

OTIMIZAÇÃO DA FERTILIZAÇÃO E CALAGEM NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR POR MODELAGEM

Fábio Cesar da Silva¹
Fernando José Freire²
Victor Hugo Alvarez Venegas³
Alexandre de Castro⁴

1. Introdução

As recomendações de adubação praticadas no país baseiam-se, essencialmente, em curvas de resposta, em que nutrientes são aplicados em doses crescentes e seus efeitos observados no incremento da produção, sendo tais calibrações regionalizadas e para determinados tipos de solo. Tais métodos de pesquisa geram tabelas de recomendação que, embora com razoável acerto em suas indicações, apresentam evidente empirismo ou subjetivismo em sua constituição. Assim, uma simples comparação entre tabelas de diferentes estados brasileiros mostra diferentes recomendações para condições semelhantes de solo e de cultivo, e a mesma recomendação para diferentes solos, ou seja, há um erro por desconsiderar tais fatores.

Particularmente, no caso da cultura da cana-de-açúcar, em que os fertilizantes são responsáveis por 20 a 25 % do custo de produção, as tabelas apresentam muita variação nas recomendações, tanto para cana planta como para cana soca, o que coloca a cana-de-açúcar como consumidora de 16,3 % de fertilizantes no Brasil (RAMOS, 1999; EMBRAPA, 2009). É necessário o desenvolvimento de um modelo menos empírico que permita diferenciar a necessidade da cultura, de acordo com a produtividade desejada e o potencial de suprimento do solo, de tal forma que a adição de nutrientes seja oriunda fundamentalmente do balanço nutricional. O conhecimento desse balanço permitirá ajustes para a obtenção de recomendações mais adequadas, podendo, inclusive, chegar a uma redução na quantidade de fertilizantes a utilizar, ou também podendo especificar a falta de um nutriente. O ajuste de modelos mecânicos de abrangência mais generalizada pode tornar-se uma ferramenta eficaz para recomendações criteriosas e de maior precisão de fertilizantes para a cultura da cana-

1 Embrapa Informática Agropecuária de Campinas - SP e Fatec Piracicaba - SP. Email: Fabio.silva@embrapa.br e fcesar.silva@hotmail.com.

2 Fundação Joaquim Nabuco e Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Área de Solos.

3 Departamento de Solos – Universidade Federal de Viçosa - MG.

4 Embrapa Informática Agropecuária de Campinas - SP

de-açúcar, que possibilita a transferência de tecnologia para produtores, em especial que utilizam se de sitio específicos e de agricultura de precisão.

Assim, neste trabalho é apresentado um sistema que tem como objetivos sistematizar informações de características físicas, químicas e físico-químicas dos principais solos cultivados com cana-de-açúcar no Brasil para simular seus efeitos no balanço nutricional e na produtividade da cana-de-açúcar; desenvolver uma modelagem para fins de sistema informatizado para cálculo do balanço nutricional e para recomendação de corretivos e fertilizantes para a cana-de-açúcar, pois certamente contribuirá para formação e reforma de canaviais equilibradamente nutridos e potencialmente mais produtivos.

2. Materiais e Métodos

A lógica do sistema de cálculo se baseia na diferenciação da necessidade da cultura, de acordo com a produtividade desejada e o potencial de suprimento do solo, de tal forma que a adição de nutrientes seja oriunda fundamentalmente do balanço nutricional (Figura 1).

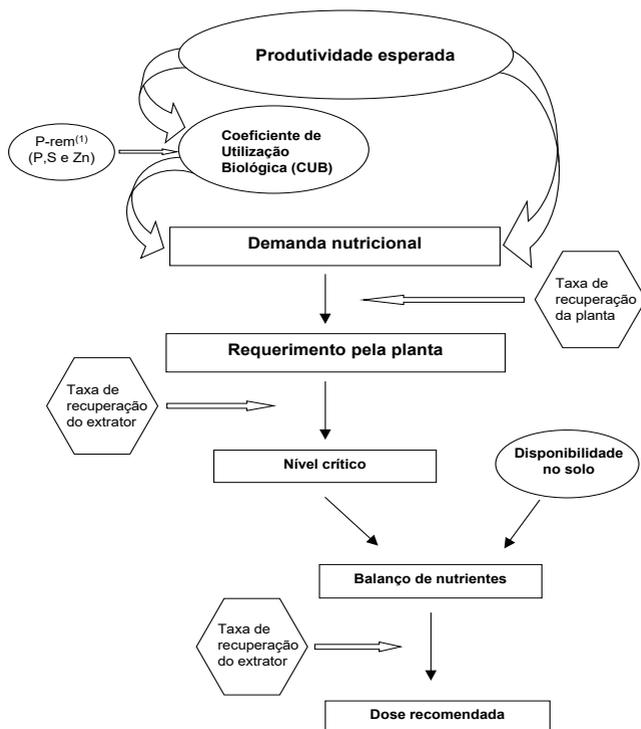


Figura 1. Fluxograma lógico de sistema de recomendação de adubação e calagem em cana-de-açúcar.

2.1. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

2.1.1. Requerimento de Nutrientes pela Planta

Para obtermos a quantidade exigida de nutrientes pela cana, a necessidade e a eficiência na utilização do nutriente pela cultura, para tanto devem ser considerados e calculados os fatores abaixo:

- *CUB* (Coeficiente de utilização biológica). Através do CUB pode-se calcular a eficiência nutricional da planta, que pode ser expressa por kg de matéria seca produzida por kg de nutriente acumulado.

- *P-rem* (fósforo remanescente). Para este modelo adotou-se a relação entre o P-rem e teor de argila, mas aplica-se apenas para P, S e Zn.

- *Taxa de recuperação da planta*. A partir da taxa de recuperação é a quantidade de nutriente a planta consegue recuperar em relação à quantidade aplicada. Através da taxa de recuperação podem-se calcular as doses que devem ser aplicada ao solo, para satisfazer a demanda nutricional da planta.

- *Demanda nutricional*. A demanda nutricional (D) pode ser expressa pela razão entre PDE (produtividade esperada) e CUB (coeficiente de utilização biológica). Demanda nutricional é a quantidade de nutrientes necessárias para a formação da planta, no caso da cana a formação de colmos, folhas e raízes. Através das equações geradas podemos estabelecer a quantidade requerida de cada nutriente.

2.1.2. Subsistema Solo

O subsistema solo é estruturado pelos componentes abaixo:

- *Taxa de recuperação do extrator*. A taxa de recuperação do extrator é fundamental para a credibilidade da análise de solo, pois tem como função conhecer o extrator e a razão solo/extrator, seja a solução de Mehlich-1 ou a resina trocadora de íons (Figura 2), podem recuperar de nutriente na análise de solo em função com a quantidade do nutriente aplicado. O efeito residual do P extraído por solução de Mehlich-1 ou a resina trocadora de íons foram:

$$(1) \quad \text{Mehlich-1: ER} = \left[[0,05 + 0,0058 (P\text{-rem})] D \right] e^{-[0,000513637 + 0,0000284091^{**}(P\text{-rem})] t}$$

$$(2) \quad \text{Resina: ER} = [0,3572 D] e^{-kt}$$

- *Nível crítico*: é determinado nutriente equivale a mínima concentração necessária para alcançar o crescimento máximo ou para máximo percentual de açúcar no caso da cana-de-açúcar, entretanto este nível torna-se variável entre planta e solos

e entre plantas e solo, também sobre influência dos tratos culturais realizados, como: calagem, quantidade de nutrientes aplicados, entre outros.

- *Disponibilidade no solo*: obtido para disponibilidade de determinado nutriente no solo é necessária a análise de solo utilizando um extrador, para este modelo adotou-se como extrator o Mehlich-1 e resina trocadora de íons (EMBRAPA, 2009). Para o caso de P, S e Zn disponível em soluções extratoras ácidas devem ser considerados a capacidade tampão dos fosfatos no solo (P-remanescente) e a textura do solo, como utilizado no Estado de Minas Gerais (SILVA, 1998).

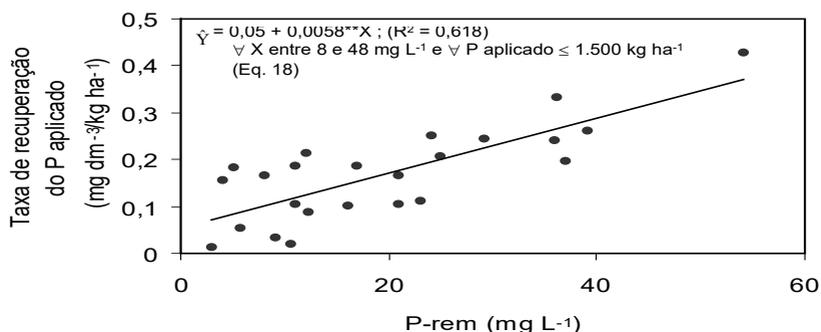


Figura 2. Relações entre quantidade P- recuperadas nos colmos de cana e a disponibilidade de P em solos.

Balanço de nutrientes. Tais componentes são indispensáveis para os cálculos e através destes podemos diferenciar e adequar o sistema mais precisamente de acordo com o solo.

3. Resultados e Discussão

3.1. Quantidade de Nutriente para Sustentabilidade do Solo

Observou-se que as doses recomendáveis de nutrientes para satisfazer a demanda de determinadas produtividades, sejam acrescidas de doses suplementares que proporcionem sustentabilidade ao cultivo, de forma que evite a gradual exaustão do solo. As doses recomendadas são também quantificadas, temos que a quantidade demandada para determinada produtividade é igual a dose suplementar, ou seja, a mesma quantidade de nutriente extraído do solo deve ser repostado para que o cultivo seja sustentável. Na Tabela 1, tem se a modelando a demanda por fósforo em função da produtividade e do poder tampão de fosfato do solo.

Tabela 1. Resultados de modelagem de demanda por fósforo em função da produtividade e do poder tampão de fosfato do solo.

Componente	Equação
Cana planta	
Colmo	$\hat{Y} = 3.393,44 - 36,9102^{**} X - 41,5718^{**} Z + 0,1327^{**} Z^2 + 0,3808^{**} XZ$, R2 = 0,999**
Folha	$\hat{Y} = 2.066,46 - 25,3250^{**} X - 25,7776^{**} Z + 0,0901^{**} Z^2 + 0,2611^{**} XZ$, R2 = 0,998**
Raiz	$\hat{Y} = 3.572,94 - 46,6764^{**} Z + 0,1983^{**} Z^2$, R2 = 0,988**
Cana soca	
Colmo	$\hat{Y} = 1.561,38 - 11,4924^{**} X + 0,01730 X^2 - 19,4638^{**} Z + 0,0684^{**} Z^2 + 0,1134^{**} XZ$, R2 = 0,997**
Folha	$\hat{Y} = 1.462,37 - 27,0474^{**} X - 18,2272^{**} Z + 0,0635^{**} Z^2 + 0,2787^{**} XZ$, R2 = 0,998**
Ressoca	
Colmo	$\hat{Y} = 1.563,80 - 10,8800^{**} X - 19,9378^{**} Z + 0,0775^{**} Z^2 + 0,1084^{**} XZ$, R2 = 0,997**
Folha	$\hat{Y} = 1.466,22 - 26,9710^{**} X - 18,6351^{**} Z + 0,0723^{**} Z^2 + 0,2746^{**} XZ$, R2 = 0,999**

3.2. Calibrações de CUB

Para chegar até o valor do CUB se faz necessário saber o quanto de nutriente a planta absorveu da quantidade aplicada em relação a sua produtividade (TCH). (MENDES, 2006) Como exemplo, baseado na exportação pelo colmo de cana-de-açúcar, tem-se na figura abaixo a calibração do CUB de K (Figura 3, Tabela 2), mas observou-se que os dados de exportação de nutrientes em cultura de cana de açúcar são modificados para potássio, o que requer mais estudos.

Tabela 2. Regressões dos coeficientes de utilização biológica (CUB) de macronutrientes da matéria seca para colmos da cana planta.

Nutriente	Modelo	R ² , validade do modelo.
N	$y = 55,199e^{0,0076x}$	R ² = 0,8712, 25 a 200 TCH
P	$y = 279,43e^{-0,041x}$	R ² = 0,7702, 25 a 200 TCH
K	$y = 81,596e^{0,0015x}$	R ² = 0,8309, 25 a 200 TCH
Ca	$y = 86,389 + 0,5528x$	R ² = 0,967, 25 a 200 TCH
Mg	$y = 75,657 + 1,7962x$	R ² = 0,9543, 25 a 200 TCH

Todavia, a calibração pode ser realizada pela composição de folhas +3 aos quatro meses em relação à produtividade com melhor precisão e exatidão do modelo de balanço.

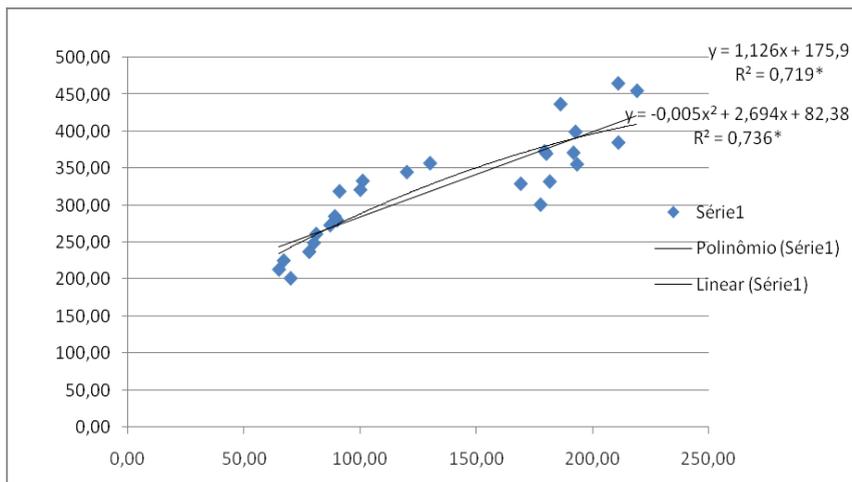


Figura 3. Relação entre exportação de potássio (kg/ha) e a produtividade de colmos (TCH)

Referências

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Editor técnico de Fábio Cesar da Silva. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

MENDES, L. C. **Eficiência nutricional nos cultivares de cana-de-açúcar**. Viçosa, 2006. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/18/TDE-2006-12-13T150312Z-160/Publico/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 07 set. 2016.

RAMOS, P. Situação atual, problemas e perspectivas da agroindústria canieira de São Paulo. **Informações econômicas**, n. 29, p. 9-24. 1999.

SILVA, C, R. E.; SOUZA, Z, M. **Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas**. Ilha Solteira, 1998. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/acido.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2016.