

## Potencial do uso de zeólitas na agropecuária



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Pecuária Sudeste  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 85**

### **Potencial de uso de zeólitas na agropecuária**

Alberto C. de Campos Bernardi  
Marisa Bezerra de Mello Monte  
Paulo Renato Perdigão Paiva  
Carlos G. Werneck  
Patrick G. Haim  
José Carlos Polidoro

Embrapa Pecuária Sudeste  
São Carlos, SP  
2008

## **Embrapa Pecuária Sudeste**

Rod. Washington Luis, km 234  
Caixa Postal 339, São Carlos, SP  
Fone: (16) 3411-5600  
Fax: (16) 3361-5754  
Home page: <http://www.cppse.embrapa.br>  
Endereço eletrônico: [sac@cppse.embrapa.br](mailto:sac@cppse.embrapa.br)

## **Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Ana Rita de Araujo Nogueira  
Secretário-Executivo: Edison Beno Pott  
Membros: Maria Cristina C. Brito, Milena Ambrósio Telles,  
Sônia Borges de Alencar

Revisão de texto: Edison Beno Pott  
Normalização bibliográfica: Sônia Borges de Alencar  
Tratamento de ilustrações e capa: Maria Cristina Campanelli Brito  
Editoração eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito  
Foto(s) da capa: Alberto C. de Campos Bernardi

## **1ª edição on-line (2008)**

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

#### **Embrapa Pecuária Sudeste**

---

Bernardi, Alberto C. de Campos

Potencial de uso de zeólitas na agropecuária [Recurso eletrônico] /  
Alberto C. de Campos Bernardi et al. - Dados eletrônicos. — São Carlos:  
Embrapa Pecuária Sudeste, 2008.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacaogratis/documentos/documentos85.pdf/view>>

Título da página na Web (acesso em 30 de dezembro de 2008).

46 p. (Documentos / Embrapa Pecuária Sudeste; ISSN: 1980-6841; 85).

1. Agropecuária. 2. Zeólita. I. Bernardi, Alberto C. de Campos. II. Monte, Marisa Bezerra de M. III. Paiva, Paulo Renato P. IV. Werneck, Carlos G. V. Haim, Patrick G. V. Polidoro, José Carlos. VII. Título. VIII. Série.

CDD: 631.83

© Embrapa 2008

# Autores

## **Alberto C. de Campos Bernardi**

Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador, Embrapa  
Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.

[alberto@cppse.embrapa.br](mailto:alberto@cppse.embrapa.br)

## **Marisa Bezerra de Mello Monte**

Engenheira Química, Dra., Pesquisadora, Laboratório  
de Química de Superfície - CETEM, Rio de Janeiro, RJ

[monte@cetem.gov.br](mailto:monte@cetem.gov.br)

## **Paulo Renato Perdigão Paiva**

Engenheiro Metalúrgico, Dr., Pesquisador, Laboratório  
de Química de Superfície - CETEM, Rio de Janeiro, RJ

[ppaiva@cetem.gov.br](mailto:ppaiva@cetem.gov.br)

## **Carlos G. Werneck**

Engenheiro Agônomo, MsC., Pós-graduação em  
Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro, Seropédica, RJ.

[cgwerneck@yahoo.com.br](mailto:cgwerneck@yahoo.com.br)

## **Patrick G. Haim**

Engenheiro Agônomo, MsC., Pós-graduação em  
Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro, Seropédica, RJ.

[patrickhaim@yahoo.com.br](mailto:patrickhaim@yahoo.com.br)

## **José Carlos Polidoro**

Engenheiro Agrônomo, Dr., Pesquisador, Embrapa  
Solos, Rio de Janeiro, RJ

[polidoro@cnps.embrapa.br](mailto:polidoro@cnps.embrapa.br)

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	7
<b>Zeólitas</b> .....	9
Ocorrências geológicas .....	11
Reservas de zeólitas naturais .....	11
Custo do produto .....	12
Estimativa de consumo .....	12
<b>Utilização na agropecuária</b> .....	12
Eficiência no uso de nutrientes .....	13
Substratos enriquecidos .....	20
Zeólitas em mistura com fertilizantes .....	24
Condicionadores de solo .....	28
Descontaminação de metais pesados .....	29
Pecuária .....	30
<b>Considerações finais</b> .....	34
<b>Referências</b> .....	35

# Potencial de uso de zeólitas na agropecuária

---

*Alberto C. de Campos Bernardi*

*Marisa Bezerra de Mello Monte*

*Paulo Renato Perdigão Paiva*

*Carlos G. Werneck*

*Patrick G. Haim*

*José Carlos Polidoro*

## Introdução

Zeólitas são minerais que, em razão de suas características físicas e químicas, têm utilização muito ampla. As principais utilizações são (LUZ, 1994; REZENDE, 1997; MUMPTON, 1999):

- Agente solubilizador de apatitas para a adubação fosfática de culturas.
- Cama para animais domésticos.
- Condicionador de solos agrícolas.
- Construção civil.
- Descontaminação de metais pesados (Cu, Cr, Pb, Zn, etc.) e de isótopos radioativos (Sr<sup>90</sup>, Cs<sup>137</sup>, etc.).
- Descontaminação de micotoxinas (aflatoxinas) em alimentos.
- Filtro para indústria.
- Formulação de herbicidas, inseticidas e fungicidas.
- Preservação de frutas.
- Preservação de grãos e de sementes.
- Produção de adubos organominerais.
- Produção de compostos por processos aeróbios ou anaeróbios.
- Produção de fertilizantes de liberação lenta.
- Substrato artificial para cultivo de plantas.
- Suplemento na alimentação animal.
- Tratamento de água para consumo humano e animal.
- Tratamento de águas contaminadas.
- Tratamento de esterco e de resíduos orgânicos.
- Tratamento médico.

Neste documento são apresentadas as principais características e as principais propriedades de zeólitas naturais, com ênfase especial no uso desses minerais na agropecuária. São descritos mecanismos que possibilitam o aumento da eficiência de utilização de insumos associados a esses minerais, bem como sua utilização como condicionadores e descontaminantes. Vários resultados de estudos realizados no Brasil com zeólita nacional são mostrados.

Esses estudos tiveram início em 2002, com o projeto “Inovação tecnológica no uso de minerais industriais na agricultura”, financiado pelo Fundo Setorial Mineral do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), administrado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) do Ministério da Ciência e Tecnologia. Os resultados do projeto proporcionaram diversas publicações técnicas e técnico-científicas, além do depósito do pedido da patente “Composição mineral zeolítica, processos de modificação e utilização” (INPI nº 220401541026 em 24/junho/2005).

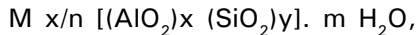
Em seguida, em 2004, foi elaborado o projeto “Zeólita no aumento da eficiência do uso do nitrogênio da uréia”, o qual foi financiado pelo convênio Embrapa–Petrobras e gerou publicações técnicas e técnico-científicas e uma dissertação de mestrado na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Houve ainda um projeto com recursos financeiros da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, intitulado “Contribuições para os efeitos ambientais provocados pelo uso intensivo de fertilizantes”.

Atualmente estão em andamento os projetos “Bases tecnológicas para a produção de fertilizantes nitrogenados de maior eficiência agrônômica a partir da adição de zeólitas”, com financiamento da Rede Brasil de Tecnologia, e “Formulação de fertilizantes solúveis com aluminossilicatos naturais”, com financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Esta publicação sistematiza o trabalho do grupo de pesquisa multidisciplinar que vem atuando desde 2002 e indica algumas diretrizes de pesquisa, que podem ser abordadas futuramente.

## Zeólitas

As zeólitas são aluminossilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalino-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas, formadas por tetraedros de  $\text{AlO}_4$  e  $\text{SiO}_4$ , de constituição  $\text{TO}_4$  (T = Si, Al, B, Ge, Fe, P, Co, etc.), ligados entre si por meio de átomos de oxigênio (LUZ, 1994; LUNA e SCHUCHARDT, 2001). Nas zeólitas mais comuns, T na fórmula  $\text{TO}_4$  representa o Si ou o Al. A fórmula química por célula unitária é:



em que **M** é o cátion de valência **n**, **m** é o número de moléculas de água e **x** e **y** são o número de tetraedros por célula unitária.

Em consequência especialmente da carga trivalente do alumínio, os tetraedros formados por  $\text{AlO}_4$  induzem cargas negativas na estrutura das zeólitas. Esses silicatos são catalisadores eficientes, porque a aproximação forçada entre moléculas reagentes, sob a influência dos fortes potenciais eletrostáticos existentes no interior dos canais e das cavidades, provoca o abaixamento da energia de ativação necessário ao fenômeno da catálise (LUZ, 1994; LUNA e SCHUCHARDT, 2001).

Esses aluminossilicatos cristalinos compõem um grupo com cerca de 50 tipos de zeólitas de ocorrência natural. Os anéis de tetraedros de  $\text{AlO}_4$  e  $\text{SiO}_4$ , ao se unirem, compõem um sistema de canais, de cavidades e de poros. A carga negativa do arranjo aniônico de Al, de  $\text{O}_2$  e de Si se compensa com cátions trocáveis, como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Ba}^{+2}$ , o quais ocupam sítios específicos nas cavidades e nos canais do concentrado zeolítico. A estrutura tridimensional na forma de canais e de cavidades interconectadas confere aos concentrados zeolíticos características e propriedades vantajosas, tais 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 de vapores, e propriedades catalíticas (VAUGHAN, 1978; MING e MUMPTON, 1989). A Tabela 1 ilustra essas características de algumas zeólitas.



**Tabela 1.** Fórmulas e propriedades de algumas espécies de zeólita.

Zeólita	Fórmula	Volume vazio* (%)	Dimensão dos canais (Å)	Estabilidade térmica	CTC** (meq.g <sup>-1</sup> )
Analcima	Na <sub>16</sub> (Al <sub>16</sub> Si <sub>32</sub> O <sub>96</sub> ).122H <sub>2</sub> O	18	2,6	Alta	4,54
Chabazita	(Na <sub>2</sub> ,Ca) <sub>6</sub> (Al <sub>12</sub> Si <sub>24</sub> O <sub>72</sub> ).40H <sub>2</sub> O	47	3,7 X 4,2	Alta	3,81
Clinoptilolita	(Na <sub>4</sub> K <sub>4</sub> )(Al <sub>8</sub> Si <sub>40</sub> O <sub>96</sub> ).24H <sub>2</sub> O	39	3,9 x 5,4	Alta	2,54
Erionita	(Na,Ca <sub>5</sub> ,K) <sub>8</sub> (Al <sub>9</sub> Si <sub>27</sub> O <sub>72</sub> ).27H <sub>2</sub> O	35	3,6 X 5,2	Alta	3,12
Faujasita	Na <sub>58</sub> (Al <sub>58</sub> Si <sub>134</sub> O <sub>384</sub> ).27H <sub>2</sub> O	47	7,4	Baixa	3,39
Ferrierita	(Na <sub>2</sub> Mg <sub>2</sub> )(Al <sub>6</sub> Si <sub>30</sub> O <sub>72</sub> ).18H <sub>2</sub> O	39	4,3 x 5,5 3,4 X 4,8	Baixa	2,33
Heulandita	Ca <sub>3</sub> (Al <sub>6</sub> Si <sub>28</sub> O <sub>72</sub> ).24H <sub>2</sub> O	28	4,0 x 5,5 4,4 X 7,2 4,1 x 4,7	Alta	2,91
Laumontita	Ca <sub>4</sub> (Al <sub>8</sub> Si <sub>16</sub> O <sub>48</sub> ).16H <sub>2</sub> O	31	4,6 X 6 , 3	Baixa	4,25
Mordenita	Na <sub>8</sub> (Al <sub>6</sub> Si <sub>40</sub> O <sub>96</sub> ).24H <sub>2</sub> O	47	2,9 X 5,7 6,7 X 7,0	Alta	2,29
Phillipsita	(Na,K) <sub>10</sub> (Al <sub>10</sub> Si <sub>22</sub> O <sub>64</sub> ).20H <sub>2</sub> O	50	4,2 X 4,4 2,8 X 4,8 3,3	Alta	3,87
Estilbita	(CaO) <sub>0,82</sub> (Na <sub>2</sub> O) <sub>0,19</sub> (K <sub>2</sub> O) <sub>0,15</sub> (MgO) <sub>0,56</sub> (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>0,30</sub> (TiO <sub>2</sub> ) <sub>0,11</sub> (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>1,85</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>4,7</sub>				2,5

\*Determinado pelo conteúdo de água. \*\* Capacidade de troca catiônica.

Esses minerais caracterizam-se pela facilidade de reter e de liberar água e de trocar cátions sem modificar sua estrutura (KITHOME et al., 1999; MUMPTON, 1999;). Essa estrutura apresenta propriedades de adsorção e capacidade de troca de íons, e proporciona seu uso potencial, seja no campo seja em cultivo com substratos (HARLAND et al., 1999). Das espécies de zeólitas naturais existentes, a clinoptilolita aparentemente é a mais abundante, tanto nos solos como nos sedimentos (MING e DIXON, 1987).

A clinoptilolita foi utilizada com sucesso na retenção de amônio (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 para essa função (MNKENI et al., 1994). A erionita e a laumontita são consideradas menos eficientes para esses usos (MACKOWN e TUCKER, 1985; TAYLOR et al., 1990).

## Ocorrências geológicas

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

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

## Reservas de zeólitas naturais

As estimativas do *United States Geological Survey* são de que a produção anual mundial de zeólitas naturais esteja entre 2,5 e 3 milhões de toneladas (VIRTA, 2007). Esses dados são baseados em relatos de alguns países produtores, tais como China (de 1,75 a 2,25 milhões de toneladas), Japão (140 a 160 mil toneladas), Coréia do Sul (175 mil toneladas), Estados Unidos (65 mil toneladas) e Cuba (35 a 45 mil toneladas). As zeólitas naturais mais exploradas no mundo são clinoptilolita, mordenita, heulandita e phillipsita.

No Brasil, não se tem notícia de exploração comercial de depósitos naturais de zeólitas. Existem apenas alguns estudos sobre ocorrência, os quais entretanto não apresentaram a análise de aproveitamento econômico (LUZ, 1994). Os basaltos e os diabásios da bacia do Paraná são muitas vezes portadores de vários tipos de zeólita (analcima, chabazita, thomsonita, clinoptilolita, natrolita, escolecita, mesolita, laumontita, estilbita, estelerita e heulandita). Nos basaltos, esses minerais ocorrem em cavidades, enquanto nos diabásios se localizam nas zonas de cisalhamento (FRANCO, 1952). Murata (1987) estudou a possibilidade de definir, em profundidade, um zoneamento das espécies de zeólita, nas pilhas de lava da bacia do Paraná. As primeiras ocorrências de zeólita no Nordeste foram noticiadas por Bhaskara Rao e Silva, (1963), que identificaram chabazita, heulandita, estilbita e mordenita nas drusas e nas cavidades da zona de contato dos tactitos e dos micaxistos em Currais Novos, RN. Em amostras coletadas nas

fraturas do diabásio, no município de Campinas, SP, foram identificadas 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) e a forma predominante é a estilbita.

### **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 de produtos de granulometria mais grosseira (abaixo de 40 *mesh*) e de 50 a 120 dólares por tonelada de produtos mais finamente moídos (40 a 325 *mesh*). Nos produtos usados em controle de odores ou em piscicultura, os preços variaram de 0,50 a 4,50 dólares por quilograma. Esses dados econômicos reforçam a idéia do potencial de exploração de zeólitas no Brasil.

### **Estimativa de consumo**

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

## **Utilização na agropecuária**

As três propriedades principais desses minerais, que são a alta capacidade de troca de cátions, a 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. Podem ocorrer variações nas suas propriedades químicas e físicas e conseqüentemente nas possibilidades de uso agrícola ou pecuário.

## Eficiência do uso de nutrientes

A zeólita pode atuar na melhoria da eficiência do uso de nutrientes na agricultura, por meio do aumento da disponibilidade de P da rocha fosfática, do melhor aproveitamento do N (amônio –  $\text{NH}_4^+$  e nitrato –  $\text{NO}_3^-$ ) e da redução das perdas por lixiviação dos cátions trocáveis (em especial o  $\text{K}^+$ ). 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 (BARBARICK et al., 1990; NOTARIO-DEL-PINO et al., 1994; ALLEN et al., 1995; HARLAND et al., 1999; GÜL et al., 2005).

**Diminuição das perdas de nitrogênio.** Existem múltiplos processos que interferem na complexa dinâmica do N no solo, tais como lixiviação, volatilização, imobilização–mobilização, nitrificação, desnitrificação, e mineralização. Esses processos podem ocasionar grandes modificações na disponibilidade e na necessidade desse nutriente para as plantas. Por isso, o conhecimento e a quantificação das formas de perdas do fertilizante nitrogenado aplicado ao solo são essenciais para estabelecer estratégias que visem a aumentar a eficiência de uso e a minimizar seu impacto ambiental. As perdas podem ocorrer por meio de erosão, de lixiviação do nitrato, de volatilização da amônia ( $\text{NH}_3$ ) ou de desnitrificação.

A perda de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  para a atmosfera é um dos principais fatores responsáveis pela baixa eficiência da uréia aplicada na 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 presentes no solo ou oriundos 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  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  e água. Parte do N da  $\text{NH}_3$  formada reage com íons  $\text{H}^+$  da solução do solo e com íons  $\text{H}^+$  dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion  $\text{NH}_4^+$ . Entretanto, a neutralização da acidez potencial determina a elevação do pH, que pode atingir valores acima de 7,0 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 na 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, do tipo de zeólita à uréia. Já a adição de 25% e de 100% de zeólita reduziram as perdas para 20% e 16%, respectivamente (Tabela 2). A porcentagem de perda de N em todos os tratamentos foi menor do que a geralmente encontrada em condições de campo, com aplicação de uréia na superfície e sem incorporação ao solo (LARA CABEZAS e TRIVELIN, 1990; LARA CABEZAS et al., 1997; COSTA et al., 2003). Werneck et al. (2008b) também observaram redução das perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização na aplicação da mistura de zeólita com uréia em área de produção comercial de flores de corte em Nova Friburgo, RJ.

Os resultados obtidos em experimentos realizados em Cuba são um indicativo positivo para combinação do uso de zeólitas e uréia. Crespo (1989) mostrou, em vasos, que 180 g de zeólita (70% de clinoptilolita) aumentaram em torno de 130% a eficiência do uso e da extração de nitrogênio e a produção da matéria seca de *Brachiaria decumbens*. Na cultura do pepino, a adição de 25% de zeólita à formulação 6,3:9:12 de N, P e K (aplicada na dose de 745  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) resultou nos maiores frutos (CARRION et al., 1994). O efeito da zeólita está relacionada ao tipo de solo; assim, doses maiores foram necessárias para se obter aumento 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). Esses autores também mostraram que foi possível triplicar a produtividade da cana-de-açúcar com o uso de 6  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de zeólita na linha de plantio em um Oxisol.

Existem trabalhos que descrevem resultados positivos com a utilização de zeólitas no cobrimento dos grânulos de uréia. Carrion et al. (1994) relataram resultados obtidos em uma série de experimentos com utilização associada de zeólita (31,5% de clinoptilolita e 56% de mordenita) e uréia. A aplicação de 150 kg.ha<sup>-1</sup> de N, na forma de uréia recoberta com 5% a 10% de zeólita (granulometria de 1 mm) aumentou a produtividade da cultura de arroz e do tomateiro, além de melhorar a qualidade dos frutos de tomate, comparada à aplicação apenas de uréia.

Resultados obtidos no Brasil, com a estilbita, também apontam efeitos benéficos da mistura. Bernardi et al. (2007a) avaliaram o efeito da mistura de zeólita à uréia na adubação em cobertura do milho para silagem sobre a produção de matéria seca. Os melhores resultados (14,6 e 16,5 t.ha<sup>-1</sup>) foram obtidos com as doses de 164 e de 200 kg.ha<sup>-1</sup> de N em mistura com 25% (m/m) de zeólita natural e de zeólita concentrada, respectivamente. Estes valores foram 12% e 27% maiores do que a melhor produção obtida com a testemunha (13 t.ha<sup>-1</sup>), sem adição de zeólita. Nas demais proporções de zeólita testadas (50% e 100%), os aumentos foram menos intensos, estando na ordem de 5% a 7% e de 10% a 12% com a zeólita natural e a zeólita concentrada, respectivamente (Fig. 1). Werneck et al. (2008a) mostraram o aumento da eficiência agrônômica da mistura de zeólita com uréia em área de produção comercial de flores de corte em Nova Friburgo, RJ. A mistura (zeólita + uréia) proporcionou maiores quantidades de hastes de rosas e de N no sistema solo-planta, liberando o nutriente lentamente para a solução do solo, em sincronia com as demandas nutricionais das plantas.

Existem estudos que mostram também que a zeólita ao adsorver o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pode contribuir para reduzir perdas de amônio do solo. Mackown e Tucker (1985) verificaram que a associação de clinoptilolita e NH<sub>4</sub> diminuiu a nitrificação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em até 11%. A diminuição foi resultado da retenção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pela clinoptilolita em locais onde as bactérias nitrificantes não podiam oxidar o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

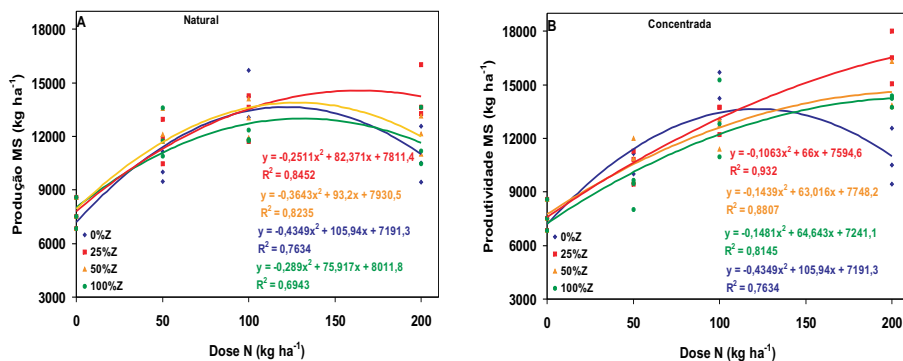
**Tabela 2.** Quantidade de nitrogênio volatilizado e porcentagem de perdas, 22 dias após da aplicação de uréia em Latossolo Vermelho-Amarelo.

Tratamento	N volatilizado (mg por vaso)	Perdas (%)
Uréia	64,8 a <sup>2</sup>	25,4 a
Uréia mais 12,5% de zeólita <sup>1</sup>	61,4 a	24,1 a
Uréia mais 25% de zeólita	51,1 ab	20,1 ab
Uréia mais 50% de zeólita	59,9 a	23,5 a
Uréia mais 100% de zeólita	41,3 b	16,2 b
Média	55,7	21,9
Coefficiente de variação (%)	14,4	14,4

<sup>1</sup> Mistura de uréia com zeólita (massa/massa).

<sup>2</sup> Médias na mesma coluna seguidas por letras distintas diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Fonte: Alves et al. (2007).



**Fig. 1.** Produção de matéria seca (MS) de milho colhido para silagem em função de doses de nitrogênio, na forma de uréia, e de proporções de zeólita natural – A (470 g.kg<sup>-1</sup> de estilbita) e concentrada – B (650 g.kg<sup>-1</sup> de estilbita).

Fonte: Bernardi et al. (2007a).

**Solubilização da rocha fosfática.** Os fosfatos solúveis em água são as melhores fontes de adubos fosfatados, porém, eles atingem custo mais elevado do que as fontes pouco solúveis, tais como os fosfatos de rocha (RAIJ et al., 1992). Existem os fosfatos de rocha nacionais, que têm menor preço, mas, por serem de baixa eficiência agrônômica em relação às fontes solúveis, não são aceitos pelos produtores.

A eficiência dos fosfatos naturais aumenta com o passar do tempo, em decorrência do acréscimo em sua solubilização, mas eles necessitam de certa acidez e de contato com o solo para que essa solubilização ocorra. Isso sugere que deve haver incorporação ao solo e certo período de incubação, para haver utilização pelas plantas.

Considerando que a adubação fosfatada é essencial no aumento da produtividade agrícola e que seu uso está relacionado a maior custo de produção das explorações agrícolas, torna-se necessário aprimorar técnicas e conhecimentos, tais como a utilização de zeólitas modificadas com rocha fosfática, para aumentar a eficiência do uso desses fertilizantes.

As zeólitas modificadas por diferentes vias por meio da troca com cátions monovalentes (como  $H^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$  e  $Na^+$ ) podem solubilizar o fósforo da rocha fosfática (BARBARICK et al., 1990; ALLEN et al., 1993; ALLEN et al., 1995; PICKERING et al., 2002). Os resultados de Tung-Ming e Dennis (1986) mostrados na Tabela 3 indicam que a solubilização do fósforo contida nas rochas fosfatadas com o uso de zeólita + cátions de amônio ou de sódio foi três vezes superior à da zeólita natural, e a forma ácida significativamente superior às outras formas.



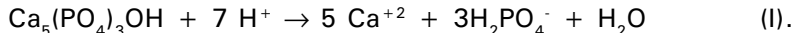
**Tabela 3.** Solubilização de fósforo em função dos cátions presentes no mineral zeolítico.

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

Fonte: Tung-Ming e Dennis (1986).

Existem vários mecanismos que podem explicar esses resultados. São eles:

- a) A diluição da hidroxiapatita no solo (MARCILLE-KERSLAKE e VAN STRAATER, 1991) depende da acidez do solo e da reatividade do fosfato, e é expressa pela reação

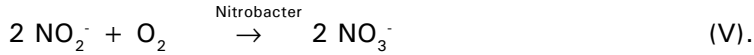
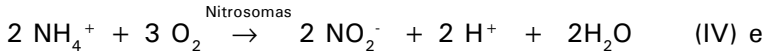


Segundo a lei de ação de massas, um aumento na concentração de Ca<sup>+2</sup> diminuirá a velocidade de solubilização da rocha fosfórica e também a liberação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> às plantas. A presença de zeólita possibilita a retenção de Ca<sup>+2</sup>, e a conseqüente diminuição da concentração do cátion Ca<sup>+2</sup> no sistema favorece a solubilização da rocha fosfórica, mediante a reação



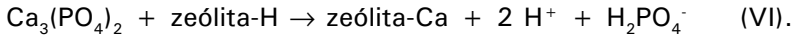
- b) No caso de uma zeólita amônica (BARBARICK et al., 1990), a troca de íons NH<sub>4</sub><sup>+</sup> com o solo pode induzir um processo de nitrificação, como nas seguintes reações:



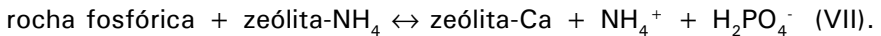


O aumento de íons  $\text{H}^+$  no solo causado pelas reações (II) e (IV) pode favorecer a melhoria da solubilidade dos fosfatos naturais, como na equação (I).

- c) Uma zeólita ácida ( $\text{H}^+$ ) influi (TUNG-MING e DENNIS, 1986) em dois sentidos na solubilidade do  $\text{P}_2\text{O}_5$ , então uma primeira opção é que os íons  $\text{H}^+$  trocados podem diminuir o pH do solo e favorecer a equação (I). Uma segunda opção é que a zeólita capte os íons  $\text{Ca}^{+2}$ , segundo a equação



- d) Existe ainda o modelo de liberação de fósforo baseado na dissolução e nas trocas induzidas proposto por Allen et al. (1993). Esse modelo pode ser resumido pela equação



Neste modelo, o  $\text{NH}_4^+$  liberado para a solução do solo é absorvido pelas raízes, induzindo novas liberações de  $\text{NH}_4^+$  do complexo de troca. Os sítios de troca vazios são ocupados por  $\text{Ca}^{2+}$ , o que induz à dissolução da rocha fosfórica e libera o P para a solução. Dessa forma, a liberação de fósforo ocorrerá em taxas determinadas pela velocidade de absorção de  $\text{NH}_4^+$  nas plantas, cujo crescimento será aumentado com a maior disponibilidade de fósforo no meio de cultivo.

Notario-Del-Pino et al. (1994), em experimento com alfafa, compararam o fornecimento de fósforo e de potássio (na forma de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ) por meio da zeólita (phillipsita) e confirmaram o aumento dos

teores desses nutrientes nas plantas. Pickering et al. (2002) observaram aumento na absorção de fósforo em plantas de girassol cultivadas em substrato adicionado de zeólita em mistura com rocha fosfática. Bernardi et al. (2004a) também obtiveram resultados que evidenciam a alta disponibilidade do fósforo no substrato que recebeu a zeólita em mistura com apatita.

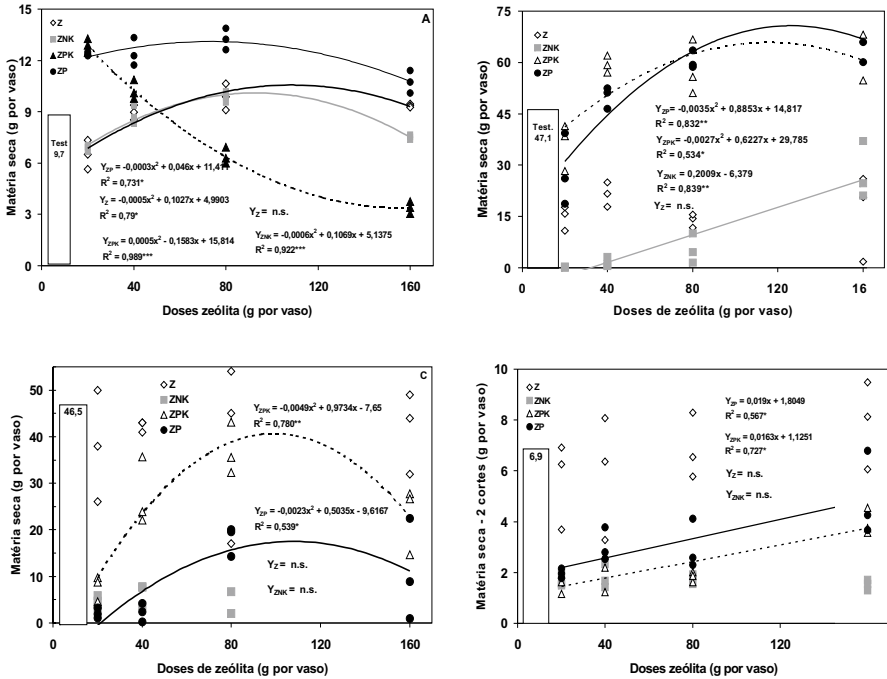
## Substratos enriquecidos

Para aumentar a produção vegetal, surgiram novos sistemas de cultivo, alternativos ao sistema tradicional no 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, esse 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 de tomate (VALENTE et al., 1986).

Bernardi et al. (2004a) avaliaram o efeito de zeólitas enriquecidas com N, P e K no substrato de cultivo sobre a produção e a extração de nutrientes pelas culturas de alface, de tomate, de arroz e de uma forrageira – capim-andropogon (*Andropogon gayanus*). A zeólita natural estilbita foi concentrada e enriquecida. Os tratamentos foram cinco tipos de zeólitas enriquecidas: zeólita concentrada, zeólita +  $\text{KNO}_3$ , zeólita +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , zeólita +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  + apatita, e zeólita +  $\text{KNO}_3$  +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , além de um tratamento testemunha sem adição de zeólita cultivado com solução nutritiva. Utilizaram-se quatro níveis de zeólita enriquecida: 20, 40, 80 e 160 g por vaso. Os resultados (Fig. 2) indicaram que o fornecimento de nutrientes por meio da zeólita enriquecida com N, P e K comprovou ser uma alternativa viável

para a obtenção de plantas no sistema zeopônico. Também mostraram que os concentrados zeolíticos enriquecidos funcionaram adequadamente como fonte de nutrientes de liberação lenta. Os efeitos dos tratamentos sobre a produção de matéria seca total pelos quatro cultivos sucessivos foram os seguintes: zeólita +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  > zeólita +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  + apatita > zeólita concentrada > zeólita +  $\text{KNO}_3$  > zeólita +  $\text{KNO}_3$  +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .



**Fig. 2.** Produção de matéria seca de alfaca (A), de tomate (B), de arroz (C) e de capim-andropogon (dois cortes – D), cultivados em substrato com concentrado zeolítico e adição de N, P e K. A barra indica o valor médio da testemunha.

Z = zeólita concentrada, ZP = zeólita +  $\text{H}_3\text{PO}_4$  + apatita, ZNK = zeólita +  $\text{KNO}_3$ , ZPK = zeólita +  $\text{KNO}_3$  +  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

Fonte: Adaptado de Bernardi et al. (2004a).

No entanto, não bastam alternativas viáveis para o aumento quantitativo da produção, pois os consumidores têm se tornado mais exigentes, havendo necessidade de se obter principalmente produtos de qualidade. No caso das hortaliças, como a alface, utilizada nesse estudo, 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 ocorre porque a cor caracteriza sobremaneira a qualidade do produto, constituindo-se no primeiro critério para sua aceitação ou para sua rejeição. Por isso, Bernardi et al. (2005) avaliaram a qualidade visual de plantas de alface por meio de um teste de preferência com 53 provadores. Os resultados desse teste (Tabela 4) indicaram que a alface preferida foi a testemunha, cujos nutrientes foram fornecidos em quantidades adequadas mediante solução nutritiva, e aquela obtida no substrato com zeólita + apatita, na dose de 80 g por vaso. Os outros tratamentos de zeólita + apatita (160, 40 e 20 g por vaso), de zeólita +  $\text{KNO}_3$  (80 e 20 g por vaso) também obtiveram alta preferência de compra pelos provadores. Em outro trabalho, Bernardi et al. (2007b) avaliaram a qualidade dos frutos da variedade Finestra de tomateiro, cultivada em substrato com zeólita enriquecida com N, P e K, e observaram que houve efeito positivo da zeólita enriquecida 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 5).

A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) norte-americana está desenvolvendo sistemas que permitam cultivar plantas no espaço baseados na utilização de substratos resultantes da mistura de clinoptilolita e apatita (MING et al., 1995). Esse substrato zeopônico, que consiste de clinoptilolita enriquecida com  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{K}^+$  e apatita sintética, fornece os nutrientes essenciais para o crescimento vegetal por meio da dissolução e da troca iônica, apenas com a adição de água (ALLEN et al., 1993).

**Tabela 4.** Somatório das notas preferência de compra atribuídas por provadores a alface cultivada em substrato com zeólita enriquecida\*.

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

Z = zeólita concentrada, ZP = zeólita +  $H_3PO_4$  + apatita, ZNK = zeólita +  $KNO_3$ , ZPK = zeólita +  $KNO_3$  +  $KH_2PO_4$ .

Valores seguidos de letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Friedman. Diferença mínima = 112.

\* Os valores menores indicam maior preferência.

Fonte: Bernardi et al. (2005).

**Tabela 5.** Produção e variáveis de qualidade de frutos da variedade Finestra de tomateiro cultivada em substrato com zeólita.

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

Z = zeólita concentrada, ZP = zeólita +  $H_3PO_4$  + apatita, ZNK = zeólita +  $KNO_3$ , ZPK = zeólita +  $KNO_3$  +  $KH_2PO_4$ .

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

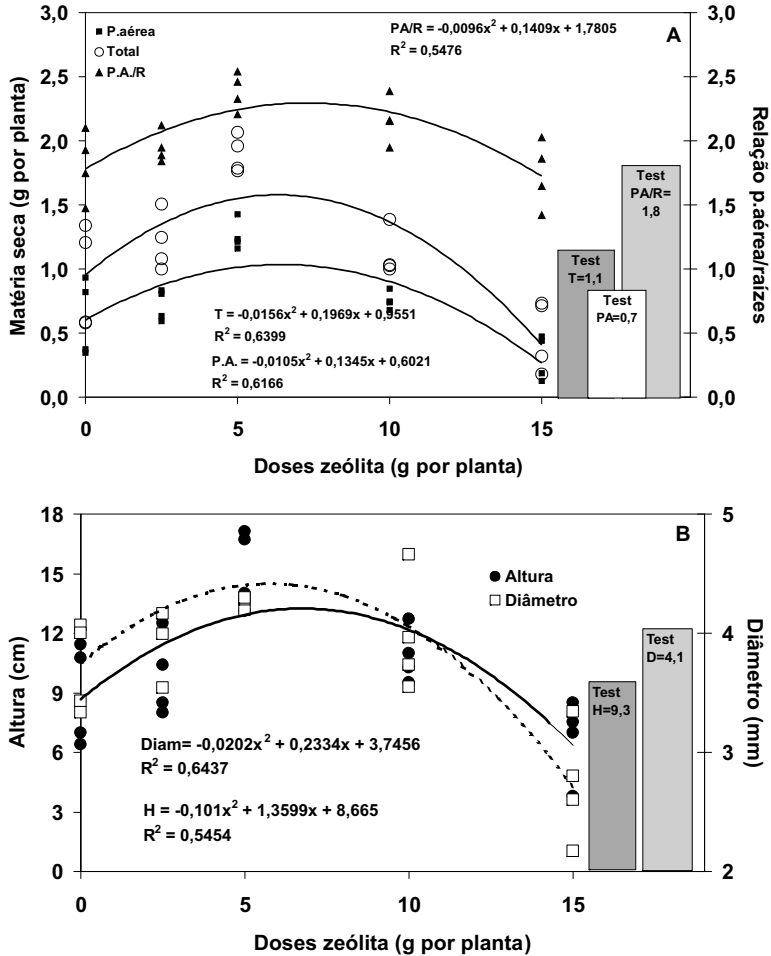
<sup>(1)</sup> Concentração de ácido ascórbico com base na matéria fresca (mg.100 g<sup>-1</sup>).

Fonte: Bernardi et al. (2007b).

O sistema de produção de mudas de citros em ambiente protegido com utilização de substratos visa a melhorar as condições fitossanitárias, a promover crescimento mais intenso e a padronizar o processo de formação dos porta-enxertos e das mudas. Nesse sistema ocorre crescimento intenso das plantas em curto espaço de tempo e em volume reduzido de substrato 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 das mudas em recipientes pode ser por meio de fertirrigação, de aplicação em cobertura ou de aplicação foliar, e também pelo pré-enriquecimento do substrato (o qual inclui os fertilizantes de liberação lenta). A adição de zeólita ao substrato de cultivo funciona como um sistema de liberação lenta, controlada e renovável de nutrientes para as plantas. Bernardi et al. (2008) avaliaram o efeito da adição de um concentrado zeolítico enriquecido com N, P e K ao substrato de cultivo sobre o crescimento do limão-cravo até os 90 dias. Os resultados (Fig. 3) indicaram que a adição de 6,2 g desse concentrado (70% de zeólita natural com  $\text{KNO}_3$  e 30% de zeólita natural acidificada em mistura com apatita) aumentou significativamente as produções de matéria seca de folhas, de caule e de raízes e de matéria seca total, e também a altura e o diâmetro do caule.

### **Zeólita em mistura com fertilizantes**

As zeólitas adicionadas aos fertilizantes podem funcionar no aumento da retenção de nutrientes e ainda melhorar a qualidade do solo por meio desse incremento da capacidade de retenção. Isto acontece com relação a macronutrientes primários, como N e K, macronutrientes secundários, como Ca e Mg, e também micronutrientes. A presença desse mineral aumenta a retenção de nutrientes na zona radicular, para utilização pelas plantas no momento mais necessário. Conseqüentemente, isso melhora a eficiência do uso de fertilizantes, pois reduz as perdas por lixiviação, especialmente de N e de K, e também intensifica o crescimento (FLANIGEN e MUMPTON, 1981; MUMPTON, 1999).



**Fig. 3.** Produção de matéria seca pela parte aérea, produção de matéria seca total e razão entre parte aérea e raízes e altura e diâmetro do caule, (B) do porta-enxerto de limão-cravo aos 93 dias de cultivo, em função de doses de concentrado zeolítico enriquecido com N, P e K. As barras indicam os valores médios da testemunha.

Fonte: Bernardi et al. (2008).



**Tabela 6.** Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar e análise econômica em função da dose de fertilizantes químicos e de zeólita.

Tratamentos	Produtividade (t.ha <sup>-1</sup> )	Brix	Custo	Receita	Lucro
			(US\$ por ha)		
313 kg.ha <sup>-1</sup> de NPK 15:15:15	66,7 ab	23,7	596,5	845,2	248,7
625 kg.ha <sup>-1</sup> de NPK 15:15:15	76,2 cde	23,3	655,1	966,3	311,2
Zeólita, 125 kg.ha <sup>-1</sup>	58,8 ab	23,3	569,1	745,3	176,2
Zeólita, 250 kg.ha <sup>-1</sup>	64,4 abc	24,3	600,4	816,3	215,9
313 kg.ha <sup>-1</sup> de NPK 15:15:15 + zeólita, 125 kg.ha <sup>-1</sup>	66,5 bc	23,7	627,7	842,3	214,6
313 kg.ha <sup>-1</sup> de NPK 15:15:15 + zeólita, 250 kg.ha <sup>-1</sup>	70,6 bcd	24,0	659,0	895,5	286,5
625 kg.ha <sup>-1</sup> de NPK 15:15:15 + zeólita, 125 kg.ha <sup>-1</sup>	81,3 de	23,3	686,3	1028,8	342,4
625 kg.ha <sup>-1</sup> de NPK 15:15:15 + zeólita, 250 kg.ha <sup>-1</sup>	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 7.** Efeito de aplicações de zeólita sobre o rendimento agrícola da cana-de-açúcar.

Zeólita aplicada (t.ha <sup>-1</sup> )	Pol (%)	Rendimentos (t.ha <sup>-1</sup> )	
		Cana (colmo)	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).

Resultados obtidos por Junrungreang et al. (2002) na Tailândia com cana-de-açúcar indicaram os efeitos benéficos da mistura de zeólita ao fertilizante químico, uma vez que esses tratamentos aumentaram significativamente a produtividade. Houve também retorno econômico positivo da utilização do mineral (Tabela 6). Os resultados de Fuente-Crespo (1998) com doses maiores de zeólita mostraram que o uso desse mineral possibilitou o aumento do rendimento da cana-de-açúcar (Tabela 7).

Cantera-Oceguera (2002) utilizou 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 de N, P e K, sem afetar o rendimento agrícola (Fig. 4). Os resultados indicaram ainda que houve diminuição de 20% a 36% no custo da adubação. Como pode ser observado na Tabela 8, a adição de 25% de zeólita natural ao fertilizante granulado aumentou o rendimento agrícola em média em 25,8% nos cultivos avaliados, alcançando-se a melhora na eficácia de utilização dos fertilizantes minerais de 41%, o que indica a possibilidade de economizar fertilizantes minerais com a adição da zeólita. Marcille-Kerslake e van Straater (1991) e Soca (1991) encontraram resultados que confirmam essas observações.

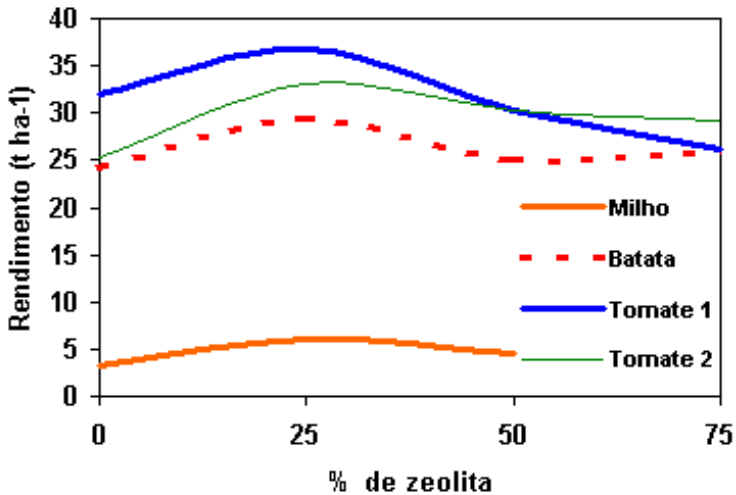


Fig. 4. Variação no rendimento agrícola de tomate, de milho e de batata em função da porcentagem de zeólita na fórmula 8:9:14 de N, P e K.

Fonte: Cantera-Oceguera (2002).

**Tabela 8.** Análise comparativa da eficácia de fertilizante granulado com 25% de zeólita.

Cultivo	Fórmula	Dose (kg.ha <sup>-1</sup> )	NPK (kg.ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (t.ha <sup>-1</sup> )	Incremento (%)	NPK (kg.t <sup>-1</sup> )	Eficiência (%)
Feijão-preto	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-fradinho ( <i>Vigna unguiculata</i> )	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).

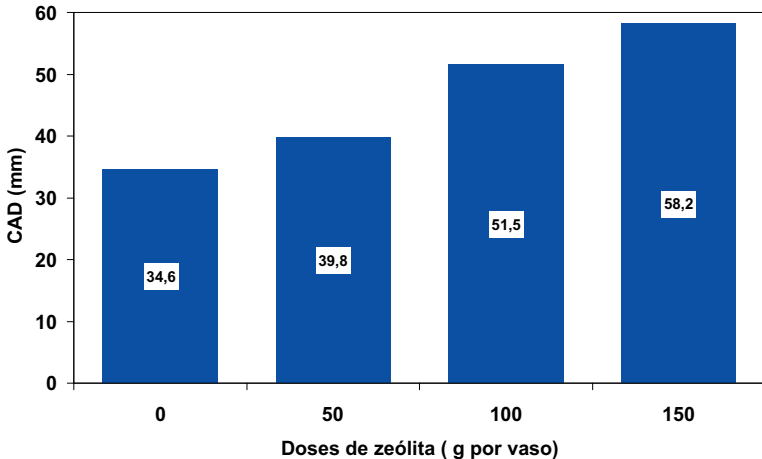
## Condicionadores de solo

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

Esses produtos são capazes de reter grande quantidade de água, mas é necessário testá-los em diferentes culturas e em diferentes condições edafoclimáticas, para se definir as quantidades e as 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 atuar na melhoria da eficiência do uso da água por meio do aumento da capacidade de retenção de água do solo e também do aumento da disponibilidade da água às espécies vegetais (MALOUPA et al., 1992; XIUBIN e ZHANBIN, 2001). Issa et al. (2001) observaram que a mais alta produtividade de gérberas foi obtida quando utilizaram substratos de cultivo com mistura de zeólita e perlita (1:1). Esses autores destacaram

que o rendimento positivo nesse substrato foi devido à presença da zeólita, que conferiu alta capacidade de troca de cátions e capacidade de reter e de disponibilizar nutrientes, além da possibilidade de melhorar o manejo de água. Bernardi et al. (2004b) avaliaram o efeito de doses de um concentrado de zeólita sobre a capacidade de retenção de água de um Neossolo Quartzarênico. Os resultados (Fig. 5) indicaram que com o uso do concentrado zeolítico foi possível aumentar a retenção de água do solo em estudo e que essa água estava retida com baixa tensão. Houve aumentos de 10%, 38% e 67% na capacidade de água disponível em relação à testemunha, respectivamente, com a adição das doses de 3,3%, 6,7% e 10% de zeólita ao solo.



**Fig. 5.** Capacidade de água disponível (CAD) de um Neossolo Quartzarênico com adição de concentrado zeolítico, calculada para a profundidade de 20 cm, com base nas equações das curvas de retenção de água.

Adaptado de Bernardi et al. (2004b).

## Descontaminação de metais pesados

Os métodos para remediação de solos contaminados com metais pesados, tais como cobre, cádmio, chumbo, mercúrio e zinco, têm recentemente se tornado uma preocupação para a agricultura, em razão do aumento da demanda pela incorporação desses solos no

processo produtivo. No caso de solos com contaminações mais baixas de metais pesados, os tratamentos resumem-se na diminuição da biodisponibilidade desses metais, por meio da manipulação de certas propriedades do solo, tais como pH e Eh, e da 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; TASLIDAS et al., 1997).

## Pecuária

As características físicas e químicas das zeólitas naturais conferem a esses minerais várias possibilidades de uso na criação animal, tanto na nutrição como no tratamento de resíduos. Existem vários relatos na literatura que mostram vantagens de utilização desse mineral na dieta de aves, de suínos e de ruminantes. O uso de zeólitas na dieta (5%) possibilita o aumento da eficiência da conversão alimentar (entre 20% e 30%) e a manutenção dos mesmos ganhos de peso resultantes de dietas sem o mineral, porém com menor quantidade de alimento e de água (MUMPTON, 1999)

Uma extensa revisão sobre o papel de zeólitas naturais e de zeólitas sintéticas como aditivos nutricionais e na prevenção e/ou no tratamento de doenças de animais foi apresentada por Papaioannou et al. (2005). Alguns dos mecanismos envolvidos na melhora do desempenho animal pelo uso de zeólitas estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9.** Mecanismos envolvidos na melhora do desempenho animal com o uso de zeólitas.

Efeito	Mecanismos
Retenção de amônia	Eliminação dos efeitos tóxicos do amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) produzido pela atividade microbiológica intestinal (SHURSON et al., 1984a)
Eliminação de <i>p</i> -cresol fecal	Redução da absorção de produtos tóxicos da degradação microbiológica intestinal, como o <i>p</i> -cresol (SHURSON et al., 1984b)
Diminuição da velocidade do fluxo digestivo	Redução da taxa de passagem dos alimentos pelos intestinos e uso mais eficiente de nutrientes (OLVER, 1997)
Aumento da atividade das enzimas do pâncreas	Efeito favorável na hidrólise de alimentos em ampla faixa de pH e melhora na retenção de energia e de proteína (PARISINI et al., 1999)
Eliminação dos efeitos inibitórios das micotoxinas	Retenção e seqüestro de aflatoxinas (PARLAT et al., 1999)

Fonte: Adaptado de Papaioannou et al. (2005).

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

**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 do que a lignocelulose em ácidos graxos voláteis, 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, que pode ser agravado quando o consumo de uréia se dá em curto espaço de tempo (OWENS e ZINN, 1988).

Uma alternativa para evitar esse problema é o emprego de complexos de liberação lenta de uréia (Owens & Zinn, 1988), de modo a melhorar a velocidade de fornecimento de amônia no rúmen e aumentar a síntese de proteína microbiana, o consumo de matéria seca e a digestibilidade da fibra, e assim proporcionar 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 a síntese contínua de proteína celular (CASS et al., 1994).

Por isso, o produto resultante da uréia com zeólita pode trazer efeitos positivos na utilização desse suplemento nitrogenado para ruminantes. White e Ohlrogge (1974) foram os primeiros a descrever o efeito da retenção dos íons amônio, formados pela decomposição enzimática de compostos nitrogenados não-protéicos, na estrutura de zeólitas. Os resultados indicaram, tanto em experimentos *in vitro* como *in vivo*, que mais de 15% do  $\text{NH}_4^+$  do rúmen poderia ser retido. Hemken et al. 1984 mostraram que a suplementação de 6% de clinoptilolita na ração de vacas leiteiras que continha uréia reduziu significativamente a concentração ruminal de  $\text{NH}_3$ .

No Brasil, Parré et al. (1997) testaram a inclusão da zeólita em rações peletizadas com uréia e farelo de algodão para ovinos. Os resultados obtidos (Tabela 10) indicaram que a média da proporção consumida de zeólita e uréia de 3,3:1 não alterou os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína bruta, da fibra insolúvel em detergente neutro e da energia bruta. Esses autores concluíram que o uso da zeólita na proporção de 3% da ração que continha farelo de algodão e uréia melhorou a retenção de nitrogênio pelos animais. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Galindo et al. (1990).

Coutinho Filho et al. (2002) avaliaram a inclusão de zeólita na dieta de bezerros machos da raça Santa Gertrudis. A inclusão de 2,4% de zeólita no concentrado (1,1% na matéria seca da ração) não afetou significativamente as variáveis avaliadas, que foram, respectivamente, nos tratamentos sem e com 2,4% de zeólita: ganho de peso vivo diário de 1,35 e 1,41 kg; consumo diário de matéria seca em relação ao peso vivo de 2,53% e 2,59%; conversão alimentar de 6,03 e 5,93 kg de matéria seca por kg de ganho de peso; e pH das fezes de 5,36 e 5,51. Os dados médios da avaliação de carcaça foram: rendimento quente, 54,22% e 55,56%; área de olho de lombo, 26,72 e 26,92 cm<sup>2</sup> por 100 kg, e gordura renal e pélvica, 2,4% e 2,6%, respectivamente.

**Tabela 10.** Coeficientes de digestibilidade (%) da matéria seca, da proteína bruta, da fibra insolúvel em detergente neutro e da energia bruta de 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 em detergente neutro	28,40	30,33	1,13
Energia bruta	58,31	58,73	0,65
Nitrogênio retido			
Porcentagem do ingerido	23,04	26,54	0,98
Porcentagem do absorvido	34,38	40,68	1,52

EPM = erro padrão da média.

Fonte: Adaptado de Parré et al. (1997).

Dietas ricas em zeólita também podem exercer efeito benéfico sobre a prevenção de certas doenças metabólicas em gado de leite, como a hipocalcemia ou febre do leite (PAPAIOANNOU et al., 2005). O objetivo do tratamento é reduzir a biodisponibilidade de Ca da dieta mediante fornecimento de zeólita, com base na evidência de que um dos melhores meios de prevenção da doença é a alimentação das vacas com baixa quantidade de Ca durante o período seco. Katsoulos et al. (2005) mostraram esse efeito fornecendo clinoptilolita para vacas de leite. A incidência da febre do leite foi significativamente menor naquelas que receberam dieta com 2,5% de zeólita (6%) durante o último mês do período seco até o início da lactação, comparada com animais do grupo controle (39%).

**Retenção de gases.** As zeólitas naturais podem absorver CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, HCHO, Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, He, H<sub>2</sub>, Kr, Xe, CH<sub>3</sub>OH e muitos outros gases. Essa capacidade de retenção pode ser utilizada para coletar e para controlar odores. Esses minerais podem ser utilizadas com sucesso na criação animal, para reduzir os teores de amônia e de H<sub>2</sub>S livres, causadores de odores desagradáveis (KITHOME et al., 1999). A alta capacidade de retenção de amônia possibilita uma alternativa natural para controlar os altos níveis desse composto nas criações de peixes, quando utilizado em sistemas de filtragem ou em aplicação direta na água.

As zeólitas naturais também vêm sendo utilizadas no tratamento de águas residuais. Os resultados do estudo de Bernal et al. (1993) indicaram que a adição de clinoptilolita ou de phillipsita em esterco fresco de suínos e de gado bovino poderia fornecer um meio de reter o amônio e conseqüentemente de reduzir as emissões de amônia.



## Considerações finais

O tema do desenvolvimento de bases tecnológicas em produção de novos insumos para a agropecuária, seja para condicionamento, correção e adubação de solos, seja para nutrição animal ou redução da contaminação ambiental, é estratégico para o agronegócio do País, pois o cenário mundial atual é de aumento do preço dos fertilizantes e da forte dependência brasileira da importação desse insumo, o que acarreta aumento do custo de produção das culturas (DAHER, 2008). Assim, o uso eficiente dos nutrientes é essencial e estratégico para a obtenção de produtividade máxima econômica das culturas e dos sistemas de produção animal e para a diminuição das perdas para o ambiente.

A reunião de resultados tecnicamente vantajosos, como foi feita neste documento, ainda fornece indicativo dos impactos econômicos, sociais e ambientais positivos do uso dessa tecnologia.

Dessa forma, os impactos econômicos poderão ser observados no aumento das possibilidades de negócio pela empresa de produção de fertilizantes e de outros insumos por meio do lançamento de novos produtos. Outro aspecto econômico a ser observado é que a maior eficiência agrônômica dos fertilizantes e dos outros insumos a serem produzidos poderá levar à diminuição da dependência externa de matérias-primas básicas e intermediárias, e assim proporcionar aumentos da renda líquida na produção de alimentos, de fibras e de energia, e ainda favorecer a economia de divisas e melhorar a competitividade do agronegócio nacional.

Os impactos sociais poderão ser observados no impulso em favor do mercado de novos fertilizantes e também da abertura de postos de trabalho na mineração, no processamento e na comercialização de novos minerais naturais. Além disso, o desenvolvimento desse tema possibilitará a formação de recursos humanos em áreas estratégicas para o Brasil. Impactos ambientais positivos poderão ocorrer na redução do custo energético não renovável de produção de fertilizantes e de insumos minerais, no decréscimo do custo energético com fertilizantes para a produção de alimentos, de fibras e de energia, e também na diminuição do potencial de poluição da água, do solo e do ar.

## Referências

AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A. F.; BARTHAKUR, N. N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 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.

ALVES, A. C.; ALVES, T. C.; MACEDO, F. B.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; ROCHETTI, G. C. **Adição de zeólita para redução da volatilização de amônia em solo fertilizado com uréia**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007, 4 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 55).

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.

BARTZ, J. K.; JONES, R. L. Availability of nitrogen to sudangrass from ammonium-saturated clinoptilolite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 259-262, 1983.

BERNAL, M. P.; LOPEZ-REAL, J. M.; SCOTT, K. M. Application of natural zeolites for the reduction of ammonia emissions during the composting of organic wastes in a laboratory composting stimulator. **Bioresource Technology**, v. 43, n. 1, p. 35-39, 1993.

BERNARDI, A. C. C., PAIVA, P. R. P., MONTE, M. B. M. **Produção de matéria seca e teores de nitrogênio em milho para silagem adubado com uréia misturada a zeólita**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007a. 6 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico, 77).

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 alfaca 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.; BOTREL, N.; OIANO NETO, J.; MONTE, M. B. M.; VERRUMA-BERNARDI, M. R. Produção e qualidade de frutos de tomateiro cultivado em substrato com zeólita. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 306-311, 2007b.

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, 2004b. 4 p. (Embrapa Solos. Circular Técnica, 24). Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>>. Acesso em: 11 dez. 2008.

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 agrônômica de substratos contendo zeólita enriquecida com nitrogênio, fósforo e potássio**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004a. 25 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57). Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>>. Acesso em: 11 dez. 2008.

BERNARDI, A. C. C.; WERNECK, C. G., HAIM, P. G.; REZENDE, N. G. A. M.; PAIVA, P. R. P.; MONTE, M. B. M. Crescimento e nutrição mineral do porta-enxerto limoeiro 'cravo' cultivado em substrato com zeólita enriquecida com NPK. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p.794-800, 2008.

BHASKARA RAO, A.; 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 of America 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. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco, Mexico. **Transactions...** Acapulco: International Society of Soil Science, 1994. v. 5a, p. 695-701.

CANTERA-OCEGUERA, V. **Zeolita natural**: una alternativa en la industria de fertilizantes. La Habana: Ministerio de Industria Básica, 2002. 46 p.

CARRION, M.; GONZALEZ, R.; GIL, R.; RODRIGUEZ, C.; MARTINEZ-VIERA, R.; CRUZ, A.; COLOMBO, R.; PENA, E.; TORRES, S. Influence of fertilizers with zeolite on crop yields. In: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FUNDAMENTALES EN AGRICULTURA TROPICAL ALEJANDRO DE HUMBOLT. **90 ANOS DE LA ESTACION EXPERIMENTAL AGRONOMICA DE SANTIAGO DE LAS VEGAS**. Santiago de las Vegas: Estacion Experimental Agronomica, 1994. p. 201-211.

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. 21 p. (Information Circular, 9140).

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de  $N-NH^3$  de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 27, p. 631-637, 2003.

COUTINHO FILHO, J. L. V.; HENRIQUE, W.; PERES, R. M.; JUSTO, C. L.; SIQUEIRA, P. A.; COSER, P. S. Efeito da zeólita na engorda de bovinos em confinamento. **Archivo Latinoamericano de Producción Animal**, v. 10, n. 2, p. 93-96, 2002.

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.

DAHER, E. Uma crise de demanda. **DBO Agrotecnologia**, abril/maio, p.27, 2008.

EYDE, T. H.; HOLMES, D. A. Zeolites. In: KOGEL, J. E.; TRIVEDI, N. C.; BARKER, J. M.; KRUKOWSKI, S. T. (Ed.). **Industrial minerals and rocks**. 7<sup>th</sup> ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2006. p.1039-1064.

FERGUNSON, G.; PEPPER, I. Ammonium retention in soils amended with clinoptilolite. **Soil Science Society of America 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 da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP. Mineralogia**, n. 10, p.1-162, 1952.

FUENTE -CRESPO, R. Producción cañera más eficiente y ecológica. **Revista Cañaveral**, v. 4, n. 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 and Soil**, v. 143, p. 71-74, 1992.

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.

HEMKEN, R. W.; HARMON, R. J.; MANN, L. M. Effect of clinoptilolite on lactating dairy cows fed a diet containing urea as a source of protein. In: POND, W. G.; MUMPTON, F. A. (Ed.). **Zeo-agriculture**. Use of natural zeolites in agriculture and aquaculture. Boulder, CO: Westview Press Inc., 1984. p. 171-174.

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: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002. Thailand. Bangkok: International Society of Soil Science, 2002. p. 1897/1-1897/7. (Symposium, 57).

KATSOULOS, P. D.; ROUBIES, N.; PANOUSIS, N.; ARSENOS, G.; CHRISTAKI, E.; KARATZIAS, H. Effects of long-term dietary supplementation with clinoptilolite on incidence of parturient paresis and serum concentrations of total calcium, phosphate, magnesium, potassium, and sodium in dairy cows. **American Journal of Veterinary Research**, v. 66, n. 12, p. 2081-2085, 2005.

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**, v. 6, p. 129, 1986.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> 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.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 345-352, 1990.

LEGGO, P. J. An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance. **Plant and Soil**, The Hague, v. 219, n. 1-2, p. 135-146, 2000.

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. (CETEM. Série Tecnologia Mineral, 68).

MACKOWN, C.; TUCKER, T. Ammonium nitrogen movement in a coarse textured soil amended with zeolite. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 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**, v. 323, p. 139-144, 1992.

MARCILLE-KERSLAKE, V.; VAN STRAATER, P. Zeolites in British Columbia-Canada: Development of an alternative phosphate fertilizer using zeolite and phosphate rock. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE OCCURENCE, PROPERTIES AND UTILIZATION OF NATURAL ZEOLITES, 3., 1991, La Habana. **Memorias...** La Habana: International Natural Zeolite Association, 1991. p 311.

MING, D. W.; BARTA, D. J.; GOLDEN, D. C.; GALINDO, C.; HENNINGER, D. L. In: MING, D. W.; MUMPTON, F. A. (Ed.). **Natural zeolites: 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.

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.

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**, v. 1, 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.

OLVER, M. D. Effect of feeding clinoptilolite (zeolite) on the performance of three strains of laying hens. **Brithish Poultry Science**, v. 38, p. 220-222, 1997.

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.

PAPAIOANNOU, D.; KATSOULOS, P. D.; PANOUSIS, N.; KARATZIAS, H. The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: A review. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 84, p. 161-170, 2005.

PARISINI, P. MARTELLI, G. SARDEI, L. ESCRIBANO, F. Protein and energy retention in pigs feed diets containing septionite. **Animal Feed Science and Technology**, v. 79, p. 155-162, 1999.

PARLAT, S. S.; YILDIZ, A. O.; OGUZ, H. Effect of clinoptilolite on performance of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) during experimental aflatoxicosis. **British Poultry Science**, v. 40, p. 495-500, 1999.

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, 34., 1997, Juiz de Fora, MG. **Anais...** Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1997. 3 p. 1 CD-ROM.

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. 326 p. (CPAC. Documentos, 21).

REBEDEA, I.; LEPP, N. W. The use of synthetic zeolite to reduce plant metal uptake and phytotoxicity in two pollutes 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, 1997. 33 p.

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.

SHURSON, G. C.; KU, P. K.; MILLER, E. R.; YOKOHAMA, M. T. Effects of zeolite A or clinoptilolite in diets of growing swine. **Journal of Animal Science**, v. 59, p. 1536-1545, 1984a.

SHURSON, G. C.; LUMANTA, I. G.; KU, P. K.; YOKOHAMA, M. T.; MILLER, E. R. Effects of zeolite A or clinoptilolite in diets of swine. In: POND, W. G.; MUMPTON, F. A. (Ed.). **Zeo-agriculture**. Use of natural zeolites in agriculture and aquaculture. Boulder, CO: Westview Press Inc., 1984b. p. 147-163.

SOCA, M. Utilización de zeolitas naturales en diferentes suelos y cultivos, como vía para incrementar la eficiencia de los fertilizantes minerales. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE OCURRENCE, PROPERTIES AND UTILIZATION OF NATURAL ZEOLITES, 3., 1991, La Habana. **Memorias...** La Habana: International Natural Zeolite Association, 1991. p 126.

STEWART, B. A. **Soil conditioners**. Madison: Soil Science Society of America. 1975. 186 p. (Special Publication, 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.

TASLIDAS, C. D.; DIMOYIANNIS, D.; SAMARAS, V. Effect of zeolite application and soil pH on cadmium sorption in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 28, n. 17-18, p. 1591-1602, 1997.

TAYLOR, K.; GRAHAM, R.; REVIN, J. Laumontite in soils of the San Gabriel mountains, California. . **Soil Science Society of America 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 phosphorous in soils from mixtures of phosphate rock and  $\text{NH}_4^-$  exchanged 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: U. S. Geological Survey. **2006 Minerals yearbook: metals and minerals**. 2007. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/zeolites/zeolimy06.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

WERNECK, C. G.; BREDA, F.; SPERANDIO, D. B.; FERREIRA, C. R.; MONTE, M. B. M.; FERNANDES, P. R. T.; BARROS, F. S.; BERNARDI, A. C. C.; MAZUR, N.; POLIDORO, J. C. Perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> proveniente da mistura de uréia com zeolita natural aplicada no inverno na cultura da roseira. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. FertBio 2008: desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: **anais...** Londrina: Embrapa Soja: SBCS: IAPAR: UEL, 2008a. 1 CD-ROM.

WERNECK, C. G.; BREDA, F.; SPERANDIO, D. B.; HAIM, P. G.; ROSSI, C. O.; MONTE, M. B. M.; BARROS, F. S.; BERNARDI, A. C. C.; MAZUR, N.; POLIDORO, J. C. Eficiência agrônômica da mistura de uréia com zeolita natural aplicada na cultura da roseira (*Rosa* spp.), Nova Friburgo, RJ. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. FertBio 2008: desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: **anais...** Londrina: Embrapa Soja: SBCS: IAPAR: UEL, 2008b. 1 CD-ROM.

WHITE, J. L.; OHLROGGE, A. J. **Ion exchange materials to increase consumption of nonprotein nitrogen in ruminants.** Canadian patent 939186, 2 January 1974. Disponível em: <<http://patents.ic.gc.ca/cipo/cpd/en/patent/939186/summary.html>>. Acesso em: 11 dez. 2008.

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