

Capítulo 18 - Uso de zeólitas na agricultura

Os autores

Alberto C. de Campos Bernardi

Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Chefe Adjunto Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Pecuária Sudeste.
E-mail: bernardialberto@cppse.embrapa.br

Marisa Bezerra de Mello Monte

Engenheira Química, D.Sc em Engenharia Metalúrgica (COPPE/UFRJ).
E-mail: mmonte@cetem.gov.br

1. Introdução

Zeólitas são minerais aluminossilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de AlO_4 e SiO_4 , cujos anéis ao se unirem compõem um sistema de canais, cavidades e poros. Devido às suas características físicas e químicas, as utilizações destes minerais têm sido muito amplas, sendo que as principais são (REZENDE, 1997; LUZ, 1994, MUMPTON, 1999):

- substratos artificiais para cultivo de plantas;
- agente solubilizador de apatitas para a adubação fosfática de culturas;
- condicionadores de solos agrícolas;
- produção de fertilizantes de liberação lenta;
- formulações de herbicidas, inseticidas e fungicidas;
- descontaminação de metais pesados (Cu, Cr, Pb, Zn etc) e isótopos radioativos (Sr^{90} , Cs^{137} etc.);
- descontaminação de micotoxinas (aflotoxinas) em alimentos;
- suplemento na alimentação animal;
- camas para animais domésticos;
- tratamento de esterco e resíduos orgânicos;
- preservação de grãos e sementes;
- preservação de frutas;

- produção de compostos por processos aeróbios e anaeróbios;
- produção de adubos organo-minerais;
- tratamento de água para consumo humano e animal;
- tratamento de águas contaminadas;
- construção civil;
- filtros para indústria;
- tratamentos médicos.

Neste capítulo são apresentadas as principais características e propriedades das zeólitas naturais, com ênfase especial no uso agrícola destes minerais. São apresentados os mecanismos que possibilitam o aumento da eficiência de utilização dos fertilizantes minerais pelo seu uso. Vários resultados obtidos no Brasil, com zeólita nacional, são apresentados.

2. Zeólitas

As zeólitas são aluminossilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de AlO_4 e SiO_4 , de constituição TO_4 (T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co...), ligados entre si por átomos de oxigênio (LUNA e SCHUCHARDT, 2001; LUZ, 1994). Nas zeólitas mais comuns, na fórmula TO_4 , T representa o Si ou o Al. A fórmula química por célula unitária é:

$M x/n [(AlO_2)_x (SiO_2)_y] \cdot m H_2O$, onde:

— M é o cátion de valência n, m é o número de moléculas de água e (x + y) é o número de tetraedros por célula unitária.

Considerando a carga trivalente do alumínio em especial, os tetraedros AlO_4 induzem cargas negativas na estrutura das zeólitas. As zeólitas são catalisadoras eficientes porque a aproximação forçada entre moléculas reagentes, sob a influência dos fortes potenciais eletrostáticos existentes no interior dos canais e cavidades, provoca o abaixamento da energia de ativação necessário ao fenômeno da catálise (LUNA e SCHUCHARDT, 2001; LUZ, 1994).

Estes aluminossilicatos cristalinos compõem um grupo com cerca de 50 tipos de zeólitas de ocorrência natural. Os anéis de tetraedros de AlO_4 e SiO_4 , ao se unirem, compõem um sistema de canais, cavidades e poros. A carga negativa do arranjo aniônico de Al-O-Si se compensa com cátions trocáveis, como Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e Ba^{+2} , os quais ocupam sítios específicos nas cavidades e canais do concentrado zeolítico. A estrutura

tridimensional, na forma de canais e cavidades interconectadas, confere aos concentrados zeolíticos vantajosas características e propriedades, como: alto grau de hidratação; baixa densidade e grande volume de vazios (quando desidratadas); estabilidade da estrutura cristalina; elevada capacidade de troca catiônica; canais uniformes (mesmo desidratada); capacidade de captura de gases e vapores e propriedades catalíticas (VAUGHAN, 1978; MING e MUMPTON, 1989). A Tabela 2.1 ilustra estas características de algumas zeólitas.

Estes minerais caracterizam-se pela facilidade de reter e liberar água e trocar cátions sem modificar sua estrutura (MUMPTON, 1999; KITHOME *et al.*, 1999), a qual apresenta propriedades de adsorção e capacidade de troca de íons, proporcionando o uso potencial, seja no campo ou em cultivo com substratos (HARLAND *et al.*, 1999). Existem cerca de 50 espécies de zeólitas naturais, sendo a clinoptilolita, aparentemente, a mais abundante tanto nos solos como em sedimentos (MING e DIXON, 1987).

Tabela 2.1 - Fórmulas e propriedades de algumas espécies de zeólitas.

Zeólita	Fórmula	Volume vazio* %	Dimensão dos canais A	Estabilidade térmica	CTC meq g ⁻¹
Analcima	$Na_{16}(Al_6Si_{32}O_{96}) \cdot 12H_2O$	18	2,6	Alta	4,54
Chabazita	$(Na_2, Ca)_6(Al_{12}Si_{24}O_{72}) \cdot 40H_2O$	47	3,7 X 4,2	Alta	3,81
Clinoptilolita	$(Na_4K_4)(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$	39	3,9 X 5,4	Alta	2,54
Erionita	$(Na, Ca_5, K)_9(Al_9Si_{27}O_{72}) \cdot 27H_2O$	35	3,6 X 5,2	Alta	3,12
Faujasita	$Na_{58}(Al_{58}Si_{134}O_{384}) \cdot 27H_2O$	47	7,4	Baixa	3,39
Ferrierita	$(Na_2Mg_2)(Al_6Si_3O_{72}) \cdot 18H_2O$	39	4,3 X 5,5 3,4 X 4,8	Baixa	2,33
Heulandita	$Ca_3(Al_8Si_{28}O_{72}) \cdot 24H_2O$	28	4,0 X 5,5 4,4 X 7,2 4,1 X 4,7	Alta	2,91
Laumontita	$Ca_4(Al_8Si_6O_{48}) \cdot 16H_2O$	31	4,6 X 6, 3	Baixa	4,25
Mordenita	$Na_8(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$	47	2,9 X 5,7 6,7 X 7, 0	Alta	2,29
Phillipsita	$(Na, K)_{10}(Al_{10}Si_{22}O_{64}) \cdot 20H_2O$	50	4,2 X 4, 4 2,8 X 4,8 3,3	Alta	3,87
Estilbita	$(CaO)_{0,82} (Na_2O)_{0,19} (K_2O)_{0,15} (MgO)_{0,56} (Fe_2O_3)_{0,30} (TiO_2)_{0,11} (Al_2O_3)_{1,85} (SiO_2)_{16} (H_2O)_{4,7}$				2,5

*Determinado pelo conteúdo de água.

2.1. Ocorrências geológicas

As zeólitas naturais são formadas a partir da precipitação de fluidos contidos nos poros, tal como nas ocorrências hidrotermais, ou pela alteração de vidros vulcânicos. As condições de temperatura, pressão, atividade das espécies iônicas e pressão parcial da água são fatores determinantes na formação das diferentes espécies de zeólitas (LUZ, 1994).

A maioria das ocorrências de zeólita pode ser encontrada em um destes seis ambientes geológicos: salino ou lagos alcalinos, solos alcalinos, diagenético, sistema aberto, hidrotermal e sedimentos marinhos (CLIFTON, 1987; MUMPTON, 1973; LUZ, 1994).

2.2. Reservas de zeólitas naturais

Os dados sobre reservas mundiais de zeólita são pouco conhecidos (LUZ, 1995). O *U.S. Geological Survey* estima que a produção anual mundial de zeólitas naturais estejam entre 2,5 e 3 milhões de toneladas (VIRTA, 2007). Estes dados são baseados em relatos de alguns países produtores, como China (de 1,75 a 2,25 milhões t), Japão (140 a 160 mil t), Coréia do Sul (175 mil t), Estados Unidos (65 mil t) e Cuba (35 a 45 mil t). Existem mais de 50 tipos diferentes de zeólitas naturais, sendo que as mais exploradas no mundo são a clinoptilolita, mordenita, hellandita e phillipsita.

No Brasil, não se tem notícia de exploração comercial em depósitos naturais de zeólitas. Existem apenas alguns estudos sobre ocorrências que não apresentaram a análise de aproveitamento econômico (LUZ, 1994). Os basaltos e diabásios da bacia do Paraná são, muitas vezes, portadores de vários tipos de zeólita (analcima, chabazita, thomsonita, clinoptilolita, natrolita, scolecita, mesolita, laumontita, stilbita, stellerita e heulandita). Nos basaltos, esses minerais ocorrem em cavidades, enquanto, nos diabásios, localizam-se nas zonas de cisalhamento (FRANCO, 1952). Murata *et al.* (1987) estudaram a possibilidade de definir, em profundidade, um zoneamento das espécies de

zeólita, nas pilhas de lavas da bacia do Paraná. As primeiras ocorrências de zeólita no Nordeste foram noticiadas por Bhaskara Rao e Silva (1963), que identificaram chabazita, heulandita, stilbita e mordenita nas drusas e cavidades da zona de contato dos tactitos e micaxistos em Currais Novos, RN. Em amostras coletadas nas fraturas do diabásio, no município de Campinas, SP, foram identificadas as zeólitas laumontita e lenhordita (SVISERO e ANACLETO, 1974). Na Bacia do Parnaíba, no estado do Maranhão, está provavelmente o principal depósito de zeólita natural do Brasil com potencial de aproveitamento econômico (REZENDE e ANGÉLICA, 1991); a forma predominante é da zeólita estilbita.

2.3. Custos do produto

Eyde e Holmes (2006) relataram que, nos Estados Unidos, os preços de zeólita para utilização industrial ou agrícola variaram de 30 a 70 dólares por tonelada, para produtos de granulometria mais grosseira (abaixo de 40 mesh), e de 50 a 120 dólares por tonelada, para os produtos mais finamente moídos (40 a 325 mesh). Para produtos como controle de odores ou uso em piscicultura os preços variaram de US\$ 0,50 ao US\$ 4,50 por quilograma. Estes dados econômicos reforçam a idéia do potencial do Brasil para exploração das zeólitas.

2.4. Estimativa de consumo

De acordo com Virta (2007), aproximadamente 55.800 t de zeólitas naturais foram comercializadas em 2006, nos Estados Unidos, sendo que, em 2005, este valor foi de 58.000 t. Os destinos da zeólita foram, em ordem decrescente, alimentação animal, camas para animais domésticos (*pet litter*), purificação de água, controladores de odor, aplicações em horticultura (condicionador de solo e substrato de cultivo), absorvente de óleo, carreador de fungicida ou inseticida, absorvente de gases, tratamento de esgoto, dessecante e aquícultura, sendo que os três primeiros itens corresponderam a, aproximadamente, 70% do total comercializado.

3. Utilização na agricultura

As três propriedades principais destes minerais, que são a alta capacidade de troca de cátions, alta capacidade de retenção de água livre nos canais e a alta habilidade na captura de íons, conferem-lhes grande interesse para uso na agricultura.

As zeólitas podem apresentar variações nas propriedades químicas e físicas e, conseqüentemente, nas possibilidades de uso agrícola. A zeólita clinoptilolita foi utilizada com sucesso na retenção de NH_4 (MACKOWN e TUCKER, 1985; FERGUSON e PEPPER, 1987; ALLEN *et al.*, 1993) e para aumentar a liberação de fósforo da rocha fosfática (LAI e EBERL, 1986; BARBARICK *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1993). A phillipsita também já foi utilizada nesta função (MNKENI *et al.*, 1994). Por outro lado, a erionita e laumonita são consideradas menos eficientes para estes usos (MACKOWN e TUCKER, 1985; TAYLOR *et al.*, 1990).

3.1. Eficiência do uso de nutrientes

A zeólita pode atuar na melhoria da eficiência do uso de nutrientes pelo aumento da disponibilidade de P da rocha fosfática, no melhor aproveitamento do N (NH_4^+ e NO_3^-) e na redução das perdas por lixiviação dos cátions trocáveis (especialmente K^+). Tem sido utilizada também no cultivo zeopônico de plantas em substrato artificial, composto por minerais zeolíticos misturados a rochas fosfáticas, o qual funciona como um sistema de liberação controlada e renovável de nutrientes para as plantas (ALLEN *et al.*, 1995; NOTARIO-DEL-PINO *et al.*, 1994; BARBARICK *et al.*, 1990; HARLAND *et al.*, 1999; GÜL *et al.*, 2005).

3.1.1. Diminuição das perdas de nitrogênio

Existem múltiplos processos que interferem na complexa dinâmica do N no solo, como lixiviação, volatilização, imobilização-mobilização, nitrificação, desnitrificação e mineralização. Estes processos podem ocasionar grandes modificações na disponibilidade e necessidade deste nutriente para as plantas. Por isso, o conhecimento e quantificação das formas de perdas do fertilizante nitrogenado aplicado ao solo são essenciais para estabelecer

estratégias visando aumentar a eficiência de uso e minimizar seu impacto ambiental. As perdas podem ocorrer pela erosão, lixiviação do nitrato, volatilização da amônia ou desnitrificação.

A perda de nitrogênio (N) por volatilização de amônia (NH_3) para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da uréia aplicada sobre a superfície do solo. O processo de volatilização envolve, inicialmente, a hidrólise da fonte nitrogenada por meio da urease, uma enzima produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, originada de restos vegetais. Como resultado da hidrólise, tem-se a formação de carbonato de amônio. O carbonato de amônio resultante da hidrólise da uréia não é estável e desdobra-se em NH_3 , CO_2 e água. Parte do N-NH_3 formado reage com íons H^+ da solução do solo e com íons H^+ dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion NH_4^+ . Entretanto, a neutralização da acidez potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores acima de 7 na região próxima aos grânulos do fertilizante aplicado. Na camada próxima à aplicação do fertilizante, constatou-se aumento do pH em água de 6,9 para 8,7 (RODRIGUES e KIEHL, 1992).

A quantidade de N perdido por volatilização, após a aplicação de uréia sobre a superfície do solo, pode atingir valores extremos próximos a 80% do N aplicado (LARA CABEZAS *et al.*, 1997). Essas perdas variam muito em função das condições climáticas e do tipo de solo, teores de argila, matéria orgânica e capacidade de troca de cátions do solo (BOUWMEESTER *et al.*, 1985; RODRIGUES e KIEHL, 1986; AL-KANANI *et al.*, 1991).

As perdas de N podem ser reduzidas utilizando as zeólitas como aditivo aos fertilizantes, para controlar a retenção e liberação de NH_4^+ . O princípio da ação da zeólita na conservação do amônio é a diminuição da concentração do elemento na solução pela troca de cátions. Além de reter grandes quantidades do íon amônio, este mineral ainda interfere no processo de nitrificação (FERGUSON & PEPPER, 1987; LAI & EBERL, 1986). Assim, é esperado que a mistura de zeólitas com uréia possa aumentar a eficiência do uso desta fonte nitrogenada.

Os resultados obtidos em experimentos realizados em Cuba são um indicativo positivo da combinação do uso de zeólitas e uréia. Crespo (1989) mostrou, em um experimento de vaso, que, com o uso de 180g de zeólita (70% clinoptilolita), houve um aumento em torno de 130% da eficiência do uso e da extração de nitrogênio e da produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens*. Na cultura do pepino, a adição de 25% de zeólita à formulação NPK 6.3-9-12 (aplicada na dose de 745 kg ha⁻¹) resultou em maiores frutos (CARRION *et al.*, 1994). O efeito da zeólita está relacionado ao tipo de solo, assim doses maiores foram necessárias para obter-se aumentos da produtividade de cana-de-açúcar, à medida que a fertilidade do solo e o teor de argila aumentaram, como foi observado por Bouzo *et al.* (1994). Os autores também mostraram que foi possível triplicar a produtividade da cana-de-açúcar com o uso de 6 t ha⁻¹ de zeólita, na linha de plantio em um Oxisol. Existem resultados positivos descritos com a utilização de zeólitas recobrando os grânulos de uréia. Carrion *et al.* (1994) relataram os resultados obtidos com uma série de experimentos com utilização associada de zeólita (31,5% clinoptilolita e 56% mordenita) e uréia. A aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N, na forma de da uréia recoberta, com 5 a 10% de zeólita (granulometria de 1 mm) aumentou a produtividade das culturas de arroz e tomate, além de melhorar a qualidade do fruto, comparada à aplicação apenas de uréia.

Existem estudos mostrando também que a zeólita, ao adsorver o NH₄⁺, pode contribuir para reduzir suas perdas do solo. Mackown e Tucker (1985) verificaram que a clinoptilolita-NH₄ diminuiu a nitrificação de NH₄⁺ para NO₃⁻ em até 11%. A diminuição foi resultado da retenção de NH₄⁺ pela clinoptilolita em locais onde as bactérias nitrificantes não podiam oxidar o NH₄⁺.

3.1.2. Solubilização da rocha fosfática

Os fosfatos solúveis em água são as melhores fontes de adubos fosfatados, porém, apresentam custos mais elevados (RAIJ *et al.*, 1992). Existem fosfatos de rocha nacionais, que são de menor preço, mas não são aceitos pelos produtores por

serem de baixa eficiência agrônômica em relação às fontes solúveis.

Os fosfatos naturais aumentam sua eficiência com o passar do tempo, devido ao acréscimo em sua solubilização, mas necessitam de certa acidez e contato com o solo para que sejam solubilizados, sugerindo que, para sua utilização, deve haver incorporação ao solo e certo período de incubação.

Considerando que os fertilizantes fosfatados são essenciais no aumento da produtividade agrícola e que seu uso está relacionado a um maior custo de produção das explorações agrícolas, torna-se necessário aprimorar técnicas e conhecimentos, como a utilização de zeólitas modificadas com rocha fosfática, para aumentar a eficiência do uso destes fertilizantes.

Zeólitas modificadas por diferentes vias por meio da troca com cátions monovalentes (como H⁺, NH₄⁺, K⁺ ou Na⁺) podem solubilizar o fósforo (P₂O₅) da rocha fosfórica (ALLEN *et al.*, 1993; ALLEN *et al.*, 1995; PICKERING *et al.*, 2002; BARBARICK *et al.*, 1990). Os resultados de Tung-Ming e Dennis (1986), na Tabela 3.1, indicam que a solubilização do fósforo da rocha fosfórica com o uso de zeólita, com cátions de amônio e sódio, foi três vezes superior à da zeólita natural, e a forma ácida significativamente superior às outras formas.

Tabela 3.1 - Solubilização de fósforo em função dos cátions presentes no mineral zeolítico.

Formas do mineral Zeolítico	P liberado (mg L ⁻¹)	pH final
Natural	2,84	7,35
Saturada com NH ₄ ⁺	8,28	8,07
Saturada com Na ⁺	10,38	7,63
Saturada com H ⁺	67,60	3,75
Rocha fosfórica	0,55	7,20

Fonte: Tung-Ming e Dennis, 1986.

Existem vários mecanismos que podem explicar estes resultados.

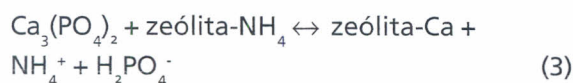
A diluição da hidroxiapatita no solo (MARCILLEKERSLAKE e VAN STRAATER, 1991) depende principalmente da acidez do solo e da reatividade do fosfato, sendo expressa da seguinte maneira:



Segundo a lei de ação de massas, um aumento na concentração de Ca^{+2} diminuirá a velocidade de solubilização da rocha fosfórica e também a liberação de P_2O_5 às plantas. A presença de zeólita possibilita a retenção de Ca^{+2} e a conseqüente diminuição da concentração do cátion Ca^{+2} no sistema favorece a solubilização da rocha fosfórica, mediante a reação:

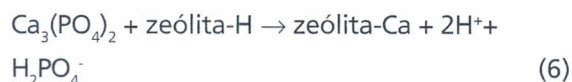


No caso de uma zeólita amônica (BARBARICK *et al.*, 1990), a troca de íons NH_4^+ com o solo pode induzir um processo de nitrificação, como nas reações:

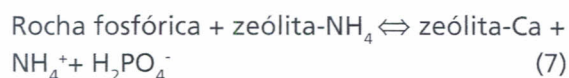


O aumento de íons H^+ no solo, devido às reações (2) e (4), pode favorecer o aumento da solubilidade dos fosfatos naturais como na equação (1).

Uma zeólita ácida (H^+) influi (TUNG-MING, 1985) em dois sentidos na solubilidade do P_2O_5 : os íons H^+ trocados podem diminuir o pH do solo e favorecer a equação (1); ou a zeólita pode captar os íons Ca^{+2} , segundo a equação:



Existe ainda o modelo de liberação de fósforo baseado na dissolução e trocas induzidas proposto por Allen *et al.* (1993), que pode ser resumido pela equação:



Neste modelo, o NH_4^+ liberado para a solução do solo é absorvido pelas raízes das plantas, induzindo novas liberações de NH_4^+ do complexo de troca. Os sítios de troca vazios são ocupados por Ca_2^+ ,

induzindo a dissolução da rocha fosfórica e liberando o fósforo para a solução. Dessa forma, a liberação de fósforo ocorrerá a taxas determinadas pelas taxas de absorção de NH_4^+ pelas plantas, cujo crescimento será aumentado com a maior disponibilidade de fósforo no meio de cultivo.

3.2. Substratos enriquecidos

Para atender à necessidade de aumento de produção vegetal, surgiram novos sistemas de cultivo, em alternativa ao sistema tradicional a campo, como os protegidos (túneis e estufas) e o hidropônico. Existe ainda uma nova possibilidade que é o cultivo zeopônico, no qual plantas são cultivadas em substrato artificial composto pelo mineral concentrado zeolítico misturado a rochas fosfáticas e que funciona como um sistema de liberação gradativa e renovável de nutrientes para as plantas.

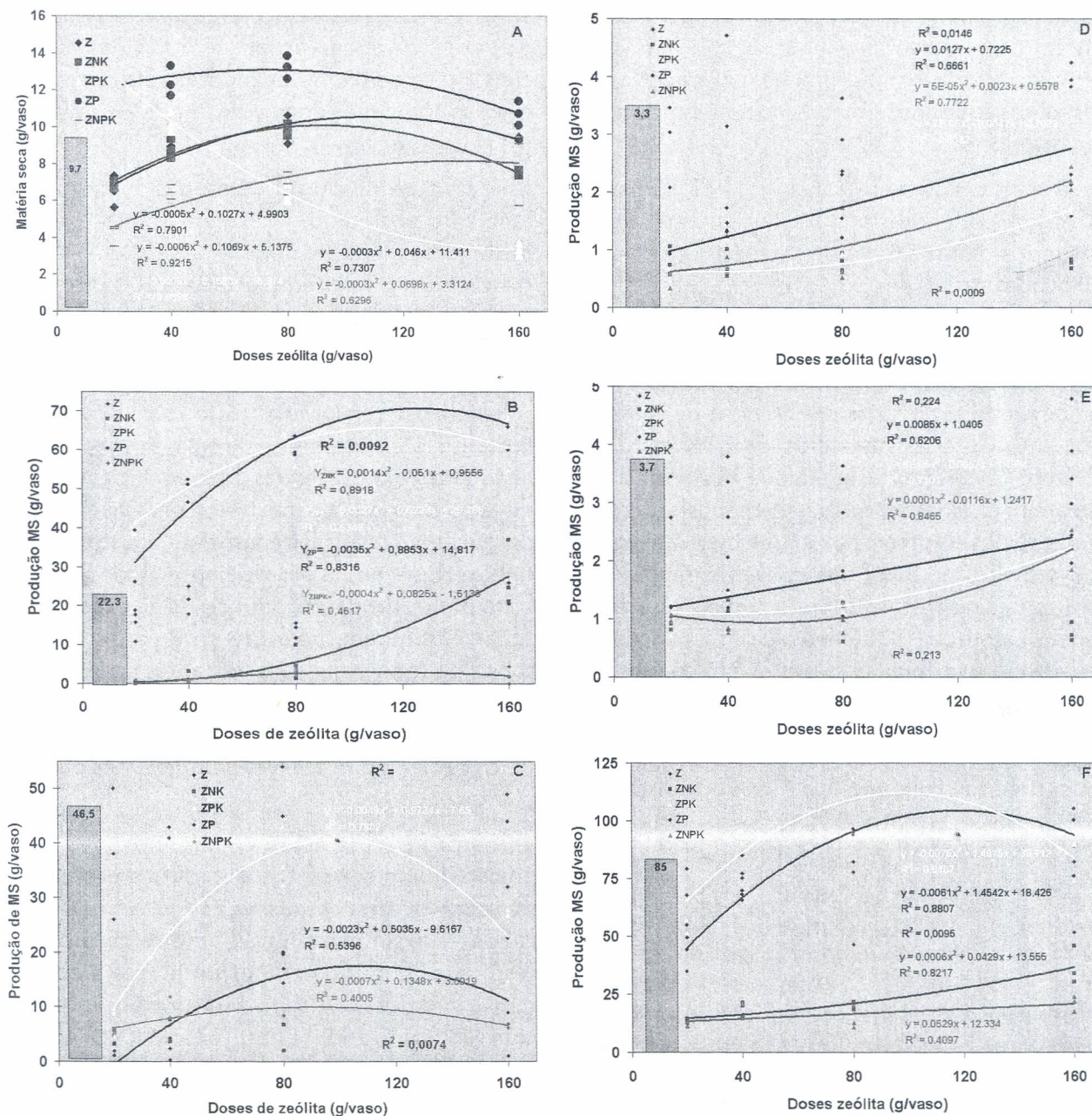
De acordo com Leggo (2000), em função da afinidade da zeólita por nutrientes, este mineral pode ser utilizado em substratos para estimular o crescimento das plantas. A mistura de zeólitas também apresentou efeitos positivos sobre o crescimento de plantas de alface (GÜL *et al.*, 2005) e tomate (VALENTE *et al.*, 1986).

Bernardi *et al.* (2004b) avaliaram o efeito de zeólitas enriquecidas com NPK no substrato de cultivo sobre a produção e extração de nutrientes pelas culturas do alface, tomate, arroz e uma forrageira - capim-andropogon. A zeólita natural estilbita foi concentrada e enriquecida. Os tratamentos formaram cinco tipos de zeólitas enriquecidas: zeólita concentrada (Z); zeólita + KNO_3 (ZNK); zeólita + KH_2PO_4 (ZPK); zeólita + H_3PO_4 e apatita (ZP), mistura das zeólitas KNO_3 e KH_2PO_4 (ZNPK), além de um tratamento testemunha, sem adição de zeólita cultivado com solução nutritiva. Utilizaram-se quatro níveis de zeólitas enriquecidas: 20, 40, 80 e 160 g por vaso. Os resultados (Figura 3.1) indicaram que o fornecimento de nutrientes pelo mineral zeólita enriquecido com NPK é uma alternativa viável para a obtenção de plantas no sistema zeopônico. Os concentrados zeolíticos enriquecidos funcionaram adequadamente como

fonte de nutrientes de liberação lenta, sendo que os melhores efeitos sobre a produção de matéria seca (MS) total pelos quatro cultivos sucessivos (em ordem decrescente) foram os tratamentos: zeólita + KH_2PO_4 (ZPK) > zeólita + H_3PO_4 + apatita (ZP) >

zeólita concentrada (Z) > zeólita + KNO_3 (ZNK) > mistura das zeólitas KNO_3 e KH_2PO_4 (ZNPk).

No entanto, não bastam alternativas viáveis para o aumento quantitativo da produção, pois os consumidores têm se tornado mais exigentes, haven-



Fonte: adaptado de Bernardi et al., 2004b.

Figura 3.1 - Resultados para produção de matéria seca do alfafa (A), tomate (B), arroz (C), primeiro e segundo cortes do capim-andropogon (D e E), cultivados com doses de concentrado zeolítico com adição de N, P, K e total (F). A barra indica os valores médios observados para as testemunhas.

do necessidade de obter-se principalmente produtos de qualidade. No caso das hortaliças utilizadas naquele estudo, como a alface, a aparência é o atributo que mais causa impacto na escolha por parte do consumidor e, dentro desta, a cor é a característica mais relevante. Isto porque a cor caracteriza sobremaneira o produto, constituindo-se no primeiro critério para sua aceitação ou rejeição. Por isso, Bernardi *et al.* (2005) avaliaram a qualidade visual das alfaces realizando um teste de preferência com 53 provadores.

Os resultados deste teste (Tabela 3.2) indicaram que as alfaces preferidas foram a testemunha, cujos nutrientes foram fornecidos em quantidades adequadas através de solução nutritiva, e as alfaces obtidas no substrato com o tratamento ZP80 (zeólita + apatita, na dose de 80 g por vaso). Os outros tratamentos ZP (160, 40 e 20), ZNK80 e ZPK20 também obtiveram altas preferências de compra pelos provadores. Em trabalho recente, Bernardi *et al.* (2007) avaliaram a qualidade dos frutos de tomateiro cv. Finestra, cultivado em substrato com zeólita enriquecida com N, P e K, e observaram que houve efeitos positivos das zeólitas enriquecidas com fontes de fósforo sobre a firmeza e efeito negativo sobre o pH. O aumento da disponibilidade de potássio contribuiu para o aumento do teor de ácido ascórbico dos frutos (Tabela 3.3).

Tabela 3.2 - Somatório das notas das alfaces cultivadas em substratos com zeólita enriquecidas pelos provadores*.

Tratamentos	Cor	Tamanho	Lesões	Preferência
Z 20	304 ab	489 c	277 b	354 b
Z 40	367 b	445 c	316 b	367 b
ZP 20	307 ab	253 ab	302 b	321ab
ZP 40	276 ab	195 a	341 b	295 ab
ZP 80	255 ab	203 a	296 b	234 a
ZP 160	243 a	183 a	322 b	282 ab
ZNK 40	436 b	513 c	436 c	504 c
ZNK 80	296 ab	321 b	239 ab	250 ab
ZPK 20	272 ab	272 ab	192 ab	267ab
ZPK 40	310 ab	290 ab	374 b	383 b
Testemunha	356 b	319 b	162 a	222 a

Valores seguidos de letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Friedman. Diferença mínima = 112. * Os valores menores indicam maior preferência.

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) está desenvolvendo sistemas que permitem cultivar plantas no espaço, baseando-se na utilização de substratos resultantes da mistura de clinoptilolita e apatita (MING *et al.*, 1995). Este substrato zeopônico, que consiste de clinoptilolita enriquecida com NH_4^+ e K^+ e apatita sintética, fornece os nutrientes essenciais para o crescimento vegetal pela dissolução e troca iônica, apenas com a adição de água (ALLEN *et al.*, 1993).

O sistema de produção de mudas de citros, em ambiente protegido, utilizando substratos, visa melhorar as condições fitossanitárias, promover um crescimento mais intenso e padronizar o processo de formação dos porta-enxertos e mudas. Neste sistema, ocorre um grande crescimento das plantas em curto espaço de tempo e em volume reduzido para o desenvolvimento do sistema radicular. Portanto, o fornecimento de nutrientes em doses adequadas e balanceadas é necessário para estimular o crescimento máximo e para que perdas por lixiviação sejam evitadas. A adubação dos porta-enxertos e mudas em recipientes pode ser realizado por fertirrigação, adubações de cobertura e foliar e, também, pelo pré-enriquecimento do substrato (que inclui os fertilizantes de liberação lenta), controlada e renovável de nutrientes para as plantas.

Bernardi *et al.* (2004a) avaliaram o efeito da adição de um concentrado zeolítico enriquecido com NPK ao substrato de cultivo sobre o crescimento do limoeiro 'Cravo' até os 90 dias. Os resultados (Figura 3.2) indicaram que a adição de 6,2 g do concentrado zeolítico enriquecido com NPK (70% zeólita natural com KNO_3 e 30% zeólita natural acidificada em mistura com apatita) aumentou significativamente as produções de matéria seca das folhas, caule, raízes (primárias e secundárias) e total e, também, a altura e diâmetro de caule.

Tabela 3.3 - Produção e parâmetros de qualidade de frutos do tomateiro cv. Finestra cultivado em substrato com zeólitas.

Tratamentos	Produção (g por vaso)	Firmeza N	Sólidos totais °Brix	pH	Acidez titulável % ac. cítrico	Ácido ascórbico ⁽¹⁾ mg 100g ⁻¹
Z 20	589,0 cde	7,38 ef	3,50	4,21 abc	0,60 a	16,54 b
Z 40	587,6 cde	7,08 f	3,60	4,14 bcd	0,53 ab	17,68 b
ZP 20	446,3 f	8,17 def	3,63	4,07 cd	0,40 ab	16,65 b
ZP 40	300,1 g	9,56 cdef	3,40	4,10 cd	0,40 ab	16,83 b
ZP 80	521,3 def	12,20 abc	3,53	4,12 cd	0,33 b	16,59 b
ZP 160	711,2ab	12,95 ab	3,35	4,17 abcd	0,33 b	19,12 b
ZPK 20	339,6 g	10,46 bcde	3,20	4,28 ab	0,43 ab	7,84 c
ZPK 40	479,0 ef	14,38 a	3,47	4,32 a	0,40 ab	10,26 c
ZPK 80	616,1 bcd	11,13 bcd	3,60	4,18 abcd	0,37 ab	19,22 b
ZPK 160	751,9 a	7,74 ef	3,77	4,05 d	0,44 ab	24,13 a
ZNK 160	114,7 h	7,06 f	3,40	4,18 abcd	0,51 ab	15,27 b
Testemunha	641,3 bc	7,36 ef	3,67	4,13 bcd	0,59 ab	16,81 b

Médias seguidas de letras diferentes diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

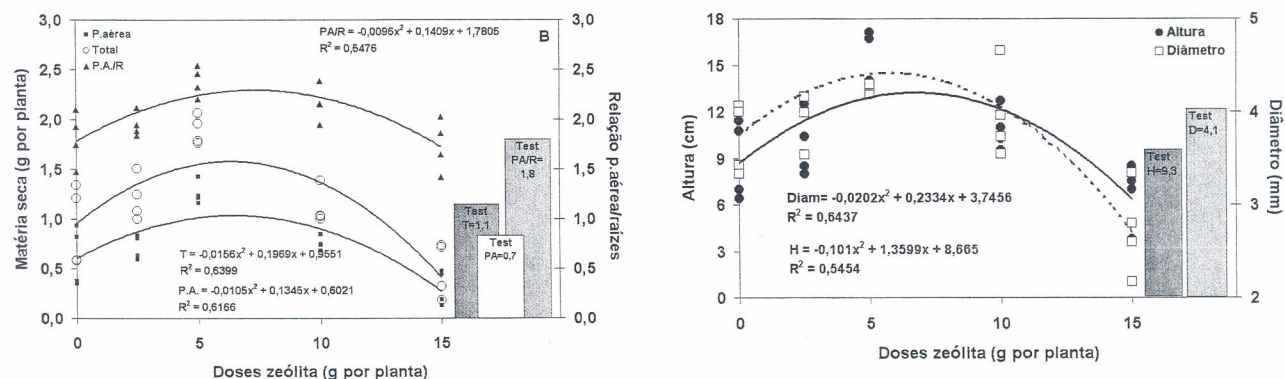
(1) Concentração de ácido ascórbico com base na matéria fresca (mg 100g⁻¹).

(2) CV% = coeficiente de variação;

*, **, *** indicam significância para p < 0,05; 0,01; e 0,001, respectivamente.

N.S. indica não significativo.

Fonte: Bernardi *et al.*, 2004a.



Fonte: Bernardi *et al.*, 2004a.

Figura 3.2 - Altura e diâmetro do caule e produção de matéria seca pela parte aérea, total e razão parte aérea/raízes, do porta-enxerto limoeiro 'Cravo', aos 93 dias de cultivo, em funções das doses de concentrado zeolítico enriquecido com N, P e K. As barras indicam os valores médios observados para a testemunha.

3.3. Zeólita em mistura com fertilizantes

As zeólitas adicionadas aos fertilizantes podem funcionar no aumento da retenção de nutrientes, melhorando a qualidade do solo. Isto acontece com relação a macronutrientes primários, como N e K, com os secundários, como Ca e Mg, e também com micronutrientes. A presença deste mineral aumenta a retenção de nutrientes na zona radicular para que possa ser utilizado pelas plantas no momento

mais necessário. Conseqüentemente, há aumento da eficiência do uso de fertilizantes pela redução das perdas por lixiviação, especialmente as de N e K, e também aumenta o crescimento (FLANIGEN e MUMPTON, 1981; MUMPTON, 1999).

Resultados obtidos por Junrungreang *et al.* (2002), na Tailândia, com cana-de-açúcar, indicaram os efeitos benéficos da mistura da zeólita ao fertilizante químico, uma vez que estes tratamen-

tos aumentaram significativamente a produtividade. Houve também um retorno econômico positivo da utilização do mineral (Tabela 3.4). Os resultados de Fuente-Crespo (1998), utilizando doses maiores de zeólita, mostraram que o uso deste mineral possibilitou o aumento do rendimento da cana-de-açúcar, como se observa na Tabela 3.5.

Cantera-Oceguera (2002) utilizou uma zeólita natural cubana na produção de fertilizantes granulados e demonstrou a possibilidade de utilização de 25 a 50% do mineral na fórmula 8-9-14, sem afetar os rendimentos agrícolas (Figura 3.3). Os resultados

indicaram, ainda, que houve uma diminuição de 20 a 36% nos custos da adubação.

Como pode ser observado na Tabela 3.6, a adição de 25% de zeólita natural ao fertilizante granulado aumentou o rendimento agrícola, em média, em 25,8%, nos cultivos avaliados. Foi alcançada uma melhora na eficácia de utilização dos fertilizantes minerais de 41%, indicando a possibilidade de se economizar fertilizantes minerais com a utilização da zeólita. Soca (1991) e Marcille-Kerslake (1991) encontraram resultados que confirmam estas observações.

Tabela 3.4 - Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar e análise econômica em função da dose de fertilizantes químicos e zeólita.

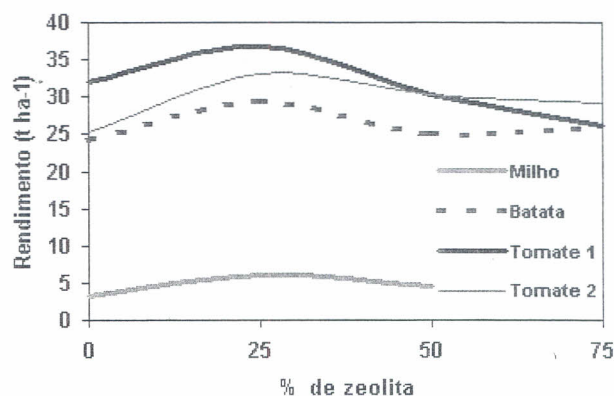
Tratamentos	Produtividade t ha ⁻¹	Brix	Custo	Receita	Lucro
			US\$ por ha		
313 kg ha ⁻¹ 15-15-15	66,7 ab	23,7	596,5	845,2	248,7
625 kg ha ⁻¹ 15-15-15	76,2 cde	23,3	655,1	966,3	311,2
Zeólita 125 kg ha ⁻¹	58,8 ab	23,3	569,1	745,3	176,2
Zeólita 250 kg ha ⁻¹	64,4 abc	24,3	600,4	816,3	215,9
313 kg ha ⁻¹ 15-15-15 + Zeólita 125 kg ha ⁻¹	66,5 bc	23,7	627,7	842,3	214,6
313 kg ha ⁻¹ 15-15-15 + Zeólita 250 kg ha ⁻¹	70,6 bcd	24,0	659,0	895,5	286,5
625 kg ha ⁻¹ 15-15-15 + Zeólita 125 kg ha ⁻¹	81,3 de	23,3	686,3	1028,8	342,4
625 kg ha ⁻¹ 15-15-15 + Zeólita 250 kg ha ⁻¹	90,1 e	24,0	717,6	1142,5	424,9
Testemunha	52,0 a	23,3	537,9	658,9	120,9

Fonte: Adaptado de Junrungreang *et al.*, 2002.

Tabela 3.5 - Efeito das aplicações de zeólita sobre o rendimento agrícola da cana-de-açúcar

Zeólita aplicada (ton ha ⁻¹)	Pol (%)	Rendimentos (ton ha ⁻¹)	
		Cana	Açúcar
1,5	15,82	72,81	11,51
3,0	15,06	75,90	12,42
4,5	15,93	77,00	12,25
6,0	15,98	80,10	12,72
7,5	16,36	81,50	14,93
15,0	15,89	92,00	14,59

Fonte: Fuente-Crespo, 1998.



Fonte: Cantera-Oceguera, 2002.

Figura 3.3 - Variação no rendimento agrícola de tomate, milho e batata em função da porcentagem de zeólita na fórmula NPK 8-9-14.

Tabela 3.6 - Análise comparativa da eficácia de fertilizante granulado com 25% de zeólita.

Cultivo	Fórmula	Dose kg ha ⁻¹	NPK kg ha ⁻¹	Produtividade t ha ⁻¹	Incremento %	Kg NPK por ton	Eficiência %
Feijão Negro	9,5-9,5-9,5	745	212,32	1,29		164,59	
	7-7-7	745	156,45	1,50	17,0	104,30	36,63
Tomate	9,5-9,5-9,5	730	208,10	25,50		8,25	
	7-7-7	730	153,30	35,19	38,0	4,31	47,75
Feijão Carita	8-9-14	700	217,00	0,48		452,08	
	6-7-10	700	161,0	0,56	16,0	287,50	36,40
Pepino	8-9-14	780	241,60	32,40		7,46	
	6-7-10	780	179,40	43,60	35,0	4,11	44,90

Fonte: Cantera-Oceguera, 2002.

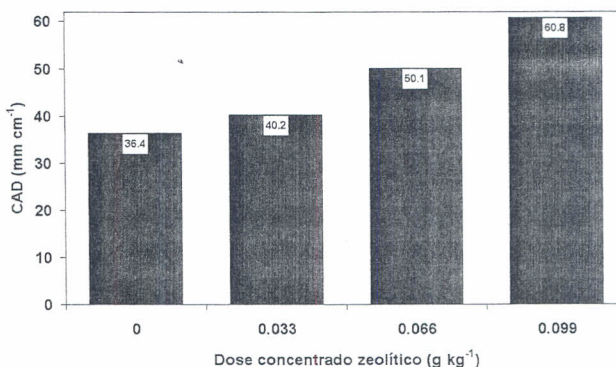
3.4. Condicionadores de solo

O uso de condicionadores do solo representa uma alternativa para aumentar a capacidade de retenção de água e nutrientes dos solos arenosos. O conceito de condicionadores envolve a aplicação de materiais aos solos para modificar favoravelmente propriedades físicas adversas, como baixa capacidade de retenção de água e excessiva permeabilidade. A natureza dos condicionadores é muito variável e engloba desde material natural orgânico e inorgânico, até produtos sintéticos industrializados (STEWART, 1975).

Estes produtos são capazes de reter grandes quantidades de água, sendo necessário testá-los em diferentes culturas e condições edafo-climáticas, para se definir as quantidades e formas de aplicação mais adequadas. Dentre os condicionadores naturais, as zeólitas podem ser utilizadas para aumentar a capacidade de retenção de água em solos sujeitos a déficit hídrico.

A zeólita pode aumentar a capacidade de retenção de água no solo e a disponibilidade desta para as espécies vegetais, melhorando a eficiência do uso da água (XIUBIN e ZHANBIN, 2001; MALOUPA *et al.*, 1992). Issa *et al.* (2001) observaram que as mais altas produtividades de gérberas foram obtidas quando se utilizaram substratos de cultivo com mistura de zeólita e perlita (1:1). Os autores destacaram que o rendimento positivo neste substrato foi devido à presença da zeólita, que

conferiu alta capacidade de troca de cátions, capacidade de reter e disponibilizar nutrientes, além da possibilidade de melhor manejo de água. Bernardi *et al.* (2004c) avaliaram o efeito de doses de um concentrado do mineral zeólita sobre a capacidade de retenção de água de um Neossolo Quartzarênico. Os resultados na Figura 3.4 indicaram que, com o uso do concentrado zeolítico, foi possível aumentar a retenção de água do solo em estudo e que esta água estava retida com baixas tensões. Houve aumentos de 10, 38 e 67% na capacidade de água disponível (CAD), em relação à testemunha, respectivamente, para a adição das doses de 3,3; 6,7 e 10% de zeólita ao solo.



Fonte: adaptado de Bernardi *et al.*, 2004c.

Figura 3.4 - Capacidade de água disponível (CAD) de um Neossolo Quartzarênico com adição de concentrado zeolítico, calculada para uma profundidade de 20 cm, com base nas equações das curvas de retenção de água.

3.5. Descontaminação de metais pesados

Os métodos para remediação de solos contaminados com metais pesados, como cobre, cádmio, chumbo, mercúrio e zinco, têm recentemente se tornado uma preocupação para a agricultura, uma vez que estes solos têm sido cada vez mais demandados para serem incorporados ao processo produtivo. Para solos com contaminações mais baixas de metais pesados, os tratamentos resumem-se na diminuição da biodisponibilidade destes metais pela manipulação de certas propriedades do solo, como pH e Eh, e pela aplicação de corretivos (calcário) e fertilizantes (fosfatados). Outra alternativa é o uso de materiais com alta capacidade de troca de cátions, como as zeólitas (GWOREK, 1992; REBEDEA e LEPP, 1994).

3.6. Pecuária

As características físicas e químicas das zeólitas naturais conferem-lhes várias possibilidades de uso na criação animal, tanto na nutrição como no tratamento dos resíduos. Existem vários relatos na literatura mostrando as vantagens de utilização deste mineral na dieta de aves, suínos e ruminantes. O uso de zeólitas na dieta (5%) possibilita o aumento da eficiência da conversão alimentar (entre 20 e 30%), mantendo os mesmos ganhos de peso das dietas sem o mineral, porém utilizando menores quantidades de alimentos e água (MUMPTON, 1999).

No tratamento de resíduos animais, destacam-se a redução dos odores e a poluição resultante, possibilidade de ambientes mais saudáveis para os animais, controle da viscosidade e retenção de nutrientes dos esterco, purificação do metano produzido na decomposição anaeróbia dos excrementos (MUMPTON, 1999).

3.6.1. Dieta de ruminantes

Na nutrição de ruminantes, uma das fontes de amônia pode ser a uréia, embora apresente alta solubilidade no rúmen, o que limita o seu uso. A uréia transforma-se em amônia numa velocidade maior que a transformação de lignocelulose em ácidos graxos voláteis (AGV), necessários para a

síntese de proteína microbiana. Em consequência, grande quantidade de nitrogênio amoniacal é absorvido pela parede do rúmen, sobrecarregando o fígado e aumentando a concentração de amônia no sangue, o que caracteriza um quadro de intoxicação dos animais, que pode ser agravado quando o consumo de uréia se dá em um curto espaço de tempo (OWENS e ZINN, 1988).

Uma alternativa para melhorar este problema é o emprego de complexos de liberação lenta de uréia (OWENS e ZINN, 1988), melhorando assim o fornecimento de amônia no rúmen, aumentando a síntese de proteína microbiana, o consumo de matéria seca, a digestibilidade da fibra e proporcionando um maior consumo de energia pelo animal, além de reduzir problemas com toxidez (RUSSELL *et al.*, 1992; TEDESCHI *et al.*, 2000). A liberação gradual da amônia permite aos microrganismos do rúmen síntese contínua de proteína celular (CASS *et al.*, 1994). Por isso, o produto resultante da uréia com zeólita pode trazer efeitos positivos na utilização da uréia para ruminantes.

No Brasil, Parré *et al.* (1997) testaram a inclusão da zeólita em dietas peletizadas com uréia e farelo de algodão para ovinos. Os resultados obtidos (Tabela 3.7) indicaram que, utilizando a proporção média consumida entre zeólita e uréia (3,3:1), não houve alteração dos coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína bruta, da

Tabela 3.7 - Coeficientes de digestibilidade da matéria seca, proteína bruta, fibra detergente neutra e energia bruta para as dietas com uréia e com uréia+zeólita.

Nutrientes	Dieta com uréia	Dieta com uréia+zeólita	EPM
Matéria seca	58,42	57,39	0,62
Proteína bruta	65,66	66,20	0,60
Fibra detergente neutro	28,40	30,33	1,13
Energia bruta	58,31	58,73	0,65
Nitrogênio Retido			
% do ingerido	23,04	26,54	0,98
% do absorvido	34,38	40,68	1,52

Fonte: adaptado de Parré *et al.* (1997).

fibra em detergente neutro e da energia bruta. Concluíram que o uso da zeólita na proporção de 3% da dieta contendo farelo de algodão e uréia melhorou a retenção de nitrogênio pelos animais. Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Galindo *et al.* (1990).

3.6.2. Retenção de gases

As zeólitas naturais podem absorver CO, CO₂, SO₂, H₂S, NH₃, HCHO, Ar, O₂, N₂, H₂O, He, H₂, Kr, Xe, CH₃OH e muitos outros gases. Esta capacidade de retenção pode ser utilizada para coletar e controlar odores. Além disso, estes minerais podem ser utilizados com sucesso na criação animal, para reduzir os teores de amônia e H₂S livres, causadores de odores desagradáveis (KITHOME *et al.*, 1999).

A alta capacidade das zeólitas em reter amônia possibilita uma alternativa natural para controlar os altos níveis deste composto nas criações de peixes, sendo utilizadas em sistemas de filtragem ou aplicação direta na água.

4. Considerações finais

Os resultados das pesquisas indicam que a utilização conjunta do mineral com os fertilizantes pode contribuir para aumentar os índices de eficiência dos fertilizantes. Esta melhoria da eficiência poderia trazer redução das quantidades de fertilizantes aplicadas e, conseqüentemente, proporcionar a economia de divisas e aumentar a competitividade do agronegócio.

Espera-se, ainda, que a reunião de resultados tecnicamente vantajosos, como foi feita neste capítulo, possa demonstrar a necessidade de estabelecimento de rotinas de exploração e processamento de zeólitas e de geração de novos produtos para agricultura. Isso poderia ainda contribuir para o desenvolvimento de regiões pouco desenvolvidas do País, onde estão as ocorrências deste mineral, podendo, inclusive, futuramente, estimular o surgimento de uma cadeia envolvendo exploração, transformação e comercialização do produto.

Referências bibliográficas

- AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N.N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. *Soil Science Society American Journal*, v.55, p.1761-1766, 1991.
- ALLEN, E.; HOSSNER, L.; MING, D.; HENNINGER, D. Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.57, p.1368-1374, 1993.
- ALLEN, E.; MING, D.; HOSSNER, L.; HENNINGER, D.; GALINDO, C. Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate. *Agronomy Journal*, Madison, v. 87, n. 6, p. 1052-1059, 1995.
- BARBARICK, K. A.; LAI, T. M.; EBERL, D. D. Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudangrass. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 54, n. 3, p. 911-916, 1990.
- BERNARDI, A.C.C.; VERRUMA-BERNARDI, M.R.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; MONTE, M.B.M. Produção, aparência e teores de nitrogênio, de fósforo e de potássio em alface cultivada em substrato com zeólita. *Horticultura Brasileira*, v.23, n.4, p.920-924, 2005.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G., HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; AMORIM, H.S. de; SOUZA-BARROS, F. de; PAIVA, P.R.P.; MONTE, M.B.M. Crescimento do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' em substrato com zeólita. In: *ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS. IV*. Viçosa, outubro de 2004a.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G., HAIM, P.G.; REZENDE, N.G.A.M.; AMORIM, H.S. de; SOUZA-BARROS, F. de; PAIVA, P.R.P.; MONTE, M.B.M. *Avaliação agronômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 2004b. 25p. (Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento). Disponível em: www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html

- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; BOTREL, N.; OIANO-NETO, J.; MONTE, M.B.M. Produção e qualidade de frutos de tomateiro cultivado em substrato com zeólita. *Horticultura Brasileira*, v.25, 2007, no prelo.
- BERNARDI, A.C.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G.; MONTE, M.B.M. *Disponibilidade de água e produção de arroz em função das doses de concentrado zeolítico*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 2004c. 4p. (Embrapa Solos, Circular Técnica 24) Disponível em: www.cnpq.br/embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html
- BHASKARA RAO, A. e SILVA, J. C. Mineralogia de alguns zeolitos do Nordeste. *Arquivos de Geologia*. Recife, n. 4, p. 33-47, 1963.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.49, p.376-381, 1985.
- BOUZO, L.; LOPEZ, M.; VILLEGAS, R.; GARCIA, E.; ACOSTA, J.A. Use of natural zeolites to increase yields in sugarcane crop minimizing environmental pollution. 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, 10-16 July 1994. Transactions. Volume 5a: Commission IV: Symposia. 1994, 695-701.
- CANTERA-OCEGUERA, V. *Zeolita natural: una alternativa en la industria de fertilizantes*. La Habana: Ministerio de Industria Básica. 2002. 46p.
- CARRION, M. R. *et al.* Influencia de los fertilizantes con zeolita sobre el rendimiento de los cultivos. [www.springerlink.com].
- CASS, J. L.; RICHARDSON, C. R.; SMITH, K. J. Evaluation of slow ammonia release from urea/calcium compounds. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.72, p.243, 1994.
- CLIFTON, R. A. Natural and synthetic zeolites. Washington: Bureau of Mines, 1987. 21p. (Information Circular; 9140).
- CRESPO, G. Effect of zeolite on the efficiency of the N applied to *Brachiaria decumbens* in a red ferrallitic soil. *Cuban Journal of Agricultural Science*, La Habana, v.23, n. 2, p.207-212, 1989.
- EYDE, T.H.; HOLMES, D.A. Zeolites. In: KOGEL, J.E., TRIVEDI, N.C., BARKER, J.M., KRUKOWSKI, S.T. (Eds.) *Industrial minerals and rocks* (7th ed.). Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 2006. p.1039-1064.
- FERGUSON G.; PEPPER, I. Ammonium retention in soils amended with clinoptilolite. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.51, p.231-234, 1987.
- FLANIGEN, M., MUMPTON, F.A. Commercial properties of natural zeolites. *Reviews in Mineralogy*, n.4, p.165-175, 1981.
- FRANCO, R.R. Zeólitas dos basaltos do Brasil Meridional. *Boletim, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP*. Mineralogia, n. 10, 1952. 162p.
- FUENTE -CRESPO, R. Producción cañera más eficiente y ecológica, *Revista Cañaveral*, Vol. 4, No. 1, p. 27, 1998.
- GALINDO, J.; ELIAS, A.; PIEDRA, R. The effect of some zeolite components on the rumen microbial activity of silage diets. *Cuban Journal of Agricultural Science*, La Habana, v.24, p.187-194. 1990.
- GÜL, A.; EROGUL, D.; ONGUN, A.R. Comparison of the use of zeolite and perlite as substrate for crisp-head lettuce. *Scientia Horticulturae*, v.106, n.4, p.464-471, 2005.
- GWOREK, B. Lead inactivation in soils by zeolites. *Plant & soil*, v.143, p.71-74, 1992.
- HAI DOUTI, C. Inactivation of mercury in contaminated soils using natural zeolites. *The science of the Total Environment*, v.208, p.105-109, 1997.
- HARLAND, J.; LANE, S.; PRICE, D. Further experiences with recycled zeolite as a substrate for the sweet pepper crop. *Acta Horticulturae*, n.481, p.187-194, 1999.
- HE, Z.L.; CALVERT, D.V.; ALVA, A.K.; LI, Y.C.; BANKS, D.J. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant-and-Soil*. 247 (2): 253-260. 2002.
- ISSA, M.; OUZOUNIDOU, G.; MALOUPA, H.; CONSTANTINIDOU, H.I.A. Seasonal and diurnal photosynthetic responses of two gerbera cultivars

- to different substrates and heating systems. *Scientia Horticulturae*, v.88, p.215-234, 2001.
- JUNRUNGREANG, S.; LIMTONG, P.; WATTANAPRAPAT, K.; PATSARAYEANGYONG, T. Effect of zeolite and chemical fertilizer on the change of physical and chemical properties on Lat Ya Soil series for sugarcane. In: WORD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17th, Thailand, 2002. Symposium no. 57, p.1897/1-1897/7. Bangkok, International Society of Soil Science. 2002.
- KITHOME, M.; PAUL, J.W.; LAVKULICH, L.M.; BOMKE, A.A. Effect of pH on ammonium adsorption by natural zeolite clinoptilolite. *Communications on Soil Science and Plant Analysis*, v.30, n.9&10, p.1417-1430, 1999.
- LAI, T.M.; EBERL, D.D. Zeolites 6 (1986) 129.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.489-496, 1997.
- LUNA, F. J.; SCHUCHARDT, U. Modificação de zeólitas para uso em catálise. *Química Nova*, São Paulo, v. 24, n.6, p.885-892, 2001.
- LUZ, A. B. *Zeólitas: propriedades e usos industriais*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994. 37 p. (Série Tecnologia Mineral, CETEM, 68).
- MACKOWN, C.; TUCKER, T. Ammonium nitrogen movement in a coarse textured soil amended with zeolite. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.49, p.235-238, 1985.
- MALOUPA, E., MITSIOS, I., MARTINEZ, P.F., BLADENOPOULOU, S. Study of substrates used in gerbera soilless culture grown in plastic greenhouse. *Acta Horticulturae*, 323:139-144. 1992.
- MARCILLE-KERSLAKE, V.; VAN STRAATER, P. (1991). Zeolites in British Columbia-Canada: Development of an alternative phosphate fertilizer using zeolite and phosphate rock. *Memorias Zeolitas'91*. 3rd International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites, La Habana ,p.
- MING, D. W.; MUMPTON, F. A. Zeolites in soils. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.) *Minerals in soil environments*. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 873-911.
- MING, D.W. BARTA, D.J. GOLDEN, D.C. GALINDO, C. HENNINGER, D.L. In: MING, D.W. MUMPTON, F.A. (Eds.). *Natural Zeolites _93: occurrence, properties, use*. Brockport, New York: International Committee on Natural Zeolites. 1995, p.505-513.
- MING, D.W.; DIXON, J.B. Quantitative determination of clinoptilolite in soils by a cation-exchange capacity method. *Clays and Clay Mineralogy*, v.35, n.6, p.463-468, 1987.
- MNKENI, P.N.S. SEMOKA J.M.R.; KAITABA, E.G. Effects of Mapogoro phillipsite on availability of P in phosphate rocks. *Tropical Agriculture*, v.71, p.249-253, 1994.
- MUMPTON, F.A. La roca magica: uses of natural previous zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, v.96 n.7, p.3463-3470, 1999.
- MUMPTON, F.A. Worldwide deposits and utilization of natural zeolites, *Industrial Minerals*, p. 30/45, Oct. 1973.
- MURATA, K.J. Distribution of zeolites in lavas of southeastern Paraná-Basin. *Journal of Geology*, v. 95, n.4, p. 455/467, 1987.
- NOTARIO-DEL-PINO, J. S.; ARTEAGA-PADRON, I. J.; GONZALEZ-MARTIN, M. M.; GARCIA-HERNANDEZ, J. E. Response of alfalfa to a phillipsite-based slow-release fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 25, n. 13-14, p. 2231-2245, 1994.
- OWENS, F.N.; ZINN, R. Protein metabolism of ruminant animal. In: CHURCH, D.C. (Ed.). *The ruminant animal: digestive physiology and nutrition*. Englewood Cliffs: Simon & Schuster, 1988. p.227-249.
- PARRÉ, C.; VIEIRA, P.F.; SILVEIRA, A.C.; ARRIGONI, M.B.; BERTO, D.A.; CURI, P.R. Utilização de uréia e zeólita na alimentação de ovinos. Digestibilidade e balanço de nitrogênio. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. XXXIV. *Anais...* 28 de Julho a

- 1 de Agosto de 1997. Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia. 1997. 3p.
- PICKERING, H. W.; MENZIES, N.W.; HUNTER, M.N. Zeolite/rock phosphate - a novel slow release phosphorus fertiliser for potted plant production. *Scientia Horticulturae*, v. 1768, p.1-11, 2002.
- RAIJ, B. van; ROSAND, P.C.; LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1992. 326p. (Documentos, 21).
- REBEDEA, I.; LEPP, N.W. The use of synthetic zeolite to reduce plant metal uptake and phytotoxicity in two polluted soils. In: ADRIANO, D.C.; CHEN, Z.S.; YANG, S.S. (ed.) *Biogeochemistry of trace elements, environmental geochemistry and health*. V. 16. Northwood: Science and Technology Letters. 1994. p.81-87.
- REZENDE, N.G.A.M. *Argilas nobres e zeólitas na Bacia do Paraíba; relatório final de projeto*. Belém: companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, 1997. 33p.
- REZENDE, N.G.A.M.; ANGÉLICA, R.S. Sedimentary zeolites in Brazil. *Mineralogica et Petrographica Acta*, Bologna, v. 42, p. 71-82, 1991.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da uréia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.403-408, 1992.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.10, p.37-43, 1986.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G.; SOEST, P.J. van.; SNIFFEN, C.J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets - I: ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, v.70, p.3551-3561, 1992.
- SOCA, M. (1991) "Utilización de Zeolitas Naturales en diferentes suelos y cultivos, como vía para incrementar la eficiencia de los fertilizantes minerales". Memorias Zeolitas'91. 3rd International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites, La Habana, p 126.
- STEWART, B. A. *Soil conditioners*. Madison: Soil Science Society of America. 1975. 186 p. (Special Publication, n. 7).
- SVISERO, D.P., ANACLETO, R. Zeólitas e minerais associados da Pedreira Brasil. Município de Campinas. *Gemologia*, São Paulo, v. 20, n. 40, p. 13-14, 1974.
- TAYLOR, K.; GRAHAM, R.; REVIN, J. Laumontite in soils of the San Gabriel mountains, California. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.54, p.1483-1489, 1990.
- TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. Accounting for the effects of a ruminal nitrogen deficiency within the structure of the Cornell net carbohydrate and protein system. *Journal of Animal Science*, v.78, p.1648-1658, 2000.
- TUNG-MING, L.; DENNIS, D. Controlled and renewable release of phosphorus in soils from mixtures of phosphate rock and NH₄-enriched clinoptilolite. *Zeolites*, v.6, p.129-132, 1986.
- VALENTE, S.; BURRIESCI, N.; CAVALLARO, S. GALVAGNO, S. ZIPELLI, C. Utilization of zeolite as soil conditioner in tomato growing. *Zeolites*, v.2, n.4, p.271-274, 1986.
- VAUGHAN, D. Properties of natural zeolites. In: SAND, L., MUMPTON, F. (Ed.). *Natural Zeolites: occurrence, properties, use*. New York: Pergamon Press, 1978. p. 353-372.
- VIRTA, R. L. Zeolites. In: ESTADOS UNIDOS. U. S. Geological Survey. *2006 Minerals yearbook: metals and minerals*. 2007. Disponível em: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zeolites/zeolimybo6.pdf

WANG, F.L.; ALVA, A.K. Ammonium adsorption and desorption in sandy soils. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.64, p.1669-1674, 2000.

XIUBIN, H.; ZHANBIN, H. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resources, Conservation and Recycling*, 34:45-52. 2001.