

Modelagem para otimização da fertilização e calagem na cultura de cana-de-açúcar

FÁBIO CESAR DA SILVA

Faculdade de Tecnologia de Piracicaba - SP - Brasil
fabio.silva@embrapa.br

FERNANDO JOSÉ FREIRE

Fundação Joaquin Nabuco
Universidade Federal Rural de Pernambuco - PE - Brasil
f.freire@depa.ufrpe.br

FELIPE GOMES DA SILVEIRA

Faculdade de Tecnologia de Piracicaba - SP - Brasil
felipe.sfdc@gmail.com

VICTOR HUGO ALVAREZ VENEGAS

Universidade Federal de Viçosa - MG - Brasil
hruiz@mail.ufv.br

Resumo - A disponibilidade de informações necessárias para modelar a demanda por determinados nutrientes a partir da produtividade desejada e o potencial de suprimento do solo à cultura, permitiu o desenvolvimento de um sistema para o cálculo de balanço nutricional e como resultado a recomendação de corretivos e fertilizantes para a cana. É necessário o equilíbrio entre os que (a aplicação da planta), e que pode estar disponível (fonte do solo) é a base para o desenvolvimento do sistema. Os cálculos de equilíbrio de nutrientes indicam a necessidade, ou não, bem como, a quantidade a ser aplicada de calcário e fertilizantes na lavoura.

Palavras-chave: Produtividade, Nutrientes, Planta.

Abstract - *The structuring of the information needed to model the demand for certain nutrients expected productivity allows to develop a system for calculating the Nutritional Balance and Recommendation of lime and fertilizers for the cultivation of sugarcane. The balance between what you will need (requirement of the plant) and what can be made available (supply ground) is the basis for development of system. The calculation of nutrient balance will indicate the need, or not, the application of lime and fertilizers.*

Keywords: *Productivity, Soil, Plant.*

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 (Embrapa, 2009). 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).

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 mecanísticos de abrangência mais generalizada pode tornar-se uma ferramenta eficaz para recomendações criteriosas de fertilizantes para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil.

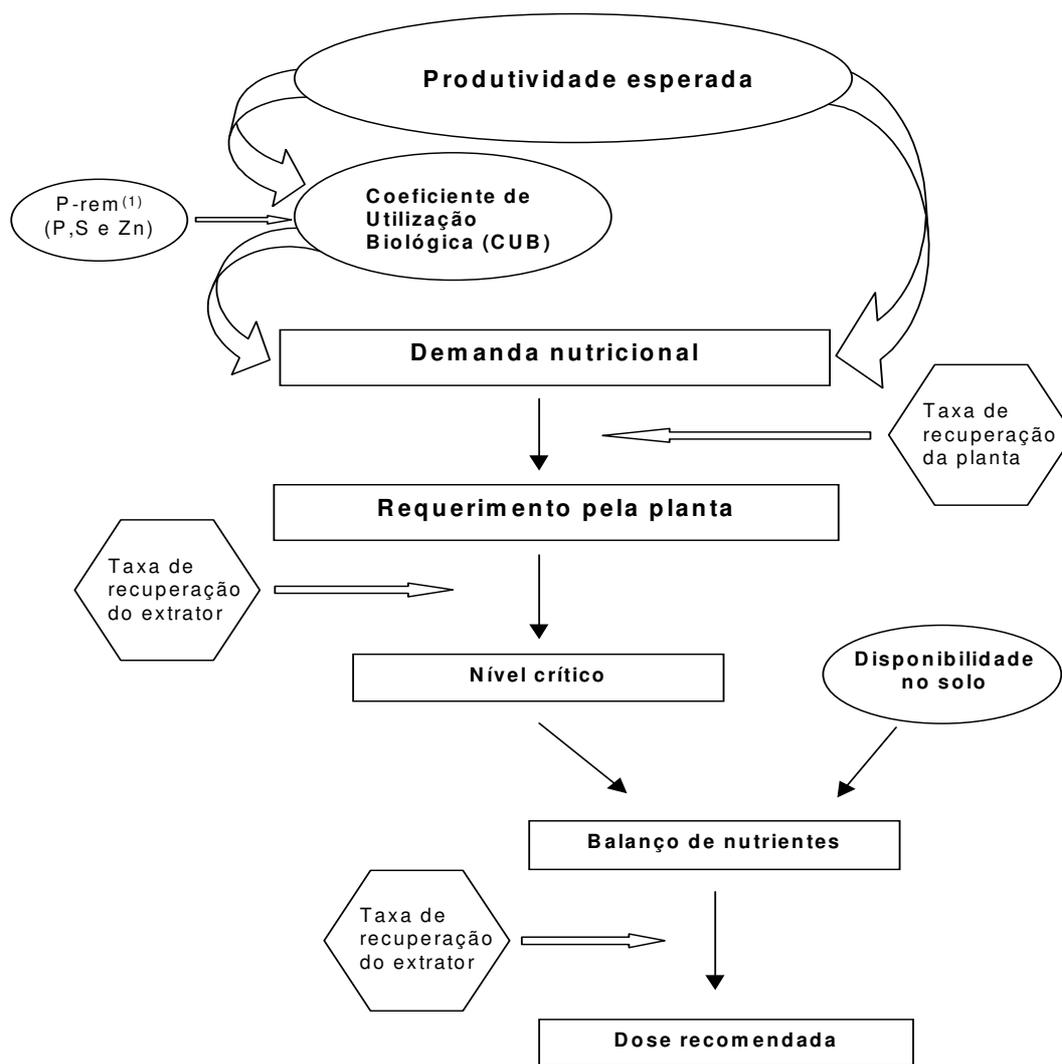
Por outro lado, as recomendações de corretivos e fertilizantes devem ser analisadas de forma criteriosa por um bom programa de nutrição, por meio da diagnose foliar, avaliando a probabilidade de resposta para estas recomendações, sejam elas obtidas de um Sistema como aqui proposto, sejam baseadas nas tabelas de recomendação dos Estados. Isso ajuda o produtor de cana-de-açúcar basicamente de duas maneiras: primeiro lhe permite acompanhar a capacidade nutricional das recomendações de corretivos e fertilizantes que estão sendo praticadas em seu canavial; e segundo, ainda lhe possibilita a informação agrônômica de qual é o potencial de resposta para aquela recomendação, sugerindo-lhe, inclusive, a tomada de decisão para execução completa ou fracionada da recomendação proposta.

No trabalho tem por objetivo estimar a partir do balanço nutricional proceder a recomendação da aplicação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar, por meio da sistematização das informações de características físicas, químicas e físico-químicas dos principais solos cultivados com cana-de-açúcar e de resultados experimentais no país, a partir de dados de análises de solo-planta, para simular seus efeitos no balanço nutricional e na produtividade da cana-de-açúcar a partir de modelo calibrado (Freire, 2001). Procedendo-se para isso simulações das necessidades nutricionais da cultura para diferentes tipos de solos, pois certamente contribuirá para formação e reforma de canaviais equilibradamente nutridos e potencialmente mais produtivos.

2. Referencial Teórico

Atualmente não há muitas pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de sistemas que simulem a quantidade de fertilizantes e corretivos adicionados a cultura de cana-de-açúcar, utilizando-se da calibração de nutrientes para a cultura. Para tanto, na construção do modelo na elaboração deste sistema utilizou-se vários dados encontrados em literatura como base de dados.

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).



Figur

a 1 - Lógica do sistema de recomendação de adubação e calagem em cana-de-açúcar.

3.1. Calibrações de CUB

O CUB é o coeficiente de utilização biológica, e através dele podemos calcular a eficiência nutricional da planta, é a primeira variável calculada até se chegar à recomendação final. Para chegarmos 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 exemplos baseados na exportação pelos

colmos de cana-de-açúcar têm na figura abaixo a calibração do CUB de K (Figura 2, Tabela 1). Todavia, a calibração pode ser realizado pela composição de folhas +3 aos 4 meses em relação a produtividade. Um exemplo para Usina Coruripe (Alagoas) formando um banco de dados de Produtividade f(teor de nutriente) para estabelecimento de Normas DRIS para cana-de-açúcar. (Figura 3).

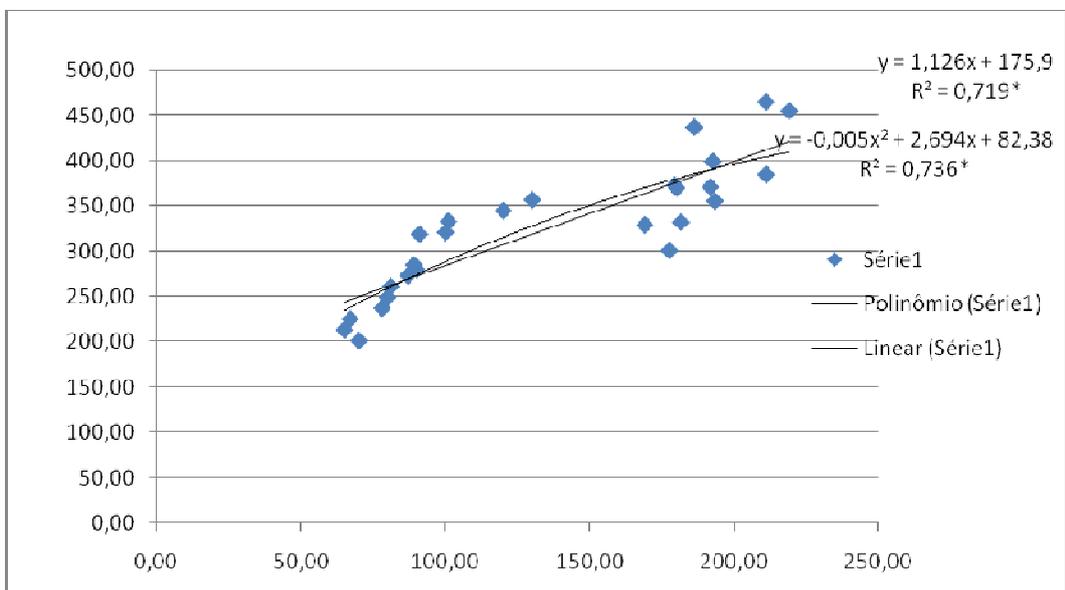


Figura 2 - Relação entre exportação de potássio (kg/ha) e a produtividade de colmos (TCH)

Tabela 1 - Regressões dos coeficientes de utilização biológica (CUB) de macronutrientes da matéria seca para colmos da cana planta.

Nutriente	Modelo	R2, 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	$y = 0,5528x + 86,389$	R ² = 0,967, 25 a 200 TCH
Mg	$y = 1,7962x + 75,657$	R ² = 0,9543, 25 a 200 TCH

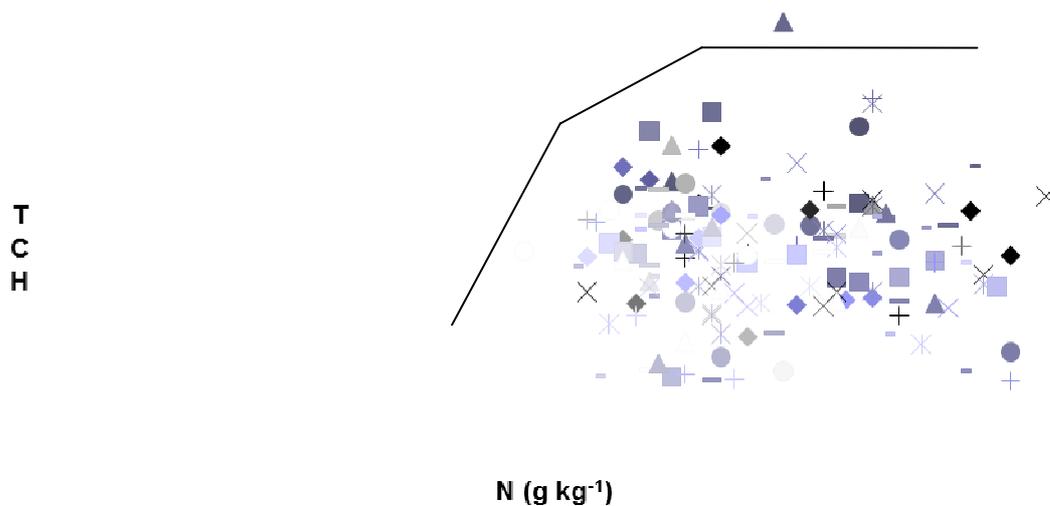


Figura 3 - Relação entre a produtividade de colmos em função da concentração de nitrogênio em folhas de cana-de-açúcar.

3.2. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

3.2. Subsistema Planta

Para a cultura da cana de açúcar temos vários fatores que podem interferir em sua produtividade e conseqüentemente gerar lucro ou prejuízo econômico, estes fatores devem ser quantificados para se obter uma simulação mais próxima da realidade.

3.2.1. Requerimento de Nutrientes pela Planta

Para obtermos a quantidade exigida de nutrientes pela cana, 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 (Figura 4).

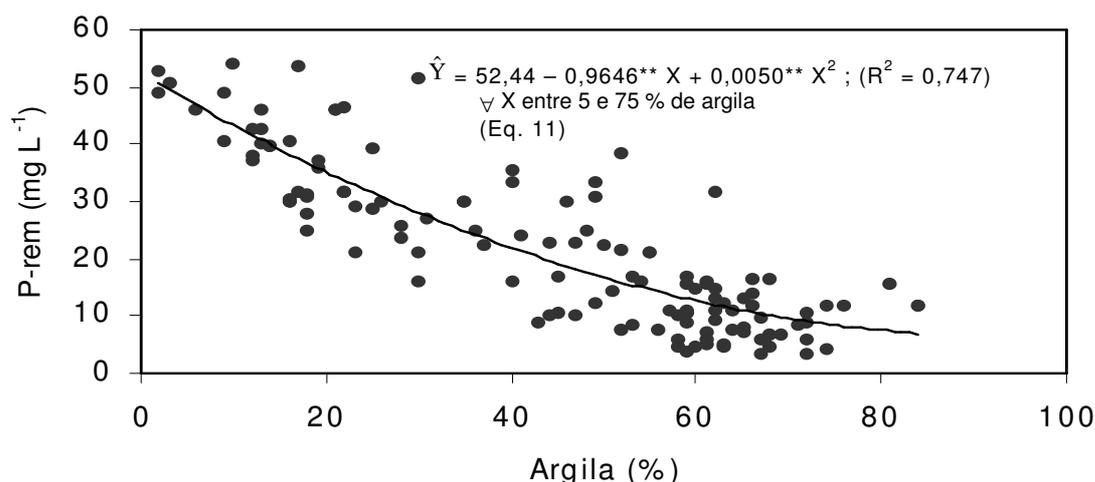


Figura 4 - Relações entre quantidade e qualidade das argilas na disponibilidade de P nos solos.

- Taxa de recuperação da planta

A partir da taxa de recuperação é a quantidade de nutriente a planta consegue recuperar em relação a quantidade aplicada. Através da taxa de recuperação pode-se calcular as doses que devem ser adicionadas 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.

3.3. Quantidade de Nutriente para Sustentabilidade do Solo

Sugere-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 2, tem se a modelando a demanda por fósforo em função da produtividade e do poder tampão de fosfato do solo.

Tabela 2 - Modelando a de demanda por fósforo em função da produtividade e do poder tampão de fosfato do solo.

Componente	Equação
	Cana planta
Colmo	$\hat{Y} = 3.393,44 - 36,9102^{**} X - 41,5718^{**} Z + 0,1327^{**} Z^2 + 0,3808^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Folha	$\hat{Y} = 2.066,46 - 25,3250^{**} X - 25,7776^{**} Z + 0,0901^{**} Z^2 + 0,2611^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Raíz	$\hat{Y} = 3.572,94 - 46,6764^{**} Z + 0,1983^{**} Z^2$
	Cana soca

Colmo	$\hat{Y} = 1.561,38 - 11,4924^{**} X + 0,01730 X^2 - 19,4638^{**} Z + 0,0684^{**} Z^2 + 0,1134^{**} XZ, R^2 = 0,997^{**}$
Folha	$\hat{Y} = 1.462,37 - 27,0474^{**} X - 18,2272^{**} Z + 0,0635^{**} Z^2 + 0,2787^{**} XZ, R^2 = 0,999^{*}$
Ressoca	
Colmo	$\hat{Y} = 1.563,80 - 10,8800^{**} X - 19,9378^{**} Z + 0,0775^{**} Z^2 + 0,1084^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Folha	$\hat{Y} = 1.466,22 - 26,9710^{**} X - 18,6351^{**} Z + 0,0723^{**} Z^2 + 0,2746^{**} XZ, R^2 = 0,999^{*}$

3.3.1. 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 5), 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:

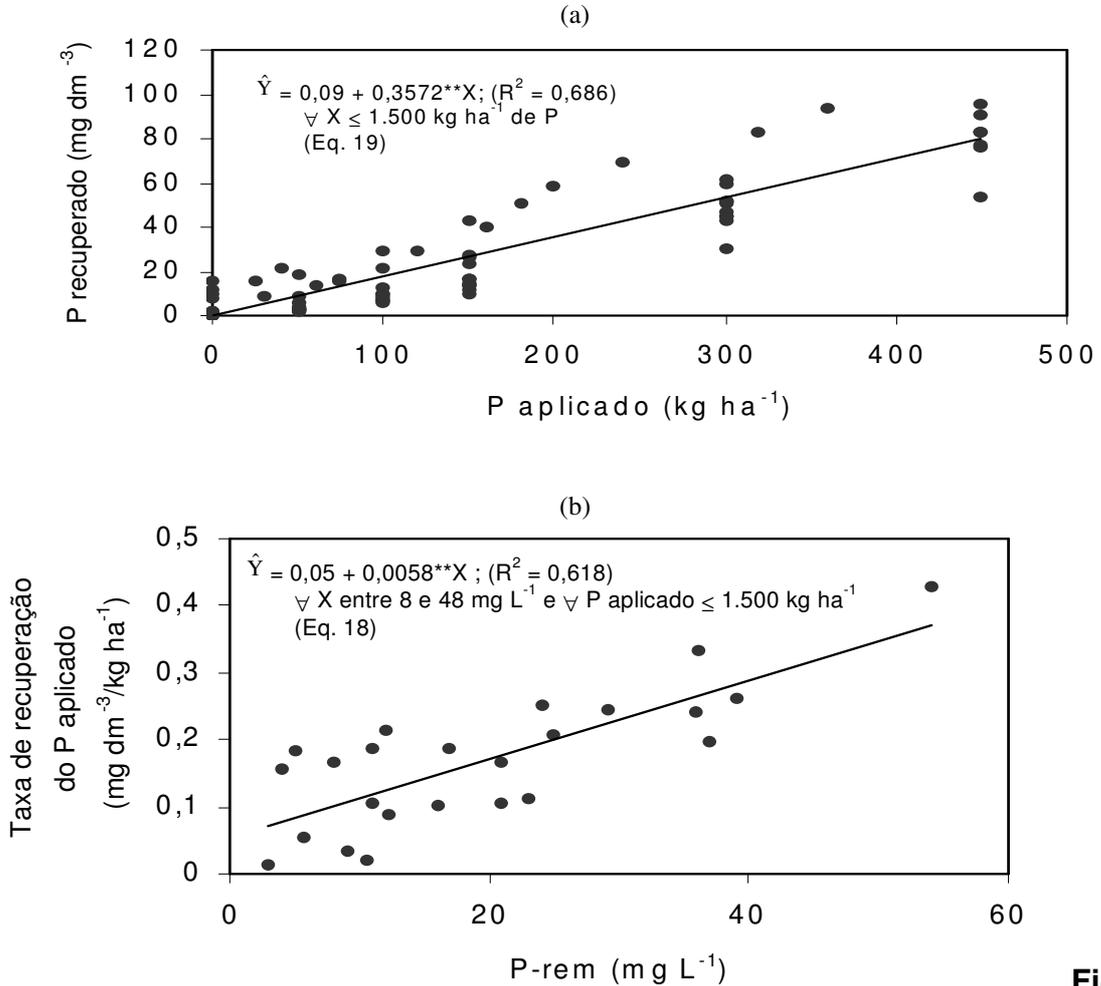


Figura 5

- Relações entre quantidade P- recuperado nos colmos e a disponibilidade de P nos solos pelos extratores de solução de Mehlich-1 (a) e resina trocadoras de íons (b).

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

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

- Nível crítico

Nível crítico de 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

Para se obter a disponibilidade de determinado nutriente no solo é necessária a análise de solo utilizando um extrator, para este modelo adotou-se como extrator o Mehlich-1 e Resina Mista. Para o caso de P, S e Zn disponível em soluções extratoras ácidas devem ser considerado a capacidade tampão dos fosfatos no solo (P-remanescente), como utilizado no Estado de Minas Gerais (Silva, 2009). Nota-se na Figura 4, o relacionamento entre quantidade e qualidade das argilas na disponibilidade de P nos 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.

3.3.2. Nutriente Fornecido pelo Solo

A forma de manejo do solo é essencial para a disponibilidade dos nutrientes, também deve se levar em conta os fatores climáticos como intensidade de chuvas, temperatura, etc.

Para obter os dados de solo, utilizam-se os dados de análises de solo, tais dados são considerados subsídios básicos para a realização do balanço nutricional da cultura.

4. APLICAÇÃO DO MODELO NO SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO

4.1. Recomendação de Calagem

Para se estimar a recomendação da necessidade de calagem temos três métodos mais utilizados:

- **Saturação por bases**, consiste na elevação da saturação de bases trocáveis para um valor que proporcione o máximo rendimento econômico do uso de calcário.

O cálculo da necessidade de calcário (NC) é feito através da equação 1:

$$NC \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = \frac{(V_2 - V_1) \times T \times f}{100} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que:

V1 = valor da saturação das bases trocáveis do solo, em porcentagem, antes da correção.

(V1 = 100 S/T) sendo:

$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ (cmolc.dm⁻³);

V2 = Valor da saturação de bases trocáveis que se deseja;

T = capacidade de troca de cátions, $T = S + (H+Al^{3+})$ (cmolc.dm⁻³);

f = fator de correção do PRNT do calcário $f = 100/PRNT$.

Quando o potássio é expresso em mg.dm⁻³, na análise do solo, há necessidade de transformar para cmolc.dm⁻³ pela fórmula:

cmolc.dm⁻³ de K = (0,0026) mg.dm⁻³ de K

A saturação de bases é variável para cada estado ou região, variando de 50 a 60%.

- Neutralização do alumínio trocável ou da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis. Tal método é, particularmente, adequado para solos sob vegetação de Cerrados, nos quais ambos os efeitos são importantes. O cálculo da necessidade de calagem (NC) é feito através da seguinte fórmula:

$$NC \text{ (t.ha}^{-1}\text{)} = Al^{3+} \times 2 + [2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \text{ (PRNT} = 100\%)$$

- Método SBNR-C

Para este sistema utilizou-se o método SBNR-C, que leva em consideração o pH e a Capacidade tampão do solo.

4.2. Recomendação de Adubação

A adubação é um dos fatores que determinam a produtividade e custos, por isso se faz necessário simular as quantidades de nutrientes necessárias. Primeiramente recomendamos a calagem (Ca e Mg), depois os macronutrientes (K, P, N e S) e por último os micro-nutrientes (B, Cu e Zn).

5. Resultados e Discussão

Através das simulações obtivemos a seguinte equação para sua nova calibração:

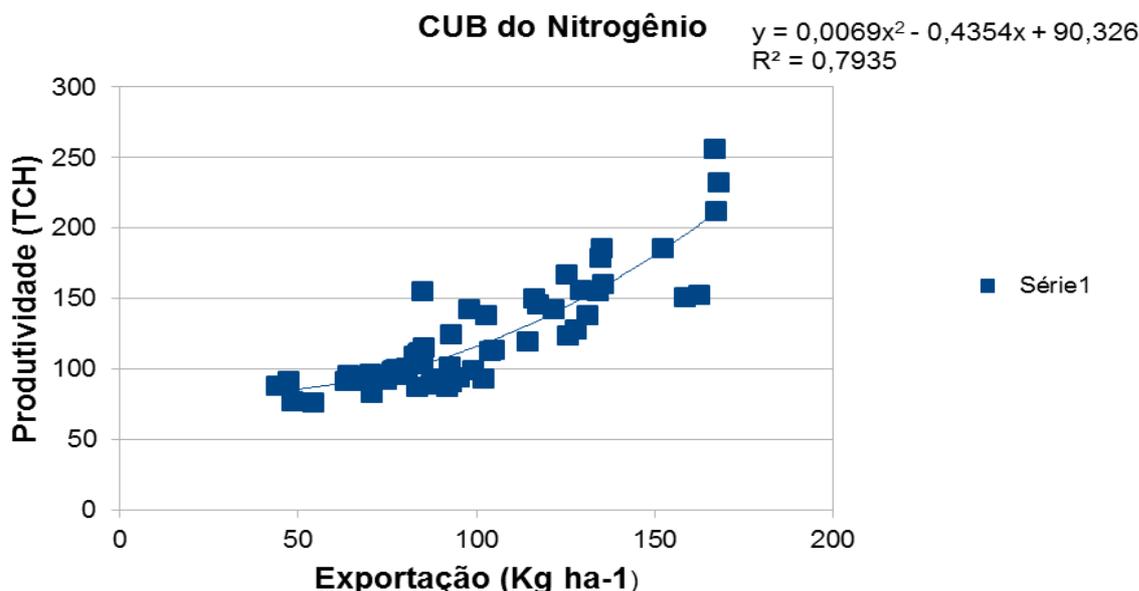


Figura 6 – Calibração para nova equação do CUB de N.

Desta forma comparou-se o resultado obtido através da equação utilizada por (FREIRE, 2001) conforme a nova calibração.

6. Conclusão

Pode-se concluir que houve pequena diferença entre os resultados de CUB para nitrogênio, os resultados obtidos por Freire foram baseados em apenas uma referência, entretanto para este trabalho utilizou-se várias referências o que contribui para maior representatividade do trabalho.

Referencias

ROSSETTO, R.; DIAS, F, L, F. “Nutrição e Adubação da Cana de Açúcar: indagações e reflexões”, [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AD1D0D574326386683257AA1006BC3D8/\\$FILE/Enc6-11-110.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AD1D0D574326386683257AA1006BC3D8/$FILE/Enc6-11-110.pdf), Encarte Informações Agrônômicas, nº 110, Junho. 2005.

SILVA, C, R. E SOUZA, Z, M.. “Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas”, <http://www.agr.feis.unesp.br/acido.htm>, Ilha Solteira, Abril. 1998.

FREIRE, F, J.. “Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar”. Tese (Doutorado em Ciência do solo)- Universidade Federal de Viçosa. 2001

RAMOS, P.. “Situação atual, problemas e perspectivas da agroindústria canavieira de São Paulo”. Informações econômicas, 29:9-24. 1999.

MENDES, L, C. “Eficiência nutricional nos cultivares de cana-de-açúcar”, http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/18/TDE-2006-12-13T150312Z-160/Publico/texto%20completo.pdf, Viçosa, Setembro. 2006.

FERNANDES, M. B.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A.C. “Níveis críticos de enxofre em solos de Pernambuco”. Revista Caatinga, Mossoró, v.20, n.3, p.93-103, jul./set. 2007.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2a. Ed. Rev. Ampl. - Brasília DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p .