superiores aos fosfatos naturais. A razão é o fato dos fosfatos naturais requerem acidez natural do solo para solubilização do fósforo. Como nesta cultura se usa freqüentemente o calcário, tanto no preparo do solo como nas soqueiras, a eficiência dos fosfatos naturais decresce, à medida que o pH do solo aumenta, sendo o contrário, em relação aos fosfatos solúveis.

BALANÇO DO FÓSFORO NO SOLO

Considere uma aplicação no sulco de plantio de 150 kg de P_2O_5 em solo argiloso, com baixo teor de fósforo; uma fixação pelo solo de 30%; uma extração de 0,43 kg de P_2O_5 /t de massa verde e uma produtividade no ciclo de 400 t. A quantidade de P_2O_5 necessária pela cultura no ciclo é 172 kg (400.0,43) e a quantidade existente no solo (deduzida a quantidade fixada) é 105 kg (30% de 150). Nesse exemplo, há um déficit de 67 kg de P_2O_5 , que deveria ser repostos nas socas mais velhas, pelo menos para suprir a cultura. Entretanto, se o solo estiver muito ácido (V% abaixo de 40), não haverá resposta a esse fósforo adicional. Será preciso, nesse caso, aplicar também o calcário, como já foi indicado.

POTÁSSIO

Como a maioria dos solos brasileiros cultivados com cana apresenta baixa quantidade de potássio não trocável, o equilíbrio $K_{\text{não trocável}}$ e $K_{\text{trocável}}$ não é importante. Sendo assim, o $K_{\text{trocável}}$ seria a única reserva disponível que controla o K em solução. Devido a essa característica, o teor de $K_{\text{trocável}}$ no solo é um parâmetro seguro na recomendação da quantidade desse elemento nas adubações, usando as curvas de calibração (Tabela 4).

RESPOSTA À ADUBAÇÃO NPK

Contrariamente à cana-planta, as soqueiras respondem favoravelmente à adubação, principalmente em relação ao N. A questão da resposta ao nitrogênio nas socas ser significativa, e não na

TABELA 4 | ADUBAÇÃO MINERAL DE PLANTIO COM BASE NA ANÁLISE DE SOLO

N	P _{RESINA}	P ₂ O ₅	K	K ₂ O
kg/ha	mg/dm ³	kg/ha	mmol/dm ³	kg/ha
40	0-6	150 ¹	<0,7	160
40	7-15	120	0,8-1,5	130
40	16-30	90	1,6-3	100
40	30-50	60	3,1-5	80
40	Mais que 50	0	>5	0

¹⁾ Adicionar 100 kg/ha de P_2O_5 em área total

cana-planta, pode ser explicada pelo fato de que o ciclo das soqueiras não é favorável à mineralização do N. Grande parte do ciclo das soqueiras coincide com condições climáticas menos úmidas; durante o ciclo, o solo é pouco ou nada mobilizado por ocasião do cultivo; os corretivos, quando aplicados, não são incorporados. Tais considerações são adversas à mineralização da matéria orgânica e, com isso, o N do adubo passa a ter resposta.

As respostas ao N em soqueira são também função da textura do solo e, nesse caso, com maior ganho de produtividade para os arenosos (Figura 1). Uma possível explicação para a reação diferenciada ao N se refere ao maior teor de matéria orgânica do solo argiloso e, sendo assim, maior imobilização do N adubo.

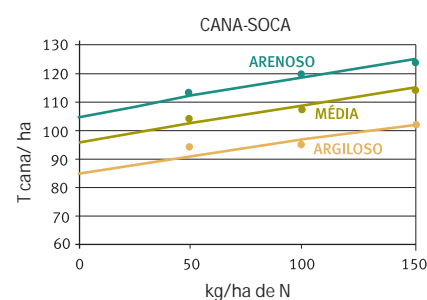
Por outro lado, um fato interessante se refere à eficiência de utilização de fertilizantes nitrogenados (EUFN) aproveitados pela soqueira de cana. Resultados experimentais com N^{15} têm indicado que a EUFN é baixa, na faixa de 12 a 27% na cana-soca e inferior a 10% na cana-planta (Trivelin et al., 1995 e 1996). A diferença do nitrogênio aplicado na forma de adubo fica imobilizada pelos microrganismos do solo e é utilizada no auxílio à mineralização do N orgânico do solo, que é aproveitado pela cultura. O restante do N^{15} pode ser mineralizado para a próxima soqueira ou, eventualmente, para o próximo plantio, se a soqueira for eliminada no ano seguinte ao da adubação.

RECOMENDAÇÃO DE N E K

Infelizmente, não há curvas de resposta para o nitrogênio, diferentemente do K e do P. O principal motivo é o pouco conhecimento da taxa de mineralização do N na região tropical úmida. Sendo assim, a melhor recomendação ainda é a baseada na expectativa de produção e no uso da relação 1,0 a 1,2 kg de N/t de colmo. Se a expectativa de produção de um segundo corte for de 90 t/ha de colmos, devem ser usados 100 kg/ha de N; se a expectativa for de 60 t/ha de colmo, devem ser usados na faixa de 70 kg/ha de N.

As respostas de K nas soqueiras são semelhantes às na cana-planta. Maior ganho de produtividade, entretanto, está nos solos argilosos. Em relação à recomendação, devem-se usar os resultados da Tabela 4, ou então, se o solo tiver

FIGURA 1 | PRODUTIVIDADE DE CANA-SOCA COM DOSES DE NITROGÊNIO EM SOLOS DE TEXTURA ARGILOSA E ARENOSA*



* Média de quatro experimentos e três safras. Fonte: Copersucar, 2000, Boletim, n. 122.

baixo teor de potássio, a expectativa de produção, ou seja, 1 a 1,2 kg/ha de N e 1,3 a 1,5 kg de K_2O /t de colmo. Se a expectativa de produção for de 100 t/ha, usar 140 a 160 kg de K_2O /ha.

FÓSFORO EM SOQUEIRA

A maioria dos experimentos usando fósforo em soqueira não tem resposta conclusiva. Um dos fatores pode ser o pH. À medida que os cortes vão avançando, a saturação por bases tende a cair, como já foi visto, e em consequência o pH fica mais baixo (meio ácido), condição para baixa eficiência de absorção do fósforo. Com o uso do calcário em soqueira, pode haver resposta, como já foi observado em diversos experimentos. Por outro lado, no balanço do fósforo no solo, ficou evidenciada a possível falta desse nutriente, em soqueiras mais velhas. Sendo assim, o uso de 30 a 40 kg/ha de P_2O_5 nas socas mais velhas pode ser indicado. Em regiões de solos arenosos, onde não se aplica o gesso ou outra fonte contendo enxofre, é necessário usar fertilizantes contendo esse nutriente, tais como o sulfato de amônio, o superfosfato simples e os termofosfatos. A dose suficiente para o ciclo é de 60 kg/ha de S.

PALHA COMO FERTILIZAÇÃO

Com as normas e leis contra a queima da cana-de-açúcar, a palha sobre a superfície do solo tem gerado alterações no solo e no ambiente. Sendo assim, grande parte das atividades agrícolas relacionadas às adubações, cultivo e controle de pragas tem sido novamente estudado e avaliadas. Não é exagero se afirmar que se deve aprender tudo novamente. O corte de cana crua coloca na superfície do solo de 12 a 20 t/ha de palha seca por corte. A concentração média dos nutrientes nessa palhada é substancial (Tabela 5).

Se forem levados em conta esses resultados, metade do N e 65% do potássio poderiam ser deduzidos da adubação

TABELA 5 | CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES NA PALHA. MÉDIA DE QUATRO CULTIVARES DE CANA. FONTE: COPERSUCAR, 2000, BOLETIM, N. 116

NUTRIENTES	FOLHA SECA	FOLHA VERDE	PALMITO	TOTAL kg/ha
				g/kg
N	3,2	9,9	4,9	54,7
P	0,2	1,1	0,9	4,4
K	3,4	16,9	30,0	76,0
Ca	4,2	3,1	1,7	54,9
Mg	1,9	1,7	1,5	25,5
S	1,1	1,1	1,2	15,1

Fonte: Copersucar, 2000 (Boletim n.116)

mineral da soca do ano seguinte. Entretanto, a mineralização da palha é dependente de fatores ambientais e da relação C/N, assim como da posição do nutriente, em relação ao componente dessa palha, no caso lignina, celulose, hemicelulose, conteúdo celular e polifenóis. A mineralização do material não é uniforme. Após um ano de observação, Oliveira et al. (1999) constataram que a quantidade de matéria seca passou de 13,9 t/ha para 10,8 t/ha, originada principalmente do conteúdo celular e da hemicelulose. Nesse tempo, houve liberação somente de 11 kg/ha de N, por ele estar na celulose, de difícil decomposição. A taxa de mineralização foi de apenas 18% e foram liberados 85, 44 e 39% do K, Ca e Mg, respectivamente.

Em termos de reposição de nutriente, pode-se fazer um cálculo em relação ao K, mas não em relação ao N. Nas áreas de palha, a dedução do K do fertilizante pode ser feita em função da quantidade de palha, na proporção de 40 kg de K_2O para 10 t de palha. Em 15 t/ha de palha, serão deduzidos 60 kg de K_2O . Nesse caso, a formulação das soqueiras apresentará maior quantidade de N, em relação ao de K. Após cinco anos, essa palha do primeiro corte estará praticamente mineralizada, e grande parte do N estará no complexo matéria orgânica, e será usado nos ciclos seguintes. Além desse aspecto, a decomposição da palha tenderá a interferir no menor uso de corretivos, de gesso e de outros nutrien-

tes. Para isso, haverá necessidade de pesquisas nessa linha.

ADUBAÇÃO N COM PALHA

Um dos adubos nitrogenados mais utilizados na cultura da cana é a uréia. Sua reação no solo depende da umidade e envolve inicialmente a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, enzima produzida por fungos e bactérias, presente no solo e em maior quantidade na palha. Como resultado da hidrólise, tem-se a formação de carbonato de amônio, que não é estável no solo e se desdobra em NH_3 , CO_2 e H_2O . Parte do NH_3 formado reage com o H^+ da solução do solo, resultando o cátion NH_4^+ . Não havendo umidade, a reação de formação do íon NH_4^+ não se processa, e haverá perda de amônia (NH_3). Com a palha, o sistema de cultivo para incorporar o adubo é mais difícil e, devido a esse fato, tem-se aplicado o adubo na superfície, sem incorporação. Perda de uréia, quando aplicada na superfície do solo, tem sido relatada por muitos pesquisadores, com valores entre 40 e 60% ou mais.

Oliveira et al. (1999), em simulação de adubação de soqueira de cana com palha, usando a uréia associada à vinhaça e ao KCl, durante o período chuvoso, observaram que as maiores perdas por volatilização do N^{15} foram verificadas nos tratamentos em que a solução de uréia foi aplicada na superfície do solo coberto por palhada; 94%, quando se utilizou a vinhaça como fonte de K, e 87% quan-

do se usou o KCl. Quando se aplicou a uréia sobre o solo nu, sem a vinhaça, as perdas por volatilização foram de 76%. Mesmo após a adição de 38,2 mm de água, ainda ocorreram perdas significativas de amônia para a solução de uréia aplicada sobre a superfície do solo, nas duas condições. Quando a solução nitrogenada foi enterrada no solo, as perdas foram inferiores a 5% e não houve diferença entre os tratamentos.

Gava et al. (2003) estudaram a contribuição da palhada como fonte de N e verificaram efeitos desse resíduo na recuperação do nitrogênio da uréia aplicada na adubação de soqueira, em condições de campo. A uréia (100 kg/ha de N), aplicada em área total, sem incorporação, esteve sempre associada à aplicação da vinhaça (100 m³/ha). Do N total acumulado na parte aérea da soqueira, 10 a 16% foram absorvidos do fertilizante e, em média, 4% do N mineralizado da palhada. A eficiência de utilização do N da uréia pela soqueira foi em média de 17%, e o da palhada, 8%. O N da palhada foi disponibilizado para a planta, no final do ciclo da cultura. Em relação à produção final de colmos, não houve diferença entre os tratamentos, porém o tratamento em que a uréia foi incorporada ao solo ao lado da soqueira apresentou maior produção, assim como a maior quantidade de N proveniente da fonte marcada.

ADUBAÇÃO EM ÁREA COM PALHA

Dentre as vantagens da palha sobre a superfície do solo, citam-se: aumenta a infiltração da água; aumenta o teor de matéria orgânica; favorece a proliferação de organismos do solo; recicla nutrientes; aumenta o aporte de N no solo; atenua a compactação; mantém o solo mais úmido, por mais tempo. Entre as desvantagens, citam-se: redução da temperatura do solo (faixa de 0,4 a 1°C), assim como a redução da faixa entre as temperaturas máximas e mínimas; maior danificação pelas geadas; aumento de cupim; maior possibilidade de ataque por lagartas e

cigarrinha-de-raiz; maior demora na brotação da soqueira de cana; maior demanda de N, devido à elevada relação C/N da palha; pequena disponibilidade do N da palha; possível decomposição anaeróbia da palha, devido ao encharcamento temporário entre a palha e o solo, motivado pela compactação.

A principal conseqüência em relação à cultura pode ser a queda de produtividade, que está relacionada ao tipo de solo, à região e à variedade. Solos argilosos tendem a perder mais produtividade do que os arenosos, em condições semelhantes de clima, devido ao maior calor específico dos solos argilosos (demoram mais tempo para se aquecer). Trabalhos feitos na Usina da Barra, em solo argiloso, em soqueira de segundo corte, indicaram que:

- A área com 100% de palha reduziu a produtividade na faixa de 23 t/ha.
- A remoção da palha da linha da cana, colocando-a na entrelinha, foi suficiente para reduzir as perdas de produtividade para a faixa de 15 t/ha.
- Não houve diferença entre a área cultivada e a não cultivada.

A cobertura do solo com a palha pode funcionar como isolamento entre o fertilizante e o solo. Após contato do fertilizante com a água do solo, a eficiência da adubação irá depender das características do solo, entre elas o nível de compactação, que age na infiltração da água e na difusão dos nutrientes, assim como nas características da planta, em relação à distribuição do sistema radicular.

Ensaio de longa duração, envolvendo a localização do adubo em soqueira com palha (Copersucar, 1999, Boletim, n. 106), em diferentes solos e variedades, e manejados sob condições climáticas variáveis, têm indicado semelhança de resultados em relação aos tratamentos. O fertilizante aplicado sobre a palha, na linha ou na entrelinha, não tem promovido diferenças, assim como para as áreas cultivadas mecanicamente ou não. Houve casos em que o cultivo mecânico

reduziu a produtividade, devido ao rompimento do sistema radicular localizado mais próximo à superfície, em áreas com palha. Entretanto, é necessária profunda reflexão, pois o fertilizante aplicado sobre a palha está sujeito ao arraste pela água das chuvas e poluir o ambiente, principalmente em regiões de topografia não plana e com sulcação reta. Nesse caso, o cultivo, assim como a incorporação do adubo, irá propiciar maior segurança e poderá atenuar os efeitos maléficos da compactação, melhorando a infiltração das águas.

SILICATOS NA CANA

O silício, apesar de não ser essencial às plantas, é absorvido pela cana e tem sido associado à resistência a doenças, em outras culturas. Além disso, aumenta a resistência da parede celular e regula a evapotranspiração, entre outras características. Os silicatos utilizados como fonte de silício normalmente são subprodutos de indústrias e apresentam em sua composição, além do silício (23% se SiO₂), óxidos de cálcio (40%) e de magnésio (10%) e micronutrientes. A solubilidade do silicato de cálcio é de seis a sete vezes superior à do calcário. Sendo assim, os silicatos agem no solo também de maneira semelhante ao calcário. A Copersucar (2000, Boletim, n. 114) tem uma série de experimentos instalados em algumas usinas do Estado e está aguardando os resultados. Resultados preliminares obtidos na Usina Iracema-SP têm indicado resposta semelhante do silicato em relação ao calcário e ao gesso. Korn-dörfer et al. (2002) obtiveram acréscimo de 28 t/ha entre a cana-planta e primeira soca, usando 2,8 t/ha de silicato de cálcio, em solo de textura média, na Usina Equipav.

MICRONUTRIENTES

A aplicação de micronutrientes na cana é prática pouco utilizada, principalmente pelo fato de se ter baixo número de trabalhos e poucos resultados conclusivos.

vos na região Centro-Sul, a não ser em solos de tabuleiros do Nordeste. Por outro lado, subprodutos usados, como vinhaça, torta de filtro, cinzas de caldeiras etc. apresentam micronutrientes em sua composição, além de haver presença de resíduos desses elementos em adubos e calcário. Entretanto, têm sido observados níveis muito baixos de micronutrientes, principalmente zinco e boro, em solos de usinas e destilarias, principalmente em áreas de diversos ciclos com cana. Em tais situações, a recomendação de aplicação de micronutrientes se justifica, desde que os valores estejam abaixo do nível crítico (Tabela 6). Em relação a doses e fontes de micronutrientes, podem-se utilizar elementos simples, na base de 5 kg/ha de Zn, 3,5 kg/ha de Cu e 2,5 kg/ha de B ou das fritas como o FTE BR 12, este na faixa de 30 kg/ha.

TABELA 6 | TEOR DE MICRONUTRIENTES EM SOLOS, RESULTADOS EM ppm

	BAIXO	MÉDIO	ADEQUADO
B	<0,1	0,1-0,3	>0,3
Cu	<0,4	0,4-0,8	>0,8
Fe	<20	20-30	>30
Mn	<3	3-5	>5
Zn	<0,5	0,5-1	>1

NEMATICIDA E EFICIÊNCIA DE FERTILIZANTES

A restrição biológica ao desenvolvimento radicular tem, nos nematóides, um dos grandes aliados, principalmente em solos de textura média a arenosa, onde reduzem a quantidade de raízes, assim como dificultam a absorção de água e nutrientes, culminando com a redução da produtividade. Em áreas com elevado nível desses organismos, os efeitos das adubações em muitos casos não aparecem, inclusive após aumento das doses dos fertilizantes.

Por outro lado, a ação de nematicidas tende a favorecer a melhor absorção de nutrientes, haja vista os trabalhos nesta área específica, através de análises foliares e, em consequência, o aumento


da produtividade. Em trabalho feito na região de Ribeirão Preto, em solo de textura média-arenosa e com nível elevado de nematóides, Demattê (1986) constatou que a ação de um nematicida permitiu acréscimo apreciável de produtividade, quando comparado com as parcelas que não receberam o produto.

AGRICULTURA DE PRECISÃO

A partir da década de 1990, principalmente nos Estados Unidos, foi desenvolvida a aplicação pontual de fertilizantes, com objetivo de racionalizar o uso de insumos e corretivos, assim como reduzir o impacto ambiental. Tal tecnologia tem sido desenvolvida com maior rapidez em culturas anuais, inclusive no Brasil, porém em cana-de-açúcar tem-se encontrado uma série de limitações ao seu emprego.

Resultados preliminares a respeito de mapas de distribuição de nutrientes e corretivos em cana, obtidos em área de 15 ha e com malha de amostragem de 1 ha, na região de Lençóis Paulista-SP, tida como homogênea, em solo de textura média, tem mostrado grande variabilidade. No caso do mapa de calcário, as doses variaram de 2.660 a 235 kg/ha; os de fósforo de 150 a 60 kg/ha. Em relação ao mapa de produtividade a variabilidade também tem sido grande, indo de 94 a 123 t/ha no primeiro corte, enquanto a tonelagem de pol/ha variou de 15 a 20,5. Nesse trabalho, em que se compararam duas áreas de 16 ha contíguas, sendo uma conduzida com aplicação pontual e outra no sistema convencional, não houve diferença na produtividade média entre os dois sistemas.

A principal limitação ao emprego desse sistema na cana, além do maior custo, tem sido o desenvolvimento de equipamentos para a obtenção do mapa de produtividade. Posteriormente, com o mapa obtido, há dificuldades ou impossibilidade de se avaliar, com a rapidez necessária, os fatores limitantes que estão induzindo a variabilidade na produtividade.

Além disso, e supondo que haja essa avaliação, é dúvida se haveria tempo suficiente para, através das práticas agrícolas, atenuar tais limitações. Em termos de evolução, é viável nesta cultura o desenvolvimento da aplicação pontual de corretivos e fertilizantes, que é o segmento mais fácil de ser resolvido. 

*José Luiz Ioriatti Demattê é Professor aposentado do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, USP/ESALQ (jlid@terra.com.br)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS, E.; GATTI, I. M.; RUSCHEL, A. P.; VOSE, P. B. Primeiras observações ao microscópio eletrônico de bactérias fixadoras de N na raiz de cana de açúcar. *Turrialba*, n. 28, p. 203-207, 1978.
- AZEREDO, D. F. de; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J. R. Nitrogênio em cana planta-doses e fracionamento. *Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 4, p. 26-33, 1986.
- BARNES, A. C. *The sugar cane*. New York: Interscience, 1964.
- BENEDINI, M. S.; KORNDÖRFER, G. H. *Novo conceito no uso de calcário em cana de açúcar*. Piracicaba: Copersucar, 1988. (Série Agronômica, n. 16).
- CAMARGO, P. B. *Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: uréia (15N) e aquamônia (15N) incorporados ao solo na cultura de cana de açúcar*. 1989. Dissertação (Mestrado) – CENA/ESALQ, Piracicaba, 1989.
- CARNAUBA, B. A. O nitrogênio e a cana de açúcar. *Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 8, 1990.
- CARNEIRO, A. V.; TRIVELIN, P. C.O.; VITORIA, R. L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio no desenvolvimento da cana planta. *Scientia Agrícola*, v. 52, n.2, p. 199–209, 1995.
- COPERSUCAR. *Agrícola Informa. Adubação Foliar*. *Boletim*, n. 14, 1999.
- _____. *Agrícola Informa. Adubação NK em cana planta e cana soca*. *Boletim*, n. 122, 2000.
- _____. *Agrícola Informa. Adubação nitrogenada em cana planta*. *Boletim*, n. 115, 2000.
- _____. *Agrícola Informa. Agricultura de Precisão na Cultura de Cana de Açúcar*. *Boletim*, n. 91, 1998.
- _____. *Agrícola Informa. Efeito do cultivo mecânico em soqueira de canaviais colhidos sem queimar – Projeto cana crua*. *Boletim*, n. 106, 1999.



Sulcos plantados e cobertos na entrelinha de soqueira na Estação Experimental de Piracicaba (CTEP-CTC); Piracicaba, SP; 1984

- _____. Agrícola Informa. Liberação de nutrientes da palha com e sem utilização de nitrogênio marcado (15N) em áreas com e sem vinhaça. *Boletim*, n. 116, 2000.
- _____. Agrícola Informa. Silício em cana de açúcar. *Boletim*, n. 114, 2000.
- DEMATTÊ, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: estratégia de manejo. In: SEMINÁRIO AGRO INDUSTRIAL, 5., e 29 SEMANA "LUIZ DE QUEIROZ", 29., Piracicaba, 1986. (Mimeografado).
- DOBEREINER, J. Denitrogen fixation in rhizosphere and phyllosphere associations. In: LAUCHII, A.; BIELESKI, R. I. *Inorganic Plant Nutrition*. Berlin: 1983.
- GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio (15N) da uréia e da palhada por soqueira de cana de açúcar (*Saccharum spp*). *Rev. Bras. Ci. do Solo*, v. 27, n. 4, p. 621-630, ago. 2003.
- GREENLAND, D. J. Soil organic matter in relation to crop nutrition and management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, China, *Proceeding*. 1986.
- KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do silício na produção de cana de açúcar. *Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 21, 2002.
- LORENZETTI, J. M.; RODRIGUES, J. C. S.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e Gesso em soqueira de cana de açúcar. *Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 10, 1992.
- MORELLI, J. L.; DALBEN, A. E.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e gesso na produtividade de cana de açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média, álico. *Rev. Bras. Ci. do Solo*, v. 16, 1992.
- MORELLI, J. L.; DEMATTÊ, J. L. I.; DALBEN, A. E. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana planta: aplicação no solo. *Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 15, 1997a.
- MORELLI, J. L.; DEMATTÊ, J. L. I.; NELLI, E. J. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana planta e cana soca: aplicação foliar. *Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 16, 1997b.
- MORELLI, J. L.; NELLI, E. J.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana de açúcar. *Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 6, 1987.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e plantas em condições tropicais. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana de açúcar em campo. *Sciencia Agrícola*, 1999.
- PENATTI, C. P.; FORTI, J. A. Calcário e gesso em cana de açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6. Piracicaba: Copersucar, 1994.
- RAIJ, B. van, CANTARELLA, H. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1996.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; URQUIAGA, S. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant system with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGROCHEMICAL, Rome, 1982. *Proceedings*. Viena, IAEA.
- RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E.; SOUZA, D. M. G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., 1981, Salvador. *Anais...* Salvador: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1981.
- SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CARNEIRO, C. J. G. Dinâmica de nutrientes em cana de açúcar. Perdas de N por lixiviação em cana planta fertilizada com uréia (15N). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 23, 1988.
- TRIVELIN, P. C. O.; RODRIGUES, J. C. S.; VITORIA, R. L. Utilização por soqueira de cana de açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia 15N e uréia 15N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 31, n. 2, p. 89-99, fev. 1996.
- TRIVELIN, P. C. O.; VITÓRIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana de açúcar de final de ciclo do nitrogênio da aquamônia 15N e uréia 15N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n. 12, p. 1.375-1.385, dez. 1995.
- URQUIAGA, S.; RESENDE, A.; ALVES, B. Fixação Biológica de Nitrogênio na Cultura da Cana de Açúcar: Perspectivas. In: WORKSHOP sobre avaliação e manejo dos recursos naturais em área de exploração da cana de açúcar. Aracajú, SE: Embrapa, 1997.
- ZAMBELLO JUNIOR, E.; RODELLA, A. A.; ORLANDO FILHO, J.; ARAGÃO, J. Interação calcário e fósforo na cana de açúcar. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 1, 1983.