

XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO
SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO
Fortaleza – 2 a 7 de agosto de 2009

COMISSÃO: Fertilizantes e Corretivos

O USO DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS AGRÍCOLAS E OS IMPACTOS
SOBRE O AMBIENTE

*Boanerges Freire de Aquino, PhD
Professor Associado
Universidade Federal do Ceará*

1 – INTRODUÇÃO

Uma Visão Geral dos Usos dos Fertilizantes e Corretivos Agrícolas. No Brasil, o atual (2008) nível de consumo aparente de fertilizantes e corretivos está em torno 16,5 milhões de toneladas de fertilizantes químicos e 21 milhões de toneladas de corretivos agrícolas. O histórico desse consumo mostra diferenças marcantes nos níveis de uso entre as diferentes regiões do país (Aquino, 2002). Esses atuais níveis de consumo aparente de fertilizantes e corretivos do país não suscitam preocupações no que concerne à ocorrência de danos ambientais. A área plantada com grãos em 2007 foi de 47 milhões de hectares com uma produção de 132 milhões de toneladas de grãos. **No Brasil, em geral, as quantidades de nutrientes e corretivos aplicados ainda estão abaixo das quantidades de nutrientes removidas pelas colheitas**, mesmo considerando as relativamente altas aplicações recebidas pelas culturas da soja, milho, cana-de-açúcar e café, que são as culturas que mais consomem adubos químicos no país.

Consumo aparente de nutrientes:

	Europa (em 2004)	Estados Unidos (em 2007)	Brasil (em 2008)*
Nitrogênio (N)	59%	58%	26%
Fósforo (P)	24%	20%	36%
Potássio (K)	17%	22%	38%

*** (Brasil: 3,1 milhões de Mg de N; 4,3 milhões de Mg de P; 4,5 milhões de Mg de K)**

Estima-se que o **deficit médio anual** (diferença entre a remoção pelas plantas e as adubações) de $N+P_2O_5+K_2O$ no **Brasil** está entre **25-35 kg ha⁻¹**.

O quadro mundial de aplicação de fertilizantes químicos no solo apresenta extremos, ou até paradoxos (veja quadro 1 abaixo). Certos países, como a **China**, usam fertilizantes em excesso, com riscos de poluição ou de danos ao meio ambiente, enquanto outros, como o **Quênia**, usam quantidades de fertilizantes bem abaixo das exportadas pelas colheitas, tornando os solos cada vez mais pobres em fertilidade e gerando subnutrição crônica na população (Vitousek et al., 2009). Entre 1977 e 2005, o uso de fertilizantes na **China** aumentou 271%, enquanto o ganho na produtividade das culturas foi de apenas 98%. Apesar das perdas de N-fertilizante terem sido variáveis nas diferentes regiões chinesas, foi detectado que entre 20 a 50% do fertilizante nitrogenado usados foram despejados em lagos e no ar (formas de N volatilizadas). O resultado não poderia ser outro: contaminações das águas com nitratos e do ar atmosférico com formas gasosas de N (NH₃, principalmente). Nos **Estados Unidos** há algumas décadas as aplicações de fertilizantes eram também excessivas, contudo, atualmente o quadro já se apresenta diferente. Registram-se produtividades de grãos similares às da China, mas com aplicações de fertilizantes nitrogenados e fosfatados seis vezes menores. Três fatores principais contribuíram decisivamente para a maior eficiência na

relação produção colhida/adubo aplicado dos americanos: maior eficiência do uso de fertilizantes, melhoramento genético e sistema de plantio direto com rotação de culturas.

Quadro 1. Balanço de Nutrientes em algumas regiões agrícolas do mundo.

Aplicação/ Remoção	Oeste do Quênia		Norte da China		Meio-Oeste dos Estados Unidos	
	N	P	N	P	N	P
Adição de Fertilizante	7	8	588	92	93+62*	14
Remoção pelas Colheitas	59	7	361	39	145	23
Aplicação menos Remoção	-52	+1	+227	+53	+10	-9

*Fixação biológica do N.

Fonte: Adaptado de Vitousek, et al. (2009).

Os efeitos benéficos dos fertilizantes minerais são inequívocos e inquestionáveis. Os fertilizantes minerais proporcionam, no mínimo, quatro benefícios:

- a) produzem alimentos para as populações não rurais
- b) tornam a agricultura uma atividade lucrativa para os produtores
- c) tornam menor a área necessária para a agricultura
- d) Os fertilizantes estimulam o crescimento das plantas que guardam energia* e capturam CO₂.

*A energia solar estocada nas plantas pode ser 5 a 10 vezes maior do que a energia necessária para fabricar o fertilizante.

Contudo, um dos maiores desafios da agricultura moderna é produzir alimentos para uma crescente população mundial sem causar prejuízos ou danos à qualidade ambiental. Em princípio, o uso mal conduzido do fertilizante no solo pode trazer efeitos adversos ao meio ambiente, entre eles:

- Contaminações das águas superficiais e subterrâneas
- Danos à estrutura do solo
- Aumento da erosão
- Alteração na qualidade dos produtos alimentícios
- Poluição do ar

Os efeitos dos fertilizantes no solo se tornam mensuráveis à medida em que as suas aplicações se tornam sistemáticas e repetidas com o tempo. Somente para ilustrar, em um experimento com plantação de floresta na Austrália foi verificado, por exemplo, que uma aplicação isolada de 200 kg N, na forma de (NH₄)₂SO₄, teve um efeito mínimo sobre o pH do solo; contudo, repetidas aplicações decresceu o pH de modo significativo e decresceram as disponibilidades de Ca e Mg.

Fertilizantes acumulados indevidamente no solo podem ser lixiviados eventualmente para as camadas mais profundas do solo, podendo alcançar o lençol freático, ou escoar para outras áreas. Os nitratos (NO_3^-), sendo altamente solúveis, possuem um alto potencial de lixiviação; os níveis de concentração de nitratos podem se elevar, comprometendo a qualidade da água para o consumo humano. A velocidade de lixiviação do excesso de fertilizante vai depender de diversos fatores como tipo de solo, CTC do solo, concentração de nutrientes, etc.

Em resumo, **a extensão dos danos que o excesso de uso de fertilizantes** pode causar ao meio ambiente vai depender de fatores, tais como:

- **características do solo cultivado**
- **manejos conservacionistas (proteção da superfície do solo, adoção do plantio direto na palha)**
- **susceptibilidade da área à erosão**
- **proximidades do lençol freático e dos cursos fluviais e lagos, etc.**

A questão crucial do uso de adubos químicos no solo, principalmente o uso excessivo, diz respeito ao seu potencial para causar danos ao meio ambiente. Em primeiro lugar, deve ser salientado que os adubos são compostos minerais, em geral, sais, contendo nutrientes essenciais para a vida das plantas e para outras inúmeras formas de vida do solo. O fertilizante químico é o insumo mais eficiente para nutrir as plantas com os nutrientes essenciais; estes estão no fertilizante em formas prontamente solúveis, sendo diretamente aproveitados pelas raízes ou folhas. Em resumo, o fertilizante químico e o melhoramento genético das plantas permitiram a grande revolução da agricultura nas últimas décadas, com as culturas agrícolas, principalmente as alimentícias, alcançando níveis recordes de produtividades. A pesquisa agrônômica, portanto, busca incessantemente descobrir e avançar nas técnicas e manejos que elevem sempre a produtividade das plantas, contudo seguindo os princípios da sustentabilidade dos sistemas produtivos, portanto da preservação da integridade do meio ambiente.

O relato de que existem no planeta grandes áreas mortas devido ao uso excessivo de fertilizantes é um dado um tanto exagerado, apesar dos problemas ecológicos terem sido verificados em áreas costeiras do Golfo do México, causados por contaminações de fertilizantes nitrogenados (nitratos), supostos como oriundos de áreas agrícolas do meio-oeste dos Estados Unidos. Entre 1960 e 1995, as aplicações de N e P na agricultura do planeta aumentaram sete e três vezes e meia, respectivamente.

Entre 1950 e 1995, **os consumos globais de N e de P cresceram sete vezes e três vezes e meia, respectivamente**. Estas taxas de consumo continuam aumentando, assim como os riscos ao meio ambiente. Estudos apontam que 30 a 60% do N e cerca de 45% do P aplicados são efetivamente absorvidos pelas plantas; os restantes podem ser aproveitados por outros organismos do solo (ditos imobilizadores) ou escoados/lixiviados, podendo contaminar, principalmente, os aquíferos do ambiente (Tilman, et al., 2002).

Desde 1945, aproximadamente 17% das terras florestadas têm se submetido ao uso agrícola pelo ser humano, onde se induziu degradação e perda de produtividade, frequentemente por reposição de adubos abaixo das remoções das colheitas, irrigações mal conduzidas, erosão e uso intensivo sem períodos de recuperação. Estudos apontam que 13% dos solos do planeta são atingidos pela erosão (1,65 bilhão de hectares). A área desflorestada da Amazônia atualmente é de cerca de 70 milhões de hectares.

As reservas minerais mundiais conhecidas de P e K estão estimadas para serem esgotadas nos próximos 90 anos. As reservas de outros minerais com nutrientes essenciais têm previsões mais otimistas, exceto para o Boro.

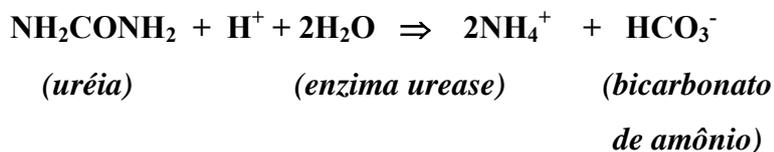
2.1 - USO DE ADUBOS E CORRETIVOS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS

2.1.1 – Acumulação e Efeitos da Amônia e do Nitrato no Solo e na Água

Que efeitos detrimenais o excesso da aplicação de NITROGÊNIO causa?

- a) Para o solo: acidificação desnecessária;
- b) Para as culturas: acamamento, aumento na susceptibilidade às doenças; problemas na qualidade dos produtos agrícolas
- c) Para a água: acidificação, eutroficação e aumento na concentração de NO_3^- , que pode se elevar além dos limites permitidos*
- d) Para o ar: emissões de NH_3 e N_2O (aumento do gás de efeito estufa);
- e) Para o produtor: a excessiva aplicação é um investimento sem nenhum retorno.

A URÉIA e a produção de amônia (NH_3)no solo:



Dependendo do pH do solo, o NH_4^+ pode se transformar em NH_3 , o qual pode se volatilizar do solo: $\text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$

O consumo de H^+ na reação acima ocorre logo após a aplicação da Uréia e é responsável pela elevação inicial do pH do solo, logo após a aplicação. A Uréia pode perder 50% (ou mais) do seu N como NH_3 . Estima-se que 40% da dieta (suprimento) de proteína da população mundial vem do NH_3 industrial (**processo Haber-Bosh**).

Na Europa, o NH_3 é responsável por 31% do efeito de acidificação; o SO_2 e o NO_x por 36% e 33%, respectivamente (EEA, 2001). Emissão de NH_3 gasoso retorna parcialmente para a superfície como deposição seca ou úmida combinado com SO_2 na forma de Sulfato de Amônio. Enquanto a maior parte da deposição seca de amônia ocorre próximo do ponto de emissão, compostos com ácidos nítrico e sulfúrico podem ser transportados sobre distâncias de muitos milhares de quilômetros.

Os destinos do NH_3 no solo, incluindo o originado da mineralização da MO ou originado da aplicação do adubo amoniacal (NH_4^+):

- Absorvido pelas plantas
- Imobilizado pelos microrganismos
- Volatilizado (NH_3)
- Nitrificado (veja reação abaixo)
- Desnitrificado (veja reação abaixo)
- Lixiviado
- Perdido por erosão

A reação de NITRIFICAÇÃO no solo. A nitrificação ocorre abundantemente no solo e dois gêneros principais de bactérias autotróficas (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*; bactérias heterotróficas como *Aspergillus niger* e *Aspergillus wentii* são também capazes de nitrificar o NH_4^+) são os responsáveis pelo processo:



Na reação acima fica demonstrado que a nitrificação tende a baixar o pH do solo (veja figura 1 abaixo) pela liberação de H^+ para o meio. Acidificação do solo também ocorre quando o NH_4^+ desloca Ca^{2+} e Mg^{2+} das superfícies dos colóides.

*A toxicidade não é do NO_3^- , mas do NO_2^- que causa uma síndrome chamada de **METAHEMOGLOBINEMIA** que inibe o transporte de O_2 no sangue de crianças ou de animais jovens. Níveis aceitáveis de NO_3^- da água, segundo indicação da OMS/ONU, está entre 50 e 100 mg/litro.

Pesquisas em áreas irrigadas com lisímetros nos EUA (NDSU – US Department of Interior, Executive Summary. 1995) **constataram a alta dinamicidade do NO_3^- no perfil do solo e na água infiltrada**; constatou-se que o grande aumento de nitrato no lençol freático era devido principalmente a mineralização da MO no início da irrigação. Níveis como $157\text{ mg }NO_3^-L^{-1}$ decrescia para $7-8\text{ mg }NO_3^-L^{-1}$ num espaço de tempo de seis meses entre as medições. **O N-fertilizante aplicado no solo aumenta a concentração de Óxido Nitroso (N_2O) do ar atmosférico e pode reagir com o Ozônio da atmosfera. Na condição de gás de efeito estufa, o N_2O é considerado 298 vezes mais impactante do que o CO_2 .** O N_2O é produzido através da reação de combustão ou de **desnitrificação** (em condições de anaerobiose no solo, o NO_3^- se reduz biologicamente na seguinte seqüência: $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$).

Foi constatado recentemente que as concentrações de N no oceano Atlântico são 2 a 20 vezes maiores hoje do que nos tempos pré-industriais. Esses excedentes alteram a qualidade da água e dos ecossistemas marinhos, além de causarem mudanças na composição do ar atmosférico. Aumentos nas concentrações de P, principalmente, e de N em rios e lagos são responsáveis pelo fenômeno da Eutroficação e pelo abaixamento dos níveis de oxigênio que podem por em risco a sobrevivência dos peixes e de outras vidas aquáticas aeróbias (Tilman, et al., 2002).

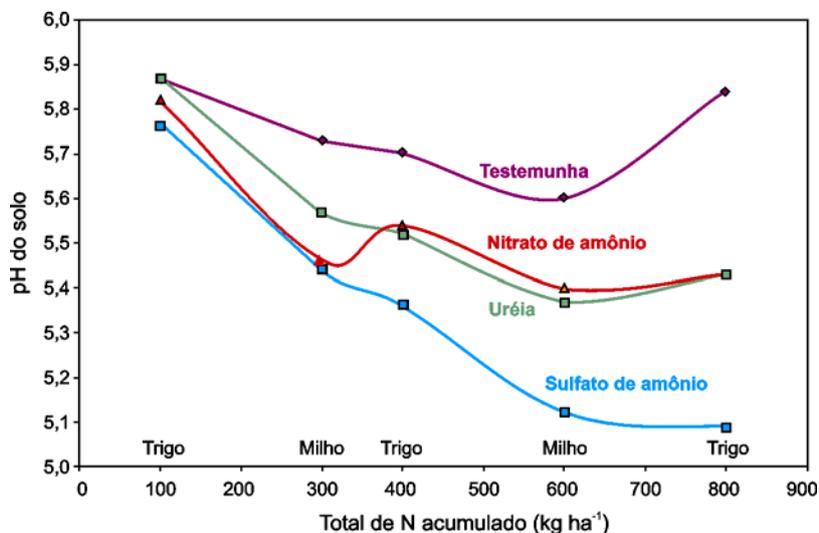


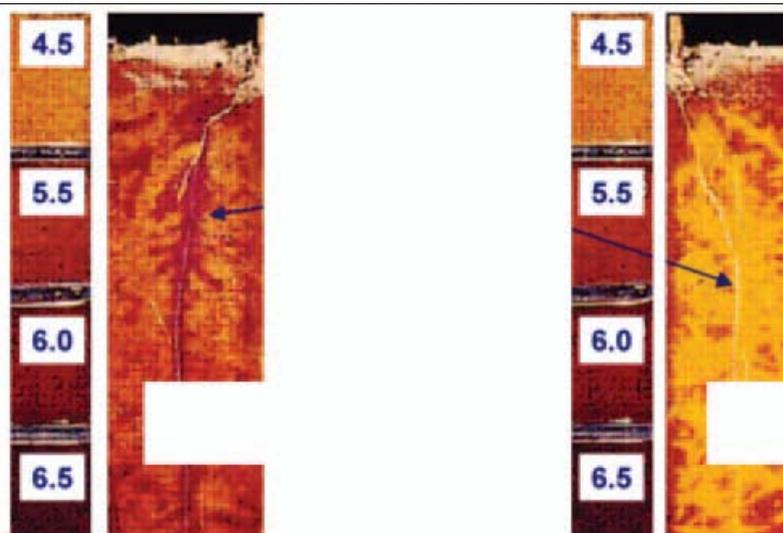
Figura 1. Efeitos de aplicações de N (três anos) sobre o pH de um solo argiloso (Sharkey).

Fonte: Stipp & Prochnow (2008).

Acidificação do solo influenciada pela natureza do adubo.

Aplicação de Adubo Nítrico

Aplicação Adubo Amoniacal



As cores indicam a escala de pH na rizosfera dos dois sistemas radiculares. As setas estão apontando para os sistemas radiculares (vermelho=pH alcalino; amarelo=pH ácido).

Fonte: Adaptado de Yara International ASA. Bygdøy allé 2, N-0202, Oslo, Norway. 2009. www.yara.com

2.1.2 – Aplicações de Corretivos do Solo: Efeitos do Calcário, Gesso e Escórias

Não há referências na literatura acerca de problemas ambientais resultante de possíveis excessos de aplicações de **fertilizantes, gesso, escórias e corretivos** com P, K, S, Si, Ca e Mg nos solos. As suas concentrações nas água de consumo estão, em geral, abaixo dos desejáveis para a saúde humana.

Em algumas áreas de produção de Soja do Cerrado do Brasil, foram verificadas ocorrências de deficiência de Mn (precipitação do micronutriente) induzida pela excessiva aplicação de calcário. Fatos como esses, em princípio não podem ser interpretados como dano ambiental, mas como desequilíbrio químico-nutricional com conseqüências negativas imediatas para a exploração agrícola, ou seja, diminuição da produtividade e implicações na qualidade do produto da cultura.

2.1.3 – Fósforo e Metais Pesados no solo: Acumulações, Reações e Efeitos

Fósforo, potássio e nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+) e micronutrientes são eficientemente adsorvidos às partículas do solo, e **perdas por lixiviação são negligenciáveis**. O fósforo do solo é muito pouco perdido (exceto por erosão) por lixiviação nos solos tropicais devido a sua eficiente adsorção específica à superfície dos colóides, onde hidroxilas desses colóides são trocadas por ânions fosfatos (fixação de P). Uma possível ocorrência de excesso de P no perfil do solo pode ser minimizado, ou até eliminado, **com os cultivos sucessivos de plantas, restabelecendo, assim, o equilíbrio ambiental** (Aquino & Hanson, 1984). A **precisão nas recomendações aplicações de P fertilizante** podem ser aumentada, portanto **recomendações mais eficientes, se a capacidade tampão de P dos solos fosse conhecida**; coeficientes (ou índices) de tamponamento de P do solo podem ser determinados, através de pesquisas, usando-se extratores de P do solo correlacionados com quantidades de P retidas em função do tempo (Aquino et al., 1998).

Estudos com rochas fosfáticas, fertilizantes e corretivos usados, nas condições da agricultura brasileira, foram **detectadas baixas concentrações de micronutrientes e metais pesados** (Amaral Sobrinho et al. 1992; Amaral Sobrinho, 1996). Por exemplo, nos mesmos tipos de adubos químicos agrícolas acima referidos, foram encontradas concentrações negligenciáveis (**veja quadro 2 abaixo**) de **Arsênio, Cádmium, Cromo e Chumbo**, metais pesados considerados altamente nocivos à saúde animal (Malavolta, 1994; Kabata-Pendias & Kabata, 1984).

Quadro 2. Teores de metais pesados encontrados nos adubos no Brasil (mg kg⁻¹ solo).

	Arsênio	Cádmium	Cromo	Chumbo
Sulfato de Amônio	-	-	-	-
Uréia	-	-	-	-
Cloreto de Potássio	-	-	-	-
Superfosfato Triplo	-	4,4	0,9	18,0
Fosfato Diamônico	-	-	-	-
Fosfato Monoamônico	-	0,03	-	-
Rocha Fosfática Araxá (MG)	-	6,7	-	-
Rocha Fosfática de Patos (MG)	2,0	<2,0	26,0	30,0

Fonte: Adaptado de Malavolta, 1994.

Os metais pesados podem interromper as funções metabólicas das enzimas ao substituir os metais essenciais dos sítios de ativação, ou produzindo espécies reativas de oxigênio. **O Cádmium é considerado o metal pesado mais nocivo aos animais.**

Um exaustivo estudo foi conduzido nos EUA objetivando medir as concentrações de **Cádmium, Chumbo e Arsênio em centenas de tipos de adubos industrializados comerciais e nas rochas fosfáticas utilizadas por essas indústrias** (T. Tindall. Agronomy News.Vol. 21 Issue 6. Nov/Dec 2001). A pesquisa em questão mostrou que **os adubos comerciais e as rochas fosfáticas são seguras**, considerando as concentrações aceitáveis dos metais pesados citados, **quando usados nas doses agrônômicas.**

As **rochas fosfáticas tem contaminações de metais pesados e radioativos** que são transferidos para os fertilizantes fosfatados. Os metais pesados mais comuns são: Cd, As, Cr, Pb, Hg, Ni e V; elementos radioativos são: Urânio (U), Rádio (Ra) e Tório (Th); o Cadmium é o metal pesado de maior interesse devido o seu elevado risco para a saúde humana (Mortvedt & Beaton, 1995). **Variáveis proporções de metais pesados das rochas fosfáticas são transferidas para os adubos com P, inclusive para o fosfocesso.**

Em estudos realizados com solos dos Estados Unidos, que receberam sistemáticas aplicações de adubos fosfatados, foi constatado que as concentrações acumuladas no perfil do solo ficaram muito abaixo dos níveis permitidos, tendo o mesmo acontecido para os micronutrientes essenciais; por exemplo, **foi calculado que se um solo receber uma dose de 20 kg P ano⁻¹, seriam necessários 1.300 anos para atingir o limite tolerável de Cd** (Mortvedt & Beaton, 1995). Estes autores relatam que existem tecnologias em escala comercial para remover o Cd da rocha fosfática.

A disponibilidade do Cd para as plantas vai depender da sua solubilidade no fertilizante fosfatado e de fatores com pH (pH ácido aumenta a disponibilidade), CTC e conteúdos de argila e matéria orgânica do solo.

Danos do P sobre o ambiente: Eutroficação de lagos e rios, pondo em risco os animais aquáticos, principalmente os peixes. Eutroficação é a promoção do crescimento de plantas, animais e microrganismos em lagos e rios. **No Brasil, 21% dos rios têm problemas de poluição com crescimento de algas e outras plantas aquáticas; rejeitos e efluentes urbanos estão na origem dessa poluição (informe do JC-email 3730 – 27/03/2009).**

O P é o nutriente essencial mais limitante ao crescimento dos organismos desses ambientes. Se permitido um crescimento ininterrupto, deficiência de O₂ na água pode ocorrer e trazer conseqüências negativas para a sobrevivência dos organismos aeróbios. O fenômeno da eutroficação é resumido a seguir (Mengel & Kirkby, 1987). Plantas e algas cresceram na superfície das águas sob condições de aerobiose (O₂ dissolvido na água). Mais abaixo, em condições de anaerobiose, passa a existir uma camada de água sem oxigênio onde bactérias fotossintéticas crescem com a luz que ainda alcança essa profundidade. Essas bactérias se alimentam de substâncias liberadas pelos microrganismos anaeróbicos que vivem mais abaixo, nos sedimentos dos lagos. Substâncias como metano, H₂S, etileno e ácido butírico, todas altamente tóxicas aos organismos aeróbicos, são absorvidas pela camada de bactérias fotossintéticas que se localiza acima dos referidos sedimentos. Com isso, essa camada de bactérias funciona como um filtro, evitando que produtos tóxicos do fundo dos lagos cheguem à superfície e afetem a vida dos organismos que aí se desenvolvem.

Um fator, por exemplo, que intensifique o crescimento das algas na superfície pode trazer alterações para a vida de todos os outros organismos do meio. Um suprimento extra de fósforo, que é o nutriente limitante para o crescimento das algas, promoverá um excesso de alimento para os microrganismos do fundo do lago que, por seu turno, produzirão uma quantidade maior de substâncias tóxicas. A camada-filtro de bactérias fotossintéticas não sendo capaz de consumir o excesso de substâncias tóxicas vindas do fundo, permite que elas alcancem a superfície e comprometam a sobrevivência de todos os animais e organismos aeróbios. **O suprimento extra de P (poluição) vem normalmente dos dejetos de animais e do lixo urbano. Os fertilizantes contribuem muito pouco, desde que o P reage fortemente com os colóides do solo (fenômeno de fixação)**, sendo, portanto, pouco lixiviado (somente 4-5% do P é drenado pelas águas superficiais). Em geral, há suficientes quantidades de N, K, S e micronutrientes nas águas que drenam para os rios e lagos. O conteúdo de N nas águas das chuvas (0,7mg/litro) é mais do que suficiente para atender o nível crítico exigido pelas algas (0,3mg/litro).

Esgoto tratado e outros efluentes similares são disponíveis para serem aplicados na agricultura. Contudo o conteúdo de nutrientes é baixo e varia, podendo conter elementos químicos indesejáveis, como os metais pesados; em geral, a concentração de P é baixa e a de N é relativamente alta (Aquino et al. 2008). País como o Brasil, o uso desses efluentes tem dado respostas satisfatórias; cultivos de **Mamona e Feijão irrigados com efluente, com e sem aplicações de fertilizantes e corretivos, resultaram em produtividades até três vezes maiores do que os controles** (Aquino et al., 2008). São necessários, no entanto, cuidados especiais na aplicação desses materiais. A Suíça banuiu o seu uso e a Alemanha está implantando um rigoroso regulamento para o uso de efluentes domésticos ou urbanos na agricultura e outros fins.

2.1.4 – Os Fertilizantes Agrícolas e os efeitos sobre o ambiente: alternativas, manejos e perspectivas.

Se o objetivo da agricultura é suprir a humanidade adequadamente com alimentos, há um consenso lógico a ser seguido: as colheitas removem nitrogênio, potássio, fósforo e outros nutrientes dos solos agrícolas; para tornar essa produção agrícola sustentável, tem que se repor esses nutrientes ao solo através de adubações químicas, orgânicas ou pela fixação biológica do nitrogênio do ar atmosférico realizada por bactérias e algas especiais. Vitousek et al. (2009) enfatizaram e comprovaram, com dados de aplicações de nutrientes em várias

regiões do planeta, que a adubação química tem sido o meio principal para essa reposição, tendo já dobrado as quantidades de N e P das áreas agrícolas.

É comum em países desenvolvidos as aplicações excessivas de N para as culturas. Além do excesso, outras falhas ocorrem no que diz respeito às épocas e aos métodos das aplicações que frequentemente resultam em pesadas perdas de N do solo, causando contaminações do lençol freático e poluição do ar. Um teste desenvolvido para medir o nível de NO_3^- do colmo da cultura que foi colhida está ajudando os produtores a falharem menos nas aplicações dos fertilizantes (Iowa State University-IC-478-RI). Atualmente já existem manejos que aumentam a eficiência dos adubos nitrogenados e foram discutidos por Prochnow (2007) e Stipp & Prochnow (2008).

A agricultura brasileira está se desenvolvendo em ritmo notável, contudo ainda carecendo de um sistema de assistência técnica eficiente e ampla. A nossa agricultura ainda não se caracteriza como uma atividade que esteja causando danos ao ambiente por, por exemplo, por uso excessivo de fertilizantes químicos ou corretivos agrícolas (**veja quadro 3 abaixo e fotos no final do texto**). Mas já estamos na fronteira de ser um grande consumidor de fertilizantes químicos e que já suscita preocupações. A difusão e o acompanhamento das novas técnicas ao nível de produtor e de campo estão a merecer mais atenção no que concerne às estratégias de ação, bem como na organização de instituições específicas de assistência técnica ao produtor.

Quadro 3. Quantidades de Nutrientes extraídas pela Cana-de-Açúcar.

Mg de colmo	Mg de Colmo+Folha+Palmito
N: 0,90 – 1,32 kg	1,20 kg
P ₂ O ₅ : 0,20 – 0,69 kg	0,37 kg
K ₂ O: 1,20 – 1,80 kg	1,49 kg
CaO: 0,70 – 0,95 kg	1,12 kg
MgO: 0,56 – 0,86 kg	0,68 kg
S: 0,36 kg	1,07 kg
	B: 300 g
	Cu: 270 g
	Fe : 8.900 g
	Mn: 5.700 g
	Zn: 720 g

Fonte: Adaptado de Demattê, J.L.I. Inf. Agron. 111 - Encarte Técnico – POTAFOS. Set/2005.

Tomando como base os dados do quadro acima, apesar de exemplificar apenas a cana-de-açúcar, pode ser verificado que, em média, as aplicações de N nos canaviais brasileiros, no plantio e socas, ficam abaixo do N consumido/ano pela cultura, mesmo considerando que a planta consegue cerca de 30% do N por via da fixação biológica. **Algumas empresas do NE do Brasil (comunicação pessoal) conseguem produtividades de até 180 Mg colmos por hectare, o que significa demandas superiores a 200 kg N ha⁻¹**, que, na prática, não são atendidas via adubação mineral. Esse fato pode explicar a não ocorrência, ainda, de problemas de contaminações do ambiente com N via aplicações excessivas de fertilizantes nitrogenados.

A agricultura do mundo globalizado terá que seguir os conceitos básicos do MANEJO INTEGRADO DE NUTRIENTES ou SISTEMA INTEGRADO DE NUTRIÇÃO DE PLANTAS. O objetivo central desse manejo é a sustentação do desejado nível de

produtividade das culturas através da otimização dos benefícios de todas as fontes possíveis de nutrientes para a planta, enquanto assegurando a qualidade ambiental. O manejo integrado é um sistema de nutrição de culturas no qual os nutrientes da planta necessitam estar disponíveis através de um pré-planejado uso integrado de fertilizantes minerais, esterco e compostos orgânicos (incluindo-se, também, adubos verdes, lixos recicláveis, restos de culturas, resíduos das fazendas, efluentes tratados, biofertilizantes, etc.), conduzido em condições econômicas, sociais e ecológicas adequadas para o sistema produtivo.

Aumentos nas aplicações de NPK podem não resultar em aumentos efetivos na produção das culturas. A curva de resposta segue uma tendência que, primeiro, descreve os retornos decrescentes, passando por um máximo que se prolonga com um consumo de luxo até, em doses excessivas, mostrar a linha decrescente dos efeitos depressivos). Em suma, as respostas para as adições de adubo declinam em resposta com o incremento das doses e a eficiência tende a decrescer (veja figura 2 e figura a e b abaixo).

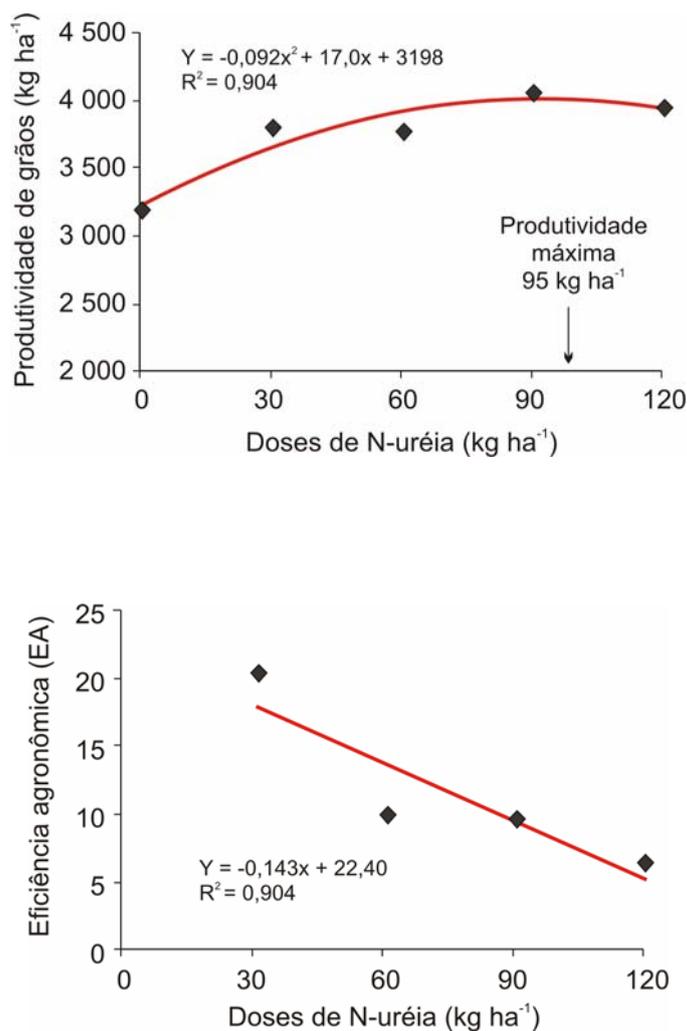
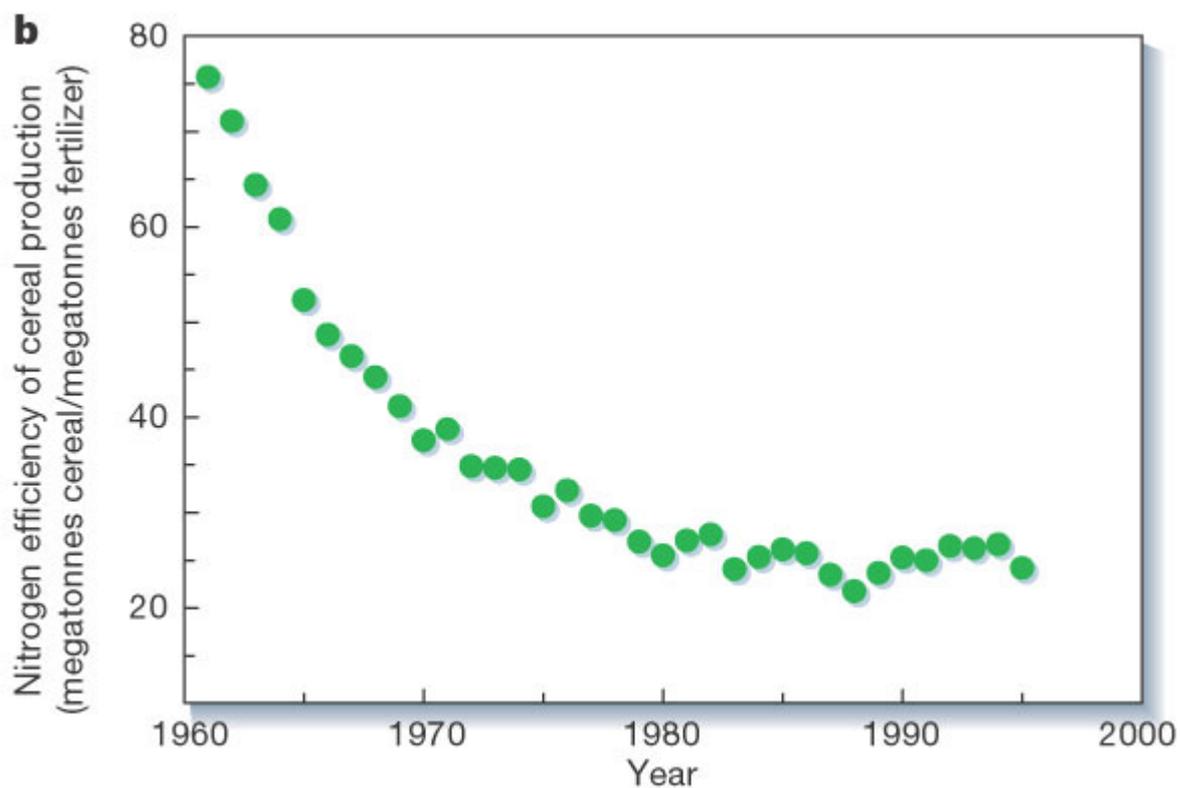
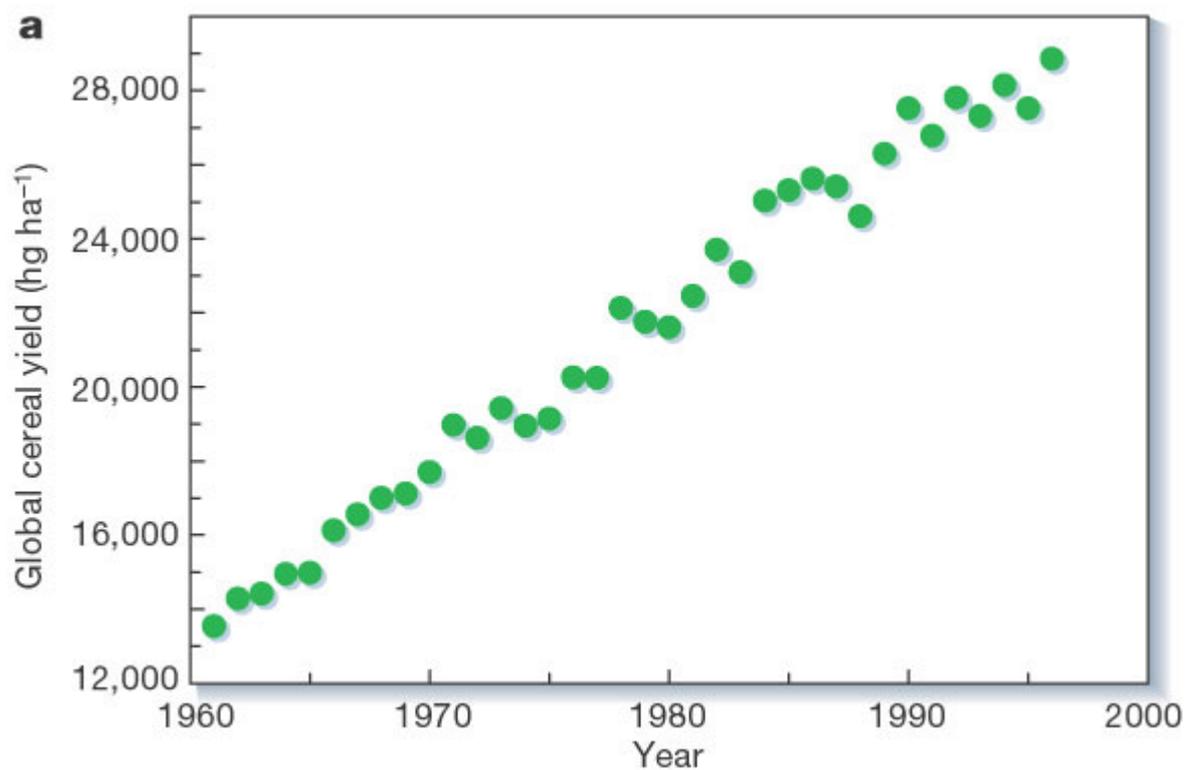


Figura 2. Produtividade de grãos de trigo e eficiência agrônômica em função de doses de N-Uréia.

Fonte: Adaptado de Spolidório (1999) e citado por Stipp & Prochnow (2008).



Figuras a e b. **a:** Tendências de produção média global de cereais; **b:** Tendência da eficiência da fertilização de nitrogênio na produção das culturas (produção global de cereais dividida pela aplicação anual de fertilizante nitrogenado).

Fonte: gráficos de autores citados em Tilman et al. 2002.

O aumento da **eficiência do uso do fertilizante** é a solução para os problemas ilustrados nos gráficos acima. **O Uso Eficiente do Nutriente** é definido como a produção de grão ou cereal por unidade de nutriente adicionado ou de água usada.

As pesquisas dirigidas para o estudo da eficiência dos usos dos nutrientes e da água pelas culturas serão de fundamental importância para diminuir ou controlar os impactos dos fertilizantes sobre o meio ambiente.

Eficiência de Utilização: N é de aproximadamente 45%, podendo chegar a 60% em caso de culturas de gramíneas; P é de aproximadamente 45%; o poder tampão de P do solo (mineralogia) pode afetar essa eficiência.

A eficiência do N-fertilizante em milho nos EUA cresceu 36% nos últimos 21 anos. Isso se deveu a investimentos públicos nos setores de pesquisa e extensão educacional, bem como investimentos privados em análise do solo e mais precisão na época de aplicação dos fertilizantes (Tilman et al., 2002).

A agricultura de precisão é a tecnologia avançada cuja introdução nos sistemas produtivos é necessária para a consolidação de uma agricultura globalizadamente sustentável, eficiente e competitiva. O Brasil precisa caminhar mais celeremente em busca dessa nova realidade. Características do solo que podem ser monitoradas de maneira localizada (site-specific data collected in advance using GPS or collected in real time using local sensing systems). Esses manejos já caracterizam uma agricultura tecnologicamente de precisão. **Veja fotos ilustrativas abaixo.**

Substituir o manejo da dose única de fertilizante (single-rate fertilizer application) pela dose variável (variable rate fertilizer application), de acordo com as características do solo e necessidade da planta, é um manejo de alta precisão que pode evitar as aplicações excessivas, portanto preservando a qualidade ambiental e propiciando mais lucro para o produtor (Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station – Bulletin 1129. 2003).

A agricultura de precisão é a alternativa mais promissora para livrar o meio ambiente de possíveis danos dos fertilizantes químicos; pesquisas nessa área oferecem orientações e práticas que podem prever a quantidade de nutriente para a necessidade da cultura, evitando aplicações excessivas e seus conseqüentes escoamentos superficiais, capazes de causarem prejuízos à qualidade do ambiente. A agricultura de precisão envolve um conjunto de práticas e de manejos sustentáveis **que usa informações localizadas (site-specific management)**, a nível de campo, tais como características do solo e condições climáticas, com o objetivo de ajustar as aplicações eficientes dos fertilizantes (quantidade, local e época de aplicação) e alcançar o máximo de produção sem degradar o meio ambiente.

Culturas de cobertura (plantio direto na palha) ou cultivo mínimo podem reduzir a lixiviação, a volatilização e as perdas por erosão, além de condicionar as propriedades físicas do solo e aumentar a eficiência na ciclagem dos nutrientes essenciais com conseqüente economia na aplicação de adubos minerais. Uma associação de **uma agricultura de grãos com a pecuária**, como vem sendo desenvolvida pela Embrapa e que foi discutida por Crusciol et al. (2009), pode seguramente definir um modelo de agricultura sustentável.

Uma técnica de inoculação com bactéria fixadora de nitrogênio (Herbaspirillum seropedicae) em milho foi recentemente desenvolvida pela Embrapa Agrobiologia em associação com as Embrapas Roraima, Cerrados e Milho e Sorgo. O inoculante, contendo a estirpe da bactéria fixadora de nitrogênio e promotora de crescimento de plantas, foi testado na cultivar de milho BRS 1010; conseguiu-se economizar 50% da dose de adubo nitrogenado,

sem queda de produtividade. Os resultados que foram obtidos na Embrapa Roraima e rendeu uma redução no custo de produção de R\$300,00 por hectare.



- A empresa **Yara**, da Noruega, desenvolveu um sensor de N, um sistema para medir o nível de N da planta na medida em que ele varia dentro do campo e para



ajustamento das aplicações no tempo oportuno. Atualmente esse sistema foi ajustado para as culturas de cereais de inverno, oleaginosas, milho e batata. No Brasil, a empresa Agromac Ind. Com. (RS) foi certificada com ISO 9001:2008 com a fabricação de Dosador de Precisão para Fertilizantes (**Jornal Agrosoft – 06/07/2009**).

CONCLUSÕES GERAIS:

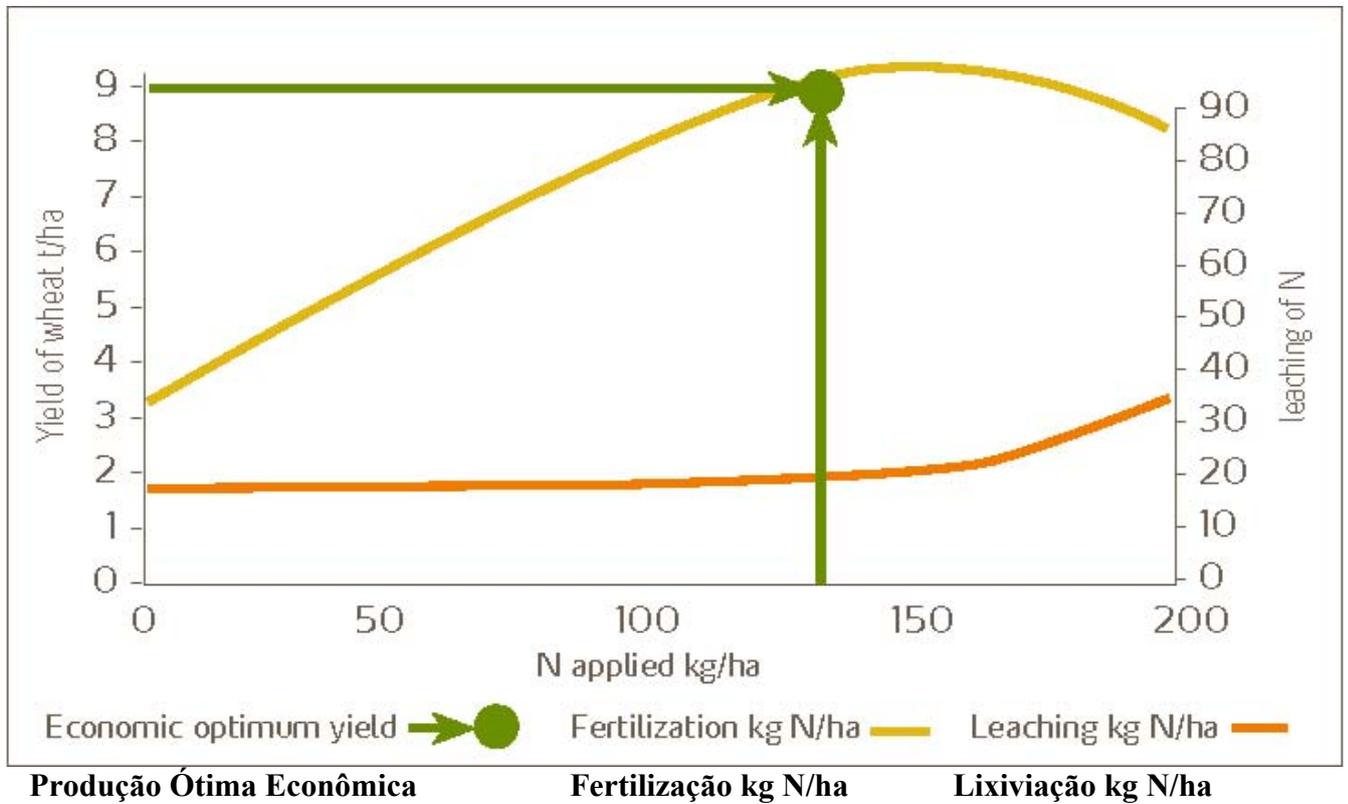
São os fertilizantes substâncias não tóxicas e seguros para manuseio?

Nutrientes fertilizantes não são tóxicos em si e não contêm substâncias tóxicas. Há critérios internacionais acordados para definir uma substância qual é considerada como tóxica e requer selo de aviso. Fertilizantes, exceto soluções de amônia anidra concentrada, não são classificados como tóxicos. Portanto, a maioria dos fertilizantes minerais são sais solúveis. Poeira de fertilizante sobre a pele se dissolverá no suor e produz um concentrado de solução salina que pode causar irritação, desidratação ou ferimento na pele. Alguns fertilizantes podem ser inflamáveis e na combustão produzem gases que são tóxicos devido ao conteúdo de Cloro ou Óxidos de Nitrogênio. O armazenamento de fertilizantes não deve ser próximo de fonte de calor ou de materiais combustíveis. O Nitrato de Amônio é um agente oxidante e exige algumas exigências especiais para armazenamento e manuseio seguros. Regulamentos locais devem ordenar esses aspectos nos países onde o Nitrato de Amônio é usado.

De uma maneira incisiva, o seguinte aspecto está bem estabelecido: as perdas de nutrientes da agricultura para os aquíferos podem aumentar como resultados de mudanças nos sistemas agrícolas, e onde:

- a) o fertilizante não está sendo aplicado na sua dose ótima, mas sim em excesso, bem além da demanda da cultura;
- b) expansão das áreas agrícolas;
- c) áreas úmidas, com habilidade de absorver nutrientes, antes deles alcançarem os cursos d'água, estão sendo drenadas e transformadas em áreas de exploração agrícola;
- d) áreas de culturas e áreas de pastoreio ficam separadas, com a concentração de animais numa região e a das culturas em outra.

Para um mundo com contínuo crescimento populacional e limitadas áreas disponíveis para a agricultura, a produtividade do solo deve crescer continuamente a fim de atender a crescente demanda por alimento. Sem uso de fertilizante mineral, a subnutrição aumentará para significativa parcela da população mundial. Entre 1950 e 2008 a população do planeta aumentou de 2 para 6,5 bilhões. Estima-se que para 2020 chegue a 8 bilhões (mais de 90% desse crescimento é esperado ocorrer em países em desenvolvimento). Considerando que o NITROGÊNIO se destaca na relação entre o uso de fertilizantes e impactos ambientais, o gráfico abaixo ilustra, de modo elegante, o desafio que a ciência agrônômica, com especial para a ciência do solo, tem agora e no futuro: a eficiência do uso dos fertilizantes e corretivos para a máxima produção, sem jamais perder de vista o econômico, o social e o ecológico.



Fonte: YARA, Reports and Publications. Oslo (Norway) 2009.

O DESASTRE AMBIENTAL ANTROPOCÊNTRICO NO SEMI-ÁRIDO DO NORDESTE: EXPLORAÇÃO DO SOLO SEM REPOSIÇÃO E SEM CONSERVAÇÃO (A DESERTIFICAÇÃO).



Foto do autor.

MAMONA COM ADUBAÇÃO QUÍMICA E IRRIGADA COM EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO EM SOLO DO SEMI-ÁRIDO DO CEARÁ.



Foto do autor.

O SOLO TROPICAL: DEFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS E USO DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS (Itapeva-SP).



Foto do autor.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1 - Aquino, B. F. Uma Perspectiva para o Uso de Fertilizantes no Nordeste do Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, No. 3, 2002.
- 2 - Aquino, B.F.; A.F. Chaves & I.R. Alves. Impactos do Reuso de Água no Solo. Em: S. Mota; M.D. Aquino & A.B. Santos. Reuso de Águas em Irrigação e Piscicultura. Caps. 4 e 12. **Editora Universidade Federal do Ceará**. 2008.
- 3 - Aquino, B.F. & R.G. Hanson. Phosphorus Supplying Capacity Evaluated by Plant Removal and Available Phosphorus extraction. **Soil Sci. Am. J.** 48:1091-1096. 1984.
- 4 - Aquino, B.F.; L.F. Sobral & F.R. Cox. Properties of Ultisols and Oxisols Related do Mehlich-3 Phosphorus Buffer Coefficients. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 29 (9&10): 1155-1166. 1998.
- 5 - Amaral Sobrinho, N.M.B.; L.M. Costa & A.C.X. Velloso. Metais Pesados em alguns Fertilizantes e Corretivos. **R. Bras. Ci. Solo**, 16: 271-276. Campinas, SP. 1992.
- 6 - Amaral Sobrinho, N.M.B. Metais Pesados em Solos Brasileiros, Em: O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. Editores: V.H.A. Alvarez; L.E.F. Fontes & M.P.F. Fontes. SBCS – UFV-DPS. 1996.
- 7 – Crusciol, C.A.C.; R.P. Soratto; E. Borghi & G.P. Mateus. Integração Lavoura-Pecuária: Benefícios das Gramíneas Perenes nos Sistemas de Produção. **Informações Agronômicas No. 125**. Março de 2009.
- 8 -- Demattê, J.L.I. **Informações Agronômicas. 111** - Encarte Técnico. Cultura da Cana-de-Açúcar– Recuperação e Manutenção da Fertilidade dos Solos. POTAFOS. Set/2005.
- 9 - IOWA STATE UNIVERSITY – University Extension. Integrated Crop Management – Soil Fertility – New Nitrogen Fertilizer Recommendations for Corn. IC-478-RI. 1997.
- 10- Kabata-Pendias, A. & H. Pendias. Trace Elements in Soils and Plants. **CRC Press**, Inc. Boca Raton. 1984.
- 11- Malavolta, E. Fertilizantes e seu Impacto Ambiental – Micronutrientes e Metais Pesados – Mitos, Mistificação e Fatos. **ProduQuímica – São Paulo**. 1994.
- 12- Mengel, K. & E.A. Kirkby. Principles of Plant Nutrition. 4th. Edition. **IPI. Bern, Switzerland**. 1987.
- 13- Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station – **Bulletin 1129**. Economic & Environmental Impacts of Variable-Rate Fertilizer Application in Mississippi. 2003.
- 14- Mortvedt, J.J. & J.D. Beaton. Heavy Metal And Radionuclide Contaminants In Phosphate Fertilizers. Em: Phosphorus in the Global Environment. Cap.6. Editado por H. Tiessen. John Wiley & Sons Ltd. SCOPE 1995.
- 15- Prochnow, L.I. IPNI-Brasil: A Indústria de Fertilizantes Nitrogenados e o Futuro. **IPNI –**

Informações Agronômicas No. 120. Dez/2007.

- 16- Stipp, R. S. & L.I. Prochnow. IPNI-Brasil. Maximização da Eficiência e Minimização dos Impactos Ambientais da Adubação Nitrogenada. **IPNI - Informações Agronômicas** No. 124. Dez/2008.
- 17- Tilman, D.; G.C. Kenneth; P.A. Matson; R. Naylor & S. Polasky. Agricultural Sustainability an Intensive Production Practices. **Nature 418: 671-677**. doi: 10.1038/nature 01014. 8 August. 2002.
- 18- Tindall, T. **Agronomy News.Vol. 21** Issue 6. Nov/Dec 2001. Risk Assessments of the Use of Cadmium, Lead, and Arsenic in Fertilizer Focus on Public Health and Safety. www.extsoilcrop.colorstate.edu/newsletters/documents/2001_metals.pdf.
- 19- Vitousek, P.M.; R. Naylor; T. Crews; M.B. David; L.E. Drinkwater; E. Holland; P.J. Johns; J. Katzenberger; L.A. Martinelli; P.A. Matson; G. Nzguheba; D. Ojima; C.A. Palm; G.P. Robertson; P.A. Sanchez; A.R. Townsend & F.S. Zhang. Agriculture: Nutrient Imbalances in Agricultural Development. Policy Fórum. **Science Vol. 34: 1519-1520. June 2009.**
- 20- Yara International ASA. Bygdoy allé 2, N-0202, Oslo, Norway. 2009 (www.yara.com).