

REQUISITOS DE QUALIDADE FÍSICA E QUÍMICA DE FERTILIZANTES MINERAIS

Arnaldo Antônio Rodella
José Carlos Alcarde
Departamento de Ciências Exatas
Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 9
telefone (019)4294151
13418-900 Piracicaba, SP
aarodell@carpa.ciagri.usp.br

Resumo

O presente trabalho considera as características de qualidade que os fertilizantes minerais sólidos devem apresentar para que sejam efetivos em fornecer nutrientes às plantas. São discutidos atributos de natureza física: estado físico, granulometria, consistência, fluidez e densidade; de natureza química: número, concentração e forma química dos nutrientes e compostos nocivos; e de natureza físico-química: solubilidade, higroscopicidade, empedramento e índice salino. Esses atributos em geral estão relacionados entre si quando questões práticas envolvendo fertilizantes são estudadas, tais como, uniformidade da adubação, perdas de nutrientes no solo, altura de pilhas de sacas no armazenamento, entre outros.

Abstract

This paper deals with the characteristics of mineral fertilizers which affect the efficiency of these products as a source of nutrients for crops. It will be discussed here the physical fertilizer quality: particle size, granule hardness, flowability and density; chemical quality: number, concentration and chemical form of the nutrients and contaminants; physico-chemical quality: solubility, hygroscopicity, caking and salinity index. Those factors are related to practical problems as the height of pile of fertilizers bags during storage, chemical compatibility in mixtures and uniformity of fertilizer distribution during its application in the field.

1. INTRODUÇÃO

Fertilizantes são empregados para suprir as necessidades nutricionais das plantas, quando o solo por si só não tem condições de fazê-lo. Para cumprir sua função os fertilizantes minerais devem apresentar uma série de características desejáveis.

Num solo naturalmente fértil, ao qual não se necessita aplicar fertilizante, os nutrientes estão presentes em quantidades adequadas e balanceadas, sob formas que se tornam disponíveis as plantas na medida de suas necessidades, em suma, uma situação ideal. Através do uso racional de fertilizantes, tem-se que cumprir a função de nutrir as plantas provocando o menor distúrbio possível das condições naturais e ainda sob condições ótimas do ponto de vista econômico.

O êxito na fertilização se inicia pela correta definição da quantidade necessária de fertilizante, através de um bom sistema diagnóstico, que pode avaliar a fertilidade do solo ou o estado nutricional das plantas. Mas isso não é tudo; além de saber quanto se deve aplicar de fertilizante, o êxito da adubação depende da época, adequando-a ao estágio de desenvolvimento da cultura e, sobretudo, da aplicação tecnicamente correta. Neste processo os atributos de qualidade do fertilizante desempenham um papel crucial.

Os fertilizantes minerais são aqueles constituídos por compostos inorgânicos, muito embora também sejam considerados fertilizantes minerais alguns compostos orgânicos sintéticos como a uréia, a calciocianamida e os quelatos. Os fertilizantes minerais serão denominados simples se forem constituídos por um único composto químico, podendo fornecer um ou mais nutrientes. Os fertilizantes mistos ou misturas de fertilizantes são aqueles constituídos por dois ou mais fertilizantes simples .

2. CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DOS FERTILIZANTES MINERAIS

Segundo Alcarde et al. (1989), as características de qualidade dos fertilizantes minerais podem ser classificadas quanto à sua natureza em: características de natureza física, química e físico química.

2.1. Características de natureza física

Grande parte dos problemas com fertilizantes estão relacionados com suas propriedades físicas. A preferência pelo consumidor de um fertilizante em relação a outro de mesma composição decorre quase sempre de suas propriedades físicas, as quais podem ser diretamente avaliadas pela observação do produto. Muitos procedimentos de produção, incluindo-se aí vários tipos de tratamento de condicionamento físico, foram desenvolvidos para melhorar as propriedades físicas.

Ao contrário das características químicas, as características físicas dos fertilizantes são mais difíceis de serem controladas pela legislação oficial e muitas vezes pendências podem ser resolvidas por acordo direto entre fornecedor e consumidor.

2.1.1. Estado físico

Fertilizantes são empregados predominantemente na forma sólida. Quanto ao estado gasoso, o único fertilizante assim empregado é a amônia anidra. O emprego de soluções e suspensões de fertilizantes é de uso relativamente recente no Brasil, e relativamente restrito, tendo se expandido a partir da aplicação de *aqua-amônia, solução de amônia* a 16-18%N, na cultura da cana-de-açúcar nos anos 80, incluindo posteriormente suspensões contendo fósforo e potássio.

2.1.2. Granulometria

Uma característica importante dos fertilizantes sólidos é a granulometria ou o tamanho das partículas.

A granulometria de fertilizantes sólidos é determinada pelo tamanho e pela forma de suas partículas, sendo expressa quantitativamente por meio dos resultados de uma análise granulométrica. Esta análise consiste, basicamente, em fazer uma massa conhecida do produto passar por uma série de peneiras com tamanho de abertura de malha decrescente. Pesando-se a massa retida em cada peneira, expressa-se cada fração em termos percentuais.

De acordo com a granulometria os fertilizantes sólidos podem se apresentar na forma de pó, farelado ou granulado. estes últimos podem por sua vez se apresentar sob os seguintes tipos:

- *misturas de grânulos*: são os fertilizantes mistos ou misturas fertilizantes obtidos pela mistura física de dois ou mais fertilizantes granulados
- *misturas granuladas*: são os fertilizantes mistos ou misturas fertilizantes onde cada grânulo contém todos os nutrientes garantidos.
- *misturas complexas* :são os fertilizantes mistos ou misturas resultantes de reação química entre matérias primas como NH_3 , H_3PO_4 e H_2SO_4 , onde cada grânulo também contém todos os nutrientes garantidos

As misturas de grânulos apresentam a vantagem sobre as misturas granuladas de permitir uma maior flexibilidade no preparo de fórmulas segundo a necessidade do agricultor. Contudo, conforme será discutido a seguir, diversos problemas relacionados com os atributos dos fertilizantes são minimizados pela granulação.

Em geral, fertilizantes mistos granulados, onde cada grânulo contém os nutrientes N, P e K, apresentam granulometria mais uniforme que as misturas de grânulos. A granulometria de um fertilizante pode ser o fator chave de sua eficiência agronômica. É o que ocorre com fosfatos de rocha, cuja efetividade aumenta com a diminuição do tamanho de suas partículas até um valor de 0,15 mm, abaixo do qual não se tem mais ganho expressivo de solubilidade (Kasawneh & Doll, 1978). O excessivo grau de moagem do produto, contudo, torna-o um pó excessivamente fino causando problemas durante sua aplicação que levaram a pesquisas para granular o fosfato moído com um “ligante“ solúvel.

Como consequência da composição granulométrica, os fertilizantes sólidos podem apresentar o fenômeno da segregação, ou seja a separação das partículas componentes de uma mistura de fertilizantes por ordem de tamanho. O fator que mais favorece esse processo é a desuniformidade de tamanho das partículas.

Tome-se como exemplo, uma mistura fertilizante NK 18-00-36, para a qual cada tonelada será constituída por 400 kg uréia e 600 kg de KCl. Grânulos de KCl, normalmente com formato irregular e de tamanho maior que as partículas esféricas de uréia fazem com que estas tendam a se depositar no fundo de sacas e caçambas, enquanto que o KCl fica na

parte superior. Desta forma, durante a adubação a mistura que está sendo aplicada às plantas poderá ter composição bem diferente de 18-00-36. Em geral, mas não obrigatoriamente, o problema é mais acentuado em mistura de grânulos que em misturas granuladas e ocorre durante o processo de produção, transporte, amostragem para análise e na aplicação do fertilizante.

Os mais diferentes tipos de formulações NPK sob a forma de mistura de grânulos podem apresentar evidências de segregação, conforme ilustrado na tabela 1.

Inserir Tabela 1

Resultados obtidos em análise de rotina para a mistura 18-00-36 empregada na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba foram discutidos por Rodella & Alcarde (1994). Ao se correlacionarem os resultados das determinações de N e K_2O obtidos na análise química de diferentes amostras daquela mistura obteve-se uma reta a qual evidencia a ocorrência da segregação (Figura 1).

Inserir Figura 1

É necessário ressaltar, que o problema causado pela segregação não é minimizado pelo fato da queda no teor de um nutriente ser compensada pelo aumento no teor de outro. Isso pôde ser avaliado ao se considerar a fertilização da cultura da cana-de-açúcar no ciclo de soqueira. Embora a cana normalmente responda à aplicação de N e K_2O neste ciclo, a intensidade de resposta é diferente para cada nutriente, conforme evidenciado pelos coeficientes da função matemática ajustada à curva de resposta, obtida em experimento de campo. A Figura 2 evidencia esse fato, ao mostrar um aparente efeito negativo da aplicação de K sobre a produtividade da cana. Na verdade, a figura reflete que o aumento da quantidade aplicada de K_2O por uma mesma dose de mistura de grânulos de fórmula NK 18-00-36, se dá às custas de uma diminuição da quantidade aplicada de N, que tinha maior eficiência que o K em aumentar a produtividade da cana.

Inserir Figura 2

A segregação dificulta particularmente a obtenção de amostras representativas ao influenciar a coleta de amostras, o processo de redução da quantidade amostrada e a medida de uma massa do fertilizante para análise. Carvalho (1994), trabalhando com uma mistura de grânulos de fórmula 4-14-08, determinou a contribuição de cada etapa da marcha analítica na variância dos teores de N, P e K e detectou também uma ampla variação na composição química do produto em função da fração granulométrica considerada. , conforme pode ser observado na tabela 2.

Inserir Tabela 2

Durante a aplicação do produto no campo Popp & Ullrich (1985a) verificaram que adubadoras que distribuem fertilizante por ação da força centrífuga não foram adequadas para misturas de grânulos, mas esse tipo de fertilizante, desde que não sofresse segregação durante o transporte, foi aplicado sem maiores problemas por equipamentos com dosadores volumétricos, que são aqueles predominantes no mercado brasileiro (Balastreire & Coelho, 1992). Por outro lado, adubadoras centrífugas não apresentam problemas para aplicar misturas granuladas.

A figura 3, tirada de Popp & Ullrich (1985b) ilustra a variação que ocorre na distribuição ao solo de uma mistura de grânulos de fórmula 15-15-15 por uma adubadora centrífuga. A fórmula nominal é 15-15-15, mas ao longo da faixa de aplicação a fórmula efetivamente aplicada tem composição variada.: As maiores concentrações de KCl nas extremidades da faixa de aplicação podem ser explicadas pela maior densidade e pelo maior tamanho das partículas desse fertilizante.

Inserir Figura 3

A segregação prejudica particularmente a uniformidade dos teores de micronutrientes, quando uma quantidade relativamente pequena da fonte, em geral na forma de pó, é adicionada à misturas de grânulos (Smith, 1961)

Apesar dos problemas de segregação serem maiores nas misturas de grânulos, isso não pode ser tomado como regra. O controle de qualidade eficiente das matérias-primas que entram na composição dessas misturas, no sentido de que suas partículas apresentem unifor-

midade de tamanho poderia resultar em produtos com boas características físicas. Contudo, como parte da matéria-prima dos fertilizantes no Brasil é importada esse controle torna-se muito difícil.

2.1.3. Consistência

Consistência significa o grau de dureza ou resistência a quebra ou abrasão do grânulo de fertilizante. Quando os grânulos são frágeis ocorre a quebra e ou a formação de pó, que resulta em partículas desuniformes.

O método mais simples para avaliação da dureza consiste em determinar a resistência individual de grãos de diâmetro similar à aplicação de pressão. Podem ser usados neste teste equipamentos diversos ou mesmo nenhum. Um grão que pode ser esmagado entre os dedos pode ser considerado como frágil; se ele pode ser amassado pela pressão do dedo contra uma superfícies dura terá dureza média e se sair intacto será considerado como duro.

Fertilizantes com dureza menor que 1,4 kg para grãos entre 7 e 8 mesh de diâmetro são considerados muito fracos para um manuseio sem problemas, sendo desejáveis valores acima de 2,3 kg. Valores de dureza de fertilizantes nitrogenados são mostrados na Tabela 3

Inserir Tabela 3

2.1.4. Fluidiez

É a capacidade de livre escoamento pelos sistemas mecânicos de aplicação e se relaciona com a eficiência de distribuição dos fertilizantes. Ao se observar que o reservatório de uma adubadora tem fertilizante mas este não flui é muito provável que esteja ocorrendo a formação de túneis.

A tendência de escoamento dos fertilizantes é avaliada pelo parâmetro *ângulo de repouso*; quanto menor este, maior a fluidiez. Produtos com escoamento livre apresentam ângulo de repouso entre 30 e 35 graus. Quanto maior a umidade do produto maior o ângulo de repouso e menor a fluidiez. (Luz, 1993).

2.1.5. Densidade

É o parâmetro que relaciona massa e volume do produto. O conhecimento da densidade é importante no dimensionamento de áreas de armazenamento e de embalagens. Como exemplos de densidade podem ser citados os valores da uréia, $1,33 \text{ g cm}^{-3}$; fosfato diamônico, $1,78 \text{ g cm}^{-3}$ e KCl, $1,99 \text{ g cm}^{-3}$.

A densidade tem influência na distância de lançamento da partícula em adubadoras centrífugas, conforme se pode observar na tabela 4.

Inserir Tabela 4

Para Hoffmeister et al. (1964), o efeito da densidade é muito pequeno na segregação de misturas de grânulos. Os autores chegaram a esta conclusão trabalhando com uma mistura constituída por 37% em peso de nitrato fosfato de amônio, com densidade $1,27 \text{ g cm}^{-3}$, e 63% de superfosfato triplo, com densidade $2,12 \text{ g cm}^{-3}$, materiais esses que tiveram o tamanho de suas partículas equalizados entre 8 e 10 mesh antes da mistura.

3. CARACTERÍSTICAS DE NATUREZA QUÍMICA

3.1. Número de nutrientes

Um fertilizante pode conter um, dois ou vários macronutrientes primários, macronutrientes secundários e micronutrientes. Uma vantagem óbvia de fertilizantes com vários nutrientes é a economia de trabalho na aplicação, mas deve-se considerar ainda que os nutrientes serão aplicados mantendo a mesma relação entre suas concentrações. Essa última vantagem, contudo, nem sempre é obtida para qualquer produto.

3.2. Forma química dos nutrientes

Dependendo do nutriente, ele pode se apresentar nos fertilizantes sob diferentes formas químicas. O K, por exemplo, é o caso mais simples pois ele é encontrado apenas na forma iônica, K^+ , fornecida sobretudo através de KCl e, raramente, como K_2SO_4 , $\text{KMg}(\text{SO}_4)_2$

e KNO_3 . Como esses sais são solúveis em água, o comportamento no solo do K é praticamente invariável com relação à fonte empregada.

Já o N pode ser aplicado ao solo em diferentes formas: amoniacal, NH_4^+ e NH_3 ; nítrica, NO_3^- ; amídica, NH_2 ; cianamídica e protéica. Além do mais, essas formas, uma vez presentes no solo, sofrem transformações acentuadas em um espaço de tempo relativamente curto.

Com relação ao P ele é aplicado basicamente como espécies protonadas do íon fosfato: H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-} ou até mesmo H_3PO_4 . A concentração total dessas formas no solo vai depender estritamente da solubilidade da fonte empregada. Na Tabela 5 são apresentados os compostos de P presentes em alguns fertilizantes fosfatados comerciais mais comuns

Inserir Tabela 5

3.3. Concentração dos nutrientes

Os fertilizantes minerais apresentam uma vantagem bastante atraente do ponto de vista econômico, que é poderem apresentar elevadas concentrações de nutrientes, resultando em menores custos de armazenamento, transporte e aplicação por unidade de massa de nutriente. Essa é uma característica tão marcante, que torna pouco interessante técnica e economicamente, a utilização em larga escala de fertilizantes orgânicos, apesar das vantagens que estes poderiam apresentar.

O emprego de fertilizantes mais concentrados pode trazer problemas com relação a macronutrientes secundários e micronutrientes. O exemplo clássico é o que ocorre quando do emprego em larga escala da uréia (45%N) em substituição ao sulfato de amônio (20%N), causando o aparecimento de deficiência de S.

A economicidade dos fertilizantes concentrados poderá ser questionada ao se levantar problemas como: desbalanceamento nutricional do solo, toxicidade às plantas, perdas de nutrientes por lixiviação ou erosão, poluição do lençol freático, entre outros.

A concentração dos nutrientes no fertilizante mineral deve estar em acordo com o que foi especificado e garantido pelo fabricante. Este pode se constituir em um ponto crítico na relação entre o usuário de fertilizante e o fornecedor do produto. Frequentemente, surgem questionamentos sobre os teores de nutrientes garantidos e os efetivamente encontrados no

produto vendido. Nesse aspecto, a análise química cumpre papel decisivo e, caso análises preliminares não levem à solução dos problemas entre as partes, pode-se chegar até a execução de análises periciais. Por outro lado, a obtenção de valores confiáveis nas análises químicas de fertilizantes pode ser dificultada pelas características do produto. Fertilizantes com tendências de segregar e produtos higroscópicos dificilmente permitem obter amostras plenamente representativas. Além disso, para esses materiais, o preparo, a redução da quantidade amostrada e a seleção de uma quantidade de amostra para análise são também prejudicados.

A legislação brasileira define as concentrações mínimas para teores de macro e micronutrientes nos fertilizantes minerais, bem como as tolerâncias que podem ser admitidas (Brasil, 1983a). Estipula para fertilizantes a serem aplicados ao solo os seguintes teores mínimos de micronutrientes, expressos em sua forma elementar e em porcentagem: B 0,02; Cl 0,1; Co 0,0005; Cu 0,05; Fe 0,1; Mn 0,02; Mo 0,0005 e Zn 0,05. Pela portaria nº 82, de 9 de maio de 1994 foram incluídos teores mínimos de micronutrientes em fertilizantes sólidos destinados a aplicação foliar, também expressos em sua forma elementar e em porcentagem : B, 0,02; Cl, 0,1; Cu, 0,05; Fe 0,1; Mn, 0,05; Mo, 0,005 e Zn, 0,1. Nas especificações, garantias e tolerâncias dos fertilizantes, corretivos e outros produtos, a legislação brasileira indica que a tolerância em relação ao teor de micronutrientes é de até 10% sem exceder uma unidade, quando vendidos isoladamente, e até 30% quando em misturas para aplicação no solo ou foliar.

Na fertilização de plantio de eucalipto são empregadas formulações mais concentradas em P como 6-30-6 e 8-28-6, compostas em geral por fosfato diamônico, superfosfato triplo, uréia e KCl. Na adubação de cobertura são empregadas as misturas 20-0-20 e 20-5-20.

3.4. Compostos indesejáveis

Compostos tipicamente citados como nocivos às plantas e presentes nos fertilizantes são o biureto, formado na produção da uréia, os íons tiocianato e perclorato e a dicianodiamida.

Recentemente, tem despertado interesse a ocorrência de metais pesados em fertilizantes. Deve-se ressaltar, que dentre os metais pesados incluem-se tanto elementos essenciais como Fe, Cu, Zn e Mn, como também elementos não nutrientes como Pb, Cr e Cd. Na verdade, a toxicidade é uma condição ligada à concentração do elemento e, nesse sentido, micronutrientes presentes em excesso em misturas de fertilizantes poderiam ser considerados como nocivos. Rochas fosfatadas e fertilizantes produzidos a partir delas, como superfosfatos simples e triplo e fosfatos de amônio, podem contribuir para aumentar a concentração de micronutrientes e metais não nutrientes nos fertilizantes conforme pode se observado na Tabela 6. Entretanto, a questão que mais tem causado polêmica com relação à presença de metais pesados é o uso de resíduos industriais como fonte de micronutrientes, como aqueles da indústria siderúrgica.

Inserir Tabela 6

A preocupação com o efeito de metais pesados, provenientes de fertilizantes minerais tradicionais ou de fontes alternativas como lodos de tratamento biológico e demais resíduos industriais, se relaciona sobretudo com a adubação de plantas empregadas diretamente na alimentação humana como hortaliças, grãos, entre outros. Por outro lado, a fertilização de essências florestais é vista como uma possibilidade de emprego daqueles materiais, pois não haveria a preocupação com entrada de elementos nocivos na cadeia alimentar.

3.5. Poder alcalinizante e acidificante dos fertilizantes

Certos fertilizantes podem afetar o pH dos solos. Os nitrogenados amoniacais, a uréia e o enxofre elementar são acidificantes enquanto que o termofosfato magnésiano é alcalinizante. Os fertilizantes orgânicos, dependendo de sua natureza, podem baixar ou elevar o pH do solo.

Uma questão diretamente relacionada às características químicas dos fertilizantes é a incompatibilidade por ocasião do preparo de misturas. Durante esse processo, podem ocorrer reações químicas entre os componentes da misturas promovendo, por exemplo, volatilização de N, insolubilização de nutrientes, notadamente P, Fe, Zn e Mn. Produtos com reação alca-

lina como DAP e fosfatos termomagnesianos e calcário, usados como enchimento, promovem a incompatibilidade química.

Uréia e superfosfato triplo podem ser considerados como *razoavelmente compatíveis*, contudo, podem se tornar incompatíveis dependendo do conteúdo de água do superfosfato. Fosfato diamônico e superfosfatos também são relativamente incompatíveis porque as reações que ocorrem ao longo do tempo de armazenamento resultam em empedramento.

A questão da incompatibilidade pode, até certo ponto, ter sua importância diminuída ao se considerar o emprego dos chamados *big-bags*, recipientes de lona plástica, com capacidade de 1 tonelada ou mais, transportados diretamente da empresa misturadora até o campo. Neste caso, misturas de fertilizantes são preparadas em formulações solicitadas pelo usuário e rapidamente enviadas em *containers* até os pontos de aplicação. O curto espaço de tempo decorrido entre a mistura e a aplicação impede que reações indesejáveis ocorram em intensidade suficiente para prejudicar o produto.

4. CARACTERÍSTICAS DE NATUREZA FÍSICO-QUÍMICA

4.1. Solubilidade

As plantas absorvem nutrientes a partir da solução do solo, um sistema complexo que envolve um número amplo de espécies químicas, relacionadas entre si pelos diferentes sistemas de equilíbrio químico presentes.

Quando se aplica um fertilizante ao solo pretende-se que ele consiga estabelecer uma concentração adequada de nutrientes na solução do solo. Já nas primeiras observações relacionadas à nutrição mineral de plantas constatou-se que os fertilizantes solúveis em água eram mais eficientes que fertilizantes orgânicos tradicionais como esterco, por exemplo. Mas há que se considerar o outro lado desta questão, ou seja, a perda de eficiência na fertilização determinada pela lixiviação de nutrientes presentes em fontes solúveis.

Para fertilizantes nitrogenados e potássicos usualmente a solubilidade em água dos seus nutrientes exprime disponibilidade às plantas. Isso não ocorre com o P, que é um elemento bastante estudado sob esse aspecto, empregando-se extratores como solução de ácido cítrico e solução neutra de citrato de amônio.

Uma questão que tem despertado interesse é a solubilidade das fontes de micronutrientes nas misturas de fertilizantes. A legislação atual regulamenta os teores mínimos e as tolerâncias que podem ser aplicadas aos teores de elementos micronutrientes nos fertilizantes. A metodologia oficial de análise do Brasil (Brasil, 1983b) não caracteriza a forma na qual o elemento é determinado, mas como envolve ataque por meio de ácidos fortes e a quente, podem ser considerados como teores totais. A questão que se coloca é: qual a efetividade dos teores totais garantidos de micronutrientes em termos de disponibilidade às plantas? A questão é bastante pertinente, uma vez que fontes insolúveis, como resíduos industriais, podem ser empregados em fertilizantes uma vez que os resultados de suas análises atestam que as concentrações de seus nutrientes estão dentro dos teores garantidos. Pesquisas no sentido de se adequar extratores para as determinações de micronutrientes têm sido conduzidas (Valle, 1997)

Qualquer fertilizante que libere seus nutrientes no decorrer de um período relativamente longo pode ser considerado, em princípio, como sendo de liberação lenta e, neste aspecto, os fertilizantes nitrogenados foram os mais estudados. O controle da solubilidade em fertilizantes nitrogenados já foi estudado considerando-se o uso de: materiais pouco solúveis, representados principalmente pelos compostos uréia-aldeído; materiais solúveis recobertos, como uréia recoberta por enxofre e por inibidores de nitrificação. (Hignett, 1971). O baixo custo dos fertilizantes potássicos desestimularam esforços de se aumentar sua eficiência de aproveitamento, reduzindo-se a velocidade de liberação de K. Com relação aos fertilizantes fosfatados, a tendência é justamente a oposta, ou seja, pesquisas são dirigidas para obtenção de fontes solúveis, entretanto, com características que reduzam a reação com o solo, em parte conseguido aumentando o tamanho dos grânulos das fontes solúveis.

Em termos mundiais, cerca de 562.000 Mg de fertilizantes sintéticos de liberação lenta (partículas recobertas) são aplicados anualmente, representando em torno de 0,15% do consumo anual mundial de fertilizantes minerais. Eles são mais caros que os fertilizantes convencionais e têm o uso limitado à culturas de alto valor. Quantidades limitadas são empregadas em fruticultura e hortaliças. No Japão 70% do fertilizante empregado na cultura do arroz é um fertilizante de liberação lenta recoberto por polímero, todavia trata-se de cultura muito subsidiada. Inibidores de nitrificação e de urease têm uso mais difundido em culturas plantadas em larga escala, estimando-se uma redução de 15 a 20% da dose usual de nitrogê-

nio pelo aumento da eficiência de uso do nutriente. Apesar disso, o uso desses produtos tem sido restrito sobretudo à cultura do milho. Um inibidor de urease, Agrotain[®], foi introduzido e tem sido comercializado nos EUA a partir de 1996, com resultados promissores.

Os benefícios ambientais são um aspecto interessante do uso dos fertilizantes de liberação lenta e dos inibidores de nitrificação, na medida em que proporcionam menores perdas de N por diminuir a lixiviação de íon nitrato, emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia.

No Brasil, embora tenham sido realizadas algumas pesquisas, os fertilizantes de solubilidade controlada nunca foram empregados em larga escala. É encontrado no mercado um produto que apresenta características de liberação controlada de nutrientes, no qual o grânulo é recoberto por resina orgânica. Esses produtos até então só têm sido economicamente viáveis para uso em viveiros florestais Segundo o fabricante, *a água penetra no grânulo, dissolve os nutrientes do interior, os quais vão sendo liberados de forma gradual*. A velocidade de liberação depende da temperatura. Algumas formulações disponíveis e o tempo de liberação de nutrientes são mostrados na Tabela 7.

Inserir Tabela 7

4.2. Higroscopicidade

É a tendência que os materiais apresentam em absorver água do ar atmosférico. É expressa pelo parâmetro *umidade relativa crítica*, definida como a umidade relativa máxima a que o produto pode ser exposto sem absorver umidade. Valores desse parâmetro para alguns fertilizantes são mostrados na Tabela 8.

Inserir Tabela 8

A higroscopicidade é um fator de incompatibilidade pois a mistura de dois fertilizantes apresenta maior higroscopicidade que a dos componentes envolvidos, o que dificulta a elaboração de misturas. Uma mistura de uréia (75,2%) e cloreto de potássio (84,0%), por exemplo, apresenta umidade relativa crítica de 60,3%. A maior redução ocorre com a mistura de nitrato de amônio e uréia, que apresenta umidade relativa crítica de 18,1%.

O grau de higroscopicidade do fertilizante ou a magnitude de sua umidade crítica determina, sobretudo, o tipo de embalagem a ser empregado, ou seja, o quanto ele deve isolar

o produto da umidade. Também restringe o grau de manipulação e a possibilidade de armazenamento aberto. Por outro lado, não se deve superestimar a importância da higroscopicidade para o empedramento, se as condições de armazenamento forem eficientes no sentido de isolar o produto da umidade atmosférica.

4.3. Empedramento

Empedramento é a cimentação das partículas de fertilizante, formando massas de dimensões muito maiores que as das partículas originais. A causa do empedramento é a formação de pontes cristalinas entre as partículas de fertilizante, as quais atuam como pontos de ligação entre elas.

Ao contrário do que em geral se acredita, o empedramento não é resultado direto da absorção de umidade pelo material durante o armazenamento. Pilhas de sacos protegidas adequadamente contra umidade e sacos do centro das pilhas também empedram. Dentre as causas, a mais provável é o excesso de umidade resultante de seu processamento, possibilitando a ocorrência de uma solução saturada entre os grânulos.

Também contribuem para o empedramento a consistência das partículas, a temperatura de estocagem e a altura das pilhas. Em pilhas com 20 sacas ou mais, considerada como uma altura moderada, a pressão de estocagem favorece o empedramento em fertilizantes que já apresentam essa tendência.

Em geral, o empedramento dos fertilizantes é favorecido pela fragilidade dos grânulos, que ao se deformarem, resultam em maiores áreas de contato entre eles. A quebra dos grânulos resulta em pó que também favorece o empedramento.

4.4. Índice salino

Índice salino é um parâmetro do fertilizante que informa sobre sua capacidade em aumentar a pressão osmótica da solução do solo. Como exemplo podem ser citados os seguintes valores: KCl 116, uréia 75, K_2SO_4 46, superfosfato simples 8, fosfato monoamônico 30, entre outros. As plantas, sobretudo as mais novas, sofrem problemas com o aumento de salinidade do solo, pois existe a tendência da água caminhar para fora da célula do vegetal, causando a seca fisiológica.

Literatura Citada

- ALCARDE, J.C.; GUIDOLIN, J.A.; LOPES, A. S. Os adubos e a eficiência das adubações São Paulo, ANDA, 1989 35p. (ANDA, Boletim Técnico, 3)
- BALASTREIRE, L. A. & COELHO J.L.D. Aplicação mecanizada de fertilizante e corretivos. São Paulo, ANDA, 1992. 47p. (ANDA, Boletim Técnico, 7)
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Corretivos e Fertilizantes. Inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados a agricultura; legislação. Brasília, 1983a . 88p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Laboratório nacional de Referencia Vegetal. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes; métodos oficiais. Brasília, 1983b, 104p.
- CARVALHO, F.J.P.C. Fatores de variação dos resultados da análise química e granulométrica de fertilizantes Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995. 68p. (Mestrado)
- GABE, U.; RODELLA, A. A. Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. Communications in soil science and plants analysis, 30(5&6), 605-620, 1999.
- HIGNETT, T.P. Controlled-release fertilizers Fertilizer News:1642-1648, 1971
- HOFFMEISTER, G.; WATIKS, S.C.; SILVERBERG, J. Bulk blend of fertilizer material: effect of size, shape and density on segregation. Journal of Agricultural And Food Chemistry. Easton, 12(1):64-69, 1964.
- KASAWNEH, F.E. & DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils Advances in Agronomy,, 30:159-206, 1978.
- LUZ, P H C. Determinação do ângulo de repouso de fertilizantes e corretivos . Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga 1993, 6p.
- POPP, T. & ULRICCH, K.H. La importancia de la calidad del fertilizante para la aplicación com fertilizadoras. BASF Reportes Agrícolas, Limburgerhof, 2:3-13, 1985a
- POPP, T. & ULRICCH, K.H. Aplicación y calidad de los abonos complejos. BASF Reportes Agrícolas, Limburgerhof, 3:14-23, 1985b
- RODELLA, A.A. & ALCARDE, J.C. Variabilidade na composição de misturas fertilizantes decorrente de segregação e estimativa do efeito sobre a produtividade da cana-de-açúcar. STAB, Açúcar e Álcool, 13(2):14-19, 1994.

SMITH, G.E. Bulk blended. In: ANNUAL MEETING OF THE FERTILIZER INDUSTRY ROUND TABLE, 11, Washington, 1960. Proceedings. Maumee, Andersons, 1960. 9.90-97.

VALLE, F. Avaliação química da disponibilidade dos micronutrientes contidos nos fertilizantes. Piracicaba, Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 67p. (Dissertação de mestrado)

Tabela 1. Resultados obtidos em análise de rotina de amostras de fertilizantes (misturas de grânulos), evidenciando o efeito de segregação dos seus constituintes.

Teores garantidos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- % -----		
05-25-25	4,8	22,5	26,6
00-20-20	--	21,5	18,5
30-00-20	31,8	--	17,6
05-30-20	4,7	29,2	19,8
05-30-20	4,4	27,5	22,3
05-30-20	4,3	28,2	24,2
05-30-20	4,6	28,6	20,3
05-30-20	4,5	29,0	22,7

Tabela 2. Resultados das determinações de N, P₂O₅ e K₂O em diferentes frações granulométricas de uma mistura de grânulos de fórmula 4-14-08

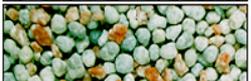
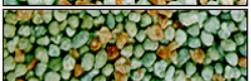
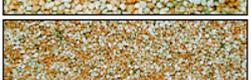
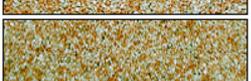
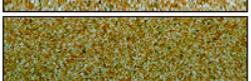
Imagem da fração	Malha (mm)	% Ret.	%N	%P₂O₅	%K₂O
	4,00	0,81	3,55	7,31	30,10
	2,38	47,68	2,97	12,56	8,80
	2,00	21,26	3,11	13,24	5,27
	1,19	24,73	3,88	12,38	7,54
	1,00	1,35	9,00	7,71	16,80
	0,50	1,56	9,30	6,76	17,80
	0,42	0,49	10,10	7,11	14,80
	fundo	2,12	7,11	6,08	6,01

Tabela 3. Valores de dureza para fertilizantes nitrogenados

Fertilizante	Dureza	
	valor médio	faixa de variação
	----- g/grão -----	
Nitrato de amônio	1371	998- 1568
Fosfato monoamônico (MAP)	3734	1505- 5724
Fosfato diamônico (DAP)	2686	1616- 5349

Fonte: Ultrafertil

Tabela 4. Efeito da densidade e do tamanho de partícula sobre a distância de lançamento por uma adubadora centrífuga.

Tamanho de partícula	----- densidade (g cm ⁻³) -----		
	1,0	1,5	2,0
mm	----- distância de lançamento (m) -----		
1	3,30	4,10	4,80
2	4,50	5,10	5,40
3	5,10	5,60	5,80

Tabela 5. Principais componentes de alguns fertilizantes fosfatados comerciais (resumido de Alcarde, 1979)

Fertilizante	P ₂ O ₅ total	Fração solúvel em água)	Compostos de P presentes	
			Principal	Secundário
	-----	%	-----	
Superfosfato Simples	20	85	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O*	CaHPO ₄ ; fosfato de Fe(Al) e Ca
Superfosfato Triplo	45	87	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O*	CaHPO ₄ ; fosfato de Fe(Al) e Ca
Fosfato Mono- amônico (MAP)	-	100	NH ₄ H ₂ PO ₄	fosfato de Fe(Al) e Ca
Fosfato Diamô- nico (DAP)	53	100	(NH ₄) ₂ HPO ₄	fosfato de Fe(Al) e Ca
Termofosfatos	-	1	Ca ₃ (PO ₄) ₂ **	Ca ₃ (PO ₄) ₂ .CaSiO ₄ Ca ₃ (PO ₄) ₂ .MgSiO ₄
Fosfatos Naturais	30	1	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ [F ₂ , (OH) ₂ , CO ₃]	5CaO.6Al ₂ O ₃ .4P ₂ O ₅ . 18H ₂ O

(*) fosfato monocálcico (**) fosfato tricálcico

Tabela 6. Concentrações de metais pesados não nutrientes em diferentes tipos de fertilizantes (adaptado de GABE & RODELLA, 1999)

Material	Ni	Cd	Cr	Pb
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Rocha fosfatada Catalão	45	3,7	19	58
Concentrado apatítico fino Araxá	97	7	44	127
Superfosfato triplo	3	2,6	14	2
Superfosfato simples	44	2,5	26	92
Fosfato monoamônico (MAP)	24	3,5	17	18
Fosfatos diamônico (DAP)	24	2,7	17	1
Termofosfato	271	3	1070	5
NPK 4-14-08	30	11	19	169
Fonte de micronutriente: BR-5	103	563	30	1221
Fonte de micronutriente: Nutricitro	461	35	110	7494

Tabela 7. Formulações fertilizantes de liberação lenta de nutrientes

Formulação	Tempo de liberação
	meses
14-14-14	3-4
19-06-10	3-4
18-05-09	5- 6
15-10-10 + Ca, Mg, S e micronutrientes	5-6
22-04-08 + Mg, S e micronutrientes	8-9
17-07-12	12-14

Fonte: Eucatex-agro

Tabela 8. Umidade relativa crítica (URc) para alguns fertilizantes simples

Fertilizante	URc	Fertilizante	URc
nitrito de cálcio	46,7%	cloreto de potássio	84,0%
nitrito de amônio	59,4%	nitrito de potássio	90,5%
uréia	75,2%	fosfato monamônico	91,6%
cloreto de amônio	77,2%	fosfato monocálcico	91,6%
sulfato de amônio	79,2%	sulfato de potássio	96,3%
fosfato diamônico	89,2%		

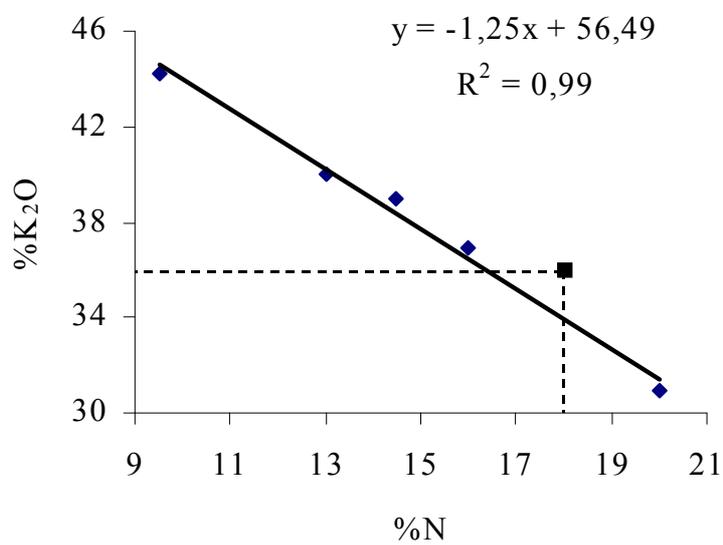


Figura 1. Correlação entre os teores de N e K₂O determinados em diferentes amostras de uma mesma mistura de grânulos de fórmula 18-00-36, evidenciando a ocorrência de segregação

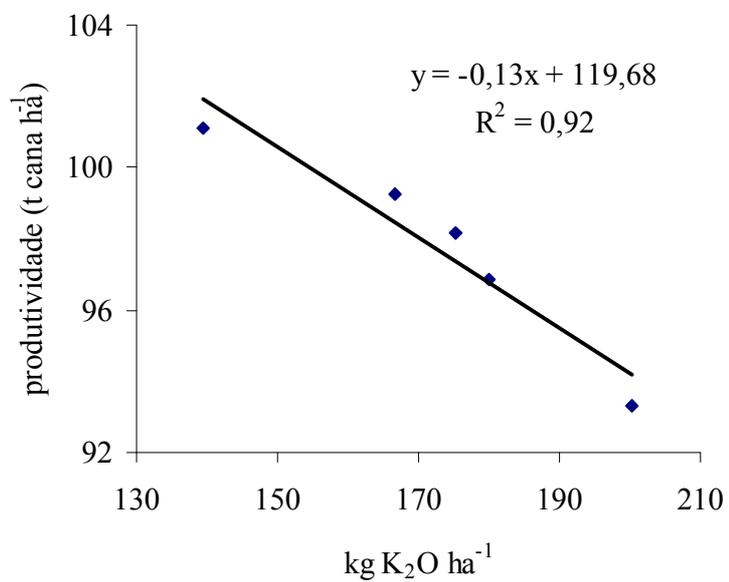
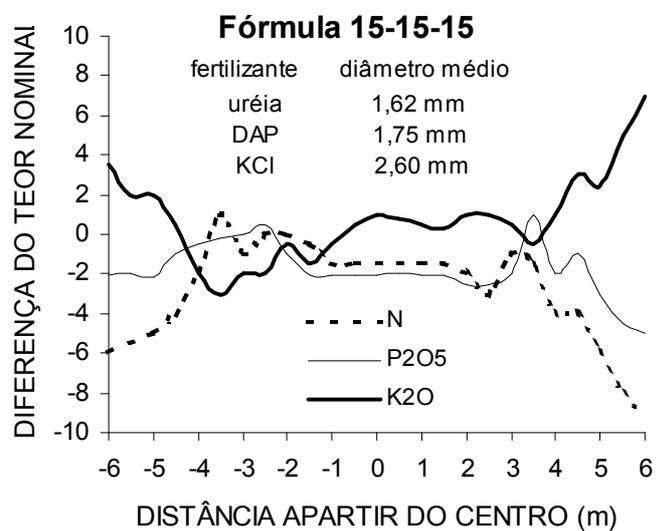


Figura 2. Variação estimada da produtividade de cana-de-açúcar para uma mesma dose de mistura de grânulos 18-00-36, em função do desbalanceamento entre os nutrientes N e K₂O provocado pela segregação.



- 6 m 9,0-13,0-18,4	- 3,5m 16,6-15,1-12,1	0 m 13,6-12,8-16,2	+ 3,5m 13,7-16,0-14,6	+ 6m 6,2 - 9,9 - 22,1
------------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	--------------------------

Figura 3. Variação nos teores de N, P₂O₅ e K₂O de uma fórmula 15-15-15, aplicada por uma adubadora centrífuga, em função da distância a partir do centro de aplicação (adaptado de Popp & Ulrich, 1985b)