

## Uso do rejeito da produção de alumina como condicionador de solos





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

# **Documentos 291**

## **Uso do rejeito da produção de alumina como condicionador de solos**

*Joventino Fernandes Moreira  
Eduardo Francia Carneiro Campello  
Bruno Campbell de Azevedo  
Maria Elizabeth Fernandes Correia  
Miriam de Oliveira Bianchi  
Alexander Silva de Resende  
Cláudia Pozzi Jantalia*

Embrapa Agrobiologia  
Seropédica, RJ  
2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Agrobiologia**

BR 465, km 7, CEP 23.851-970, Seropédica, RJ

Caixa Postal 74505

Fone: (21) 3441-1500

Fax: (21) 2682-1230

Home page: [www.cnpab.embrapa.br](http://www.cnpab.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

Presidente: Norma Gouvêa Rumjanek

Secretária-Executivo: Carmelita do Espírito Santo

Membros: Bruno José Alves, Ednaldo da Silva Araújo,

Guilherme Montandon Chaer, José Ivo Baldani,

Luis Henrique de Barros Soares

Supervisora editorial: Norma Gouvêa Rumjanek

Normalização bibliográfica: Carmelita do Espírito Santo

Tratamento de ilustrações: Maria Christine Saraiva Barbosa

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

Foto da capa: Eduardo Francia Carneiro Campello

**1ª edição**

1ª impressão (2012): 50 exemplares

**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 Agrobiologia**

---

USO do rejeito da produção de alumina como condicionador de solos. / Joventino Fernandes Moreira et al. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2012. 40 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 291).

ISSN: 1517-8498

1. Recuperação de solo. 2. Resíduo industrial. 3. Lama vermelha. I. Moreira, Joventino Fernandes. II. Campello, Eduardo Francia Carneiro. III. Azevedo, Bruno Campbell de. IV. Correia, Maria Elizabeth Fernandes. V. Bianchi, Miriam de Oliveira. VI. Resende, Alexander Silva de. VII. Jantalia, Cláudia Pozzi. VIII. Embrapa Agrobiologia. IX. Série

631.825 CDD 23.ed.

# **Autores**

## **Joventino Fernandes Moreira**

Prof. Instituto Federal de Alagoas - Campus  
Piranhas - AL.

## **Bruno Campbell de Azevedo**

Bolsista de IC FAPUR/UFRRJ/Embrapa. BR 465,  
km 7, Seropédica, RJ, CEP 23891-000.

## **Miriam de Oliveira Bianchi**

Doutoranda Capes/ Ciência do Solo UFRRJ,  
BR 465, km 7, Seropédica, RJ, 23891-000.

## **Eduardo Francia Carneiro Campello**

## **Maria Elizabeth Fernandes Correia**

## **Alexander Silva de Resende**

## **Cláudia Pozzi Jantaliai**

Pesquisadores Embrapa Agrobiologia. BR 467,  
km 7, Seropédica, RJ, CEP 23891-000. E-mails:  
eduardo.campello@embrapa.br, elizabeth.correia@  
embrapa.br, alexander.resende@embrapa.br,  
claudia.jantaliai@embrapa.br



# Apresentação

As atitudes de usar com responsabilidade os recursos naturais (solo, água, ar, flora, fauna, energia), de preservar e conservar a natureza são cada vez mais necessárias para a sociedade moderna acarretando em uma busca constante por sistemas de produção agropecuários apoiados em princípios ecológicos e naturais.

Dentro desse cenário, a Embrapa Agrobiologia construiu o seu atual plano diretor de pesquisa, desenvolvimento e inovação com a seguinte missão “gerar conhecimentos e viabilizar tecnologias e inovação apoiados nos processos agrobiológicos, em benefício de uma agricultura sustentável para a sociedade brasileira”.

A série documentos se constitui em uma linha de publicações que visa disponibilizar informações relevantes das mais diversas etapas dos processos de pesquisa científica e tecnológica. Podem disponibilizar revisões de literatura sobre temas relevantes, relatórios técnicos, um determinado procedimento metodológico, levantamentos de campo, entre outros tipos de conteúdo.

A presente publicação intitulada “Uso do Rejeito da Produção de Alumina como Condicionador de Solos” tem indicação para todos aqueles interessados em conhecer mais sobre o assunto, portanto, boa leitura.

*Eduardo Francia Carneiro Campello*  
Chefe Geral da Embrapa Agrobiologia



# Sumário

<b>Introdução .....</b>	<b>9</b>
<b>Características do resíduo de produção de alumina .....</b>	<b>11</b>
<b>A utilização do resíduo como condicionador de solos .....</b>	<b>15</b>
<b>Curvas de neutralização do solo com a aplicação do resíduo de bauxita .....</b>	<b>17</b>
<b>Efeito do resíduo da produção de alumina no desenvolvimento de plantas .....</b>	<b>20</b>
Experimentos em vasos .....	20
Experimentos em condições de campo .....	24
<b>Risco de salinização do solo .....</b>	<b>29</b>
<b>Avaliação ecotoxicológica do resíduo de produção de alumina .....</b>	<b>29</b>
<b>Considerações finais .....</b>	<b>33</b>
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>35</b>



# Uso do rejeito da produção de alumina como condicionador de solos

---

*Joventino Fernandes Moreira*

*Eduardo Francia Carneiro Campello*

*Bruno Campbell de Azevedo*

*Maria Elizabeth Fernandes Correia*

*Miriam de Oliveira Bianchi*

*Alexander Silva de Resende*

*Cláudia Pozzi Jantalia*

## Introdução

A lama vermelha (*red-mud*) é originada do processo de beneficiamento do alumínio a partir do refino da bauxita para produção de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Em razão de o material possuir alta alcalinidade e grande quantidade de sais, associado à grande quantidade produzida anualmente pelas indústrias, o descarte desse material necessita de inúmeros cuidados. Atualmente o descarte é realizado pela deposição do resíduo em tanques impermeabilizados projetados especialmente para esse fim (Fig. 1).

Em função do elevado custo de construção dos tanques e do risco potencial de acidentes, têm-se buscado alternativas de utilização desses resíduos ou sub-produtos como matéria-prima para outros fins. Nesse sentido, inúmeros trabalhos buscam empregá-la, de forma a minimizar as possíveis consequências de um acúmulo desordenado e sem perspectivas de um destino funcional. Dentro dessas aplicações encontram-se a utilização como recobrimento para aterros e pavimentação (KIRKPATRICK, 1996), insumo para produção de cimentos especiais (TSAKIRIDIS, et al., 2004), matéria-prima para a produção de revestimentos cerâmicos (víttricos, porcelanas) (YALÇIN e SEVINÇ, 2000), tijolos, telhas, isolantes (SINGH e GARG, 2005).

Foto: ALUMAR



**Fig. 1.** Tanque de disposição de resíduo alcalino da produção de alumina, revegetado com leguminosas arbóreas com 7 anos e ao lado direito outro tanque ainda sem a revegetação.

Outras aplicações para a lama vermelha também estão no tratamento de superfícies, como proteção do aço contra corrosão (COLLAZO et al., 2005) e na melhoria das características termoplásticas de polímeros (PARK e JUN, 2005).

No que diz respeito à agricultura e ao meio ambiente, a lama vermelha tem sido utilizada em outros países como corretivo para solos ácidos, para o enriquecimento de solos pobres em ferro (HIND et al., 1999), para o aumento da retenção de fósforo pelo solo (SUMMERS et al., 2002), na imobilização de metais pesados em solos contaminados (CICCU et al., 2003; LOMBI et al., 2002), no tratamento de efluentes líquidos, como águas ácidas de minas (DOYE e DUCHESNE, 2003), assim como na remediação de solos contaminados por metais pesados, fósforo e nitrogênio (SANTORA et al., 2006).

Este documento tem como objetivo apresentar uma síntese dos resultados do projeto “Estudos de tratamento e utilização de resíduos do refino de bauxita como condicionador de solos agrícolas”, executado pela Embrapa Agrobiologia, em parceria com a empresa Alumar (Consórcio de Alumínio do Maranhão), cujo principal objetivo foi avaliar a viabilidade do uso do rejeito da produção de alumina como condicionador de solos arenosos e ácidos, visando elevar o pH e promover alterações na textura do solo.

## Características do resíduo de produção de alumina

As reservas de bauxita ocorrem em áreas descontínuas da crosta terrestre, frequentemente próximas ao Equador. As plantas de refino de bauxita a alumina estão localizadas normalmente próximas às áreas de extração. Embora a bauxita contenha uma elevada concentração de óxidos de alumínio, sua origem, natureza e mineralogia podem ser muito diferentes entre as jazidas (JONES e HAYNES, 2011). Além disso, as condições de fabricação a que a bauxita foi submetida para a extração da alumina podem variar, resultando em resíduos com diferentes propriedades químicas e físicas (MOREIRA, 2006). A lama vermelha tem, no entanto, como principais características, uma elevada alcalinidade (pH 10-13) e a presença de partículas muito finas (cerca de 95% < 44  $\mu\text{m}$ ), apresentando uma área superficial de 13-22  $\text{m}^2\text{g}^{-1}$  (SILVA FILHO et al., 2007; SUMMERS et al., 2002). Este resíduo é gerado durante o processo de extração da alumina da bauxita através do processo Bayer, em que grandes quantidades de solução de soda cáustica são adicionadas ao minério, sob altas temperaturas.

Normalmente, em sua constituição química, a lama vermelha retém além do alumínio que não foi totalmente extraído, minerais ricos em ferro, titânio e sílica presentes na bauxita. Durante o refino, o alumínio não extraído reage com o sódio, formando silicatos hidratados de alumínio e sódio de natureza zeolítica (McCONCHIE et al., 2002). Outros compostos como óxidos de V, Ga, P, Mn, Mg, Zn, Th, Cr, Nb podem estar presentes como elementos-traço (KALKAN, 2006). As fases minerais mais comuns são a hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), a goetita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), a boemita ( $\gamma\text{-AlOOH}$ ), o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), a sodalita ( $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$ ) e a gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), com menor presença de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) (BRUNORI et al., 2005; UWINONA, 2010; YALÇIN et al., 2000).

No caso do resíduo gerado na planta de refino de Bauxita da ALUMAR - Consórcio de Alumínio do Maranhão, segundo CETREL S.A. (2005),

conforme estabelece a Norma Brasileira NBR 10004 de 2004 (Tab. 1), foi verificado que os parâmetros Fluoreto, Alumínio, Arsênio e Surfactantes no material solubilizado do resíduo estão acima do valor legislado, o que enquadraria este material como Resíduo Classe II A - Resíduo Não Inerte.

No que diz respeito ao grau de toxicidade da lama, apesar de haver certas contradições na literatura, esta não é considerada propriamente tóxica. Alguns autores atentam para os possíveis efeitos oriundos, por exemplo, de sua natureza cáustica (BRUNORI et al., 2005), outros

**Tabela 1.** Avaliação química de alguns parâmetros realizada com amostras brutas e material solubilizado de resíduo do refino de bauxita para produção de alumina, coletadas na ALUMAR - Consórcio de Alumínio do Maranhão (MOREIRA, 2006).

Parâmetros analisados	Solubilizado (mg/L)	
	Amostra	NBR 10004
Arsênio	0,035	0,01
Fluoreto	4,6	1,5
Alumínio	6,6	0,2
Surfactantes	0,62	0,5
Alumínio	112122	NL
Cádmio	< 1	NL
Cromo	52	NL
Cobre	< 1	NL
Ferro	64797	NL
Manganês	< 2	NL
Sódio	40564	NL
Chumbo	< 10	NL
Vanádio	72	NL
Zinco	1,7	NL
Selênio	< 1	NL
Fósforo total	7785	NL

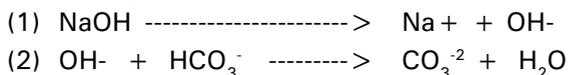
NL = parâmetro não legislado pela norma em referência.

verificam a possibilidade de ser tóxica às áreas vizinhas, em decorrência da presença de elevados valores de hidróxido de sódio (HIND et al., 1999; WANG, et al., 2005), e de sua alta alcalinidade e capacidade de troca iônica (LI, 2001; COLLAZO et al., 2005). Instituições, como a *U. S. Environmental Protection Agency* (EPA) não classificam a lama vermelha como um rejeito perigoso (EPA, 2010).

Localizada em São Luís (MA), a Alumar (Consórcio de Alumínio do Maranhão), apresenta uma capacidade de produção anual de alumina em torno 1,5 milhões de toneladas (SILVA FILHO, 2007). Entretanto, para isso existe a geração de aproximadamente 1,13 milhões de toneladas de resíduo sólido nesse mesmo período (MOREIRA, 2006).

Uma alternativa para reduzir as elevadas sodicidade e alcalinidade do resíduo é o tratamento do material a partir da lavagem do resíduo “in natura” com água do mar, na proporção de 1:40 partes de água. A capacidade de neutralização da água do mar está ligada aos bicarbonatos presentes na mesma, principalmente de sódio, magnésio e cálcio. O processo pode ser representado pelas equações abaixo:

Neutralização da soda cáustica com bicarbonato:



Reações com a formação de precipitados:



A neutralização pela água do mar se dá até a extensão onde atua o tampão carbonato/bicarbonato, formado pelo bicarbonato da água do mar e pelo carbonato existente nos efluentes e pelo carbonato formado nas equações 2 e 5. Nessa situação, ocorre a formação de um tampão, estabilizando o pH em torno de 8,6 a 8,9.

Moreira (2006) caracterizou química (Tab. 2) e fisicamente (Tab. 3) o resíduo de extração da alumina obtido pela Alumar, com e sem tratamento com água do mar.

**Tabela 2.** Efeito do tratamento com água do mar no pH, condutividade elétrica (CE),  $\text{Na}^+$ , teores de nutrientes e metais pesados no resíduo alcalino de bauxita (MOREIRA, 2006).

Análises	Teores	
	Resíduo não tratado	Resíduo tratado
pH em água	12,30	8,90
CE (dS $\text{m}^{-1}$ )	26,44	26,86
$\text{Na}^+$ (cmol <sub>c</sub> $\text{dm}^{-3}$ )	89,51	69,03
$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ (cmol <sub>c</sub> $\text{dm}^{-3}$ )	0,4	9,5
$\text{Ca}^{+2}$ (cmol <sub>c</sub> $\text{dm}^{-3}$ )	----	7,9
$\text{Mg}^{+2}$ (cmol <sub>c</sub> $\text{dm}^{-3}$ )	----	1,6
$\text{Al}^{+3}$ (cmol <sub>c</sub> $\text{dm}^{-3}$ )	----	---
P (mg $\text{dm}^{-3}$ )	----	---
$\text{K}^+$ (mg $\text{dm}^{-3}$ )	54	350
N ( g $\text{kg}^{-1}$ )	0,05	0,05
$\text{Mn}^{+2}$ ( g $\text{kg}^{-1}$ )	0,01	0,02
$\text{Fe}^{+2}$ ( g $\text{kg}^{-1}$ )	44,77	45,00
$\text{Zn}^{+2}$ ( g $\text{kg}^{-1}$ )	0,01	0,02
$\text{Co}^{+2}$ ( g $\text{kg}^{-1}$ )	0,01	0,01
$\text{Cd}^{+2}$ ( g $\text{kg}^{-1}$ )	0,01	0,01
$\text{Cr}^{+1}$ ( g $\text{kg}^{-1}$ )	0,13	0,13
$\text{Ni}^{+2}$ ( g $\text{kg}^{-1}$ )	0,03	0,03
Pb ( g $\text{kg}^{-1}$ )	0,02	---
$\text{Cu}^{+2}$ ( g $\text{kg}^{-1}$ )	---	---

N - Método Kjeldhal (ALVES et al., 1994); pHágua; Al; Ca; Mg; P, K e Na: CLAESSEN (1997), Mn, Fe, Zn, Co, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu - espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-OES).

--- valores abaixo do nível de detecção pela metodologia utilizada.

**Tabela 3.** Composição granulométrica do resíduo de bauxita não tratado e tratado com água do mar com base no diâmetro das partículas das frações argila, silte e areia (MOREIRA, 2006).

	Teores (g $\text{kg}^{-1}$ )		
	< 0,002 mm	0,002-0,05 mm	> 0,05 mm
Tratado	91	787	122
Não tratado	60	844	96

O tratamento com água do mar favoreceu algumas características, como a redução do pH, o aumento considerável dos teores de  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ , e a redução do sódio em 23%. O aumento dos teores de K, Ca e Mg devido à lavagem com a água do mar é considerado benéfico, visto que estes elementos são nutrientes essenciais para as plantas. Além disso, houve uma redução nos teores de  $Na^+$  que em altas concentrações são tóxicos às plantas. Todos os metais pesados analisados encontraram-se abaixo do limite permitido pelas normas da ABNT e suas concentrações não foram modificadas pelo tratamento com água do mar, exceto o Pb que ficou em níveis não detectáveis pela metodologia aplicada, após o tratamento.

## **A utilização do resíduo como condicionador de solos**

Os trabalhos desenvolvidos visando à utilização do resíduo de produção de alumina como condicionador de solos, têm avançado principalmente na região Oeste da Austrália, onde se concentra a maior parte da produção. Nesta região, se encontra uma planície costeira, com predomínio de solos de textura arenosa e o uso intensivo de fertilizantes fosfatados, em pastos estabelecidos no local, tem favorecido a lixiviação de P para rios e lagos da região (VLAHOS et al. 1989; GEORGE E BRADBY, 1993; WARD & SUMMERS, 1993). Naquela região, a maior parte dos estudos com o resíduo alcalino de bauxita no solo visa reduzir as perdas de P e melhorar as características físicas do solo.

Em muitos casos, para ser utilizado como um condicionador de solos, o resíduo de bauxita necessita ser tratado para reduzir a sua fitotoxicidade, que é decorrente principalmente da elevada alcalinidade, do excesso de sódio e do aumento de espécies de alumínio livre em resíduos neutralizados, pela precipitação de gibbsita parcialmente solubilizada (KLAUBER et al, 2011).

A maioria dos trabalhos com uso do resíduo alcalino de bauxita tem utilizado também o sulfato de cálcio (gesso) que, quando adicionado

ao resíduo alcalino de bauxita, reduz a sua alcalinidade e sodicidade (BARROW, 1982). A alta sodicidade do resíduo pode promover a elevação da concentração de sódio e da condutividade elétrica do solo, quando aplicado em grande quantidade, elevando esses níveis para valores deletérios ao crescimento das plantas. Pode ocorrer um desbalanço nutricional se a saturação de sódio ocupar de 40 a 50% do complexo de troca, o que acontece no resíduo puro da produção de alumina. Nesse caso, ocorre remoção de cálcio dos tecidos radiculares da planta pelo complexo de troca do solo, podendo causar a morte devido à deficiência de cálcio. Com o aumento da saturação de sódio trocável no solo, quando os complexos de troca são ocupados, pode ocorrer uma menor acumulação de cálcio, magnésio e potássio nas plantas (KOPITKE e MENZIS, 2004, SNARS et al., 2004).

A textura do solo e o uso de gesso reduzem os danos causados pela alta concentração de sódio no resíduo. Em solos arenosos, a lixiviação de sais é mais intensa favorecendo a sua acumulação no lençol freático e a presença do gesso altera a relação cálcio/ sódio e favorece o deslocamento do sódio pelo cálcio e a formação de sulfato de sódio de alta mobilidade no perfil do solo (FORTES, 2000). Vlahos et al. (1989) sugerem que com a aplicação de doses de resíduo de até 20 Mg ha<sup>-1</sup>, mesmo sem o uso de gesso, o impacto ambiental negativo dos sais poderia tornar-se desprezível.

Ward e Summers (1993) observaram que o uso de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo, diminuiu a lixiviação de P a níveis considerados aceitáveis em solos arenosos na Austrália. No entanto, Summers et al. (1996) observaram em ensaios posteriores em condições de campo, usando doses entre 10 e 80 Mg ha<sup>-1</sup>, com e sem gesso, que quando o resíduo foi misturado com gesso a retenção de P foi 70% maior que na área sem aplicação de gesso.

Na Tab. 4 é possível observar resumidamente alguns resultados de pesquisas sobre o efeito da aplicação de resíduo de bauxita sobre propriedades do solo.

**Tabela 4.** Efeitos do resíduo alcalino de bauxita sobre algumas propriedades de solos arenosos cultivados.

Propriedade do solo	Solo tratado com resíduo de bauxita
Densidade do solo	Decresceu
Condutividade hidráulica	Decresceu
Capacidade de retenção de umidade	Elevou
Capacidade de água disponível	Elevou
Aeração	Decresceu
pH	10-12 (aumentou)
Salinidade	Elevou inicialmente e diminuiu após 2-3 anos
Capacidade de troca de cátions	Elevou
Conteúdo de nutrientes	Teores muito baixos de N, P e C.
Disponibilidade de nutrientes	Deficiência de N e P
Toxidez de sais	Al e Na e em alguns casos Mo
Efeito microbiológico	Decresceu inicialmente e aumentou lentamente com o tempo.

Wong (1990) apud Fortes (2000).

## Curvas de neutralização do solo com a aplicação do resíduo de bauxita

Com o objetivo de verificar a eficiência do resíduo de bauxita gerado pela ALUMAR sobre a capacidade tampão de um solo tipicamente arenoso e ácido e determinar o efeito das doses crescentes sobre o pH, Moreira (2006) conduziu um estudo para obter curvas de neutralização. O ensaio foi montado, usando-se solo proveniente da camada superficial (0-20 cm) de um Planossolo localizado em Seropédica-RJ, e que continha em média 90% de areia, 3% de silte e 7% de argila e características químicas conforme a Tab. 5. Foi avaliado o efeito de doses de resíduos tratado e não tratado com água do mar na alteração do pH que originalmente era 4,7. As doses de resíduo aplicadas no ensaio foram 0; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 30; 50; 100 e 200 Mg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5.** Análise química do Planossolo, coletado em Seropédica-RJ.

pH em água	Al <sup>+3</sup>	Ca + Mg	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>
	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				(mg dm <sup>-3</sup> )	
4,7	0,4	1,0	0,6	0,4	4	37

pH<sub>água</sub>; Al; Ca; Mg; P e K - E - CLAESSEN (1997).

Os resultados deste ensaio demonstraram que o resíduo de bauxita é um material bastante reativo, provocando alterações no pH do solo mesmo em pequenas doses, já nas primeiras 48 horas. Houve uma tendência à estabilização do pH alterado, sendo que os tratamentos com doses mais elevadas alcançaram a estabilidade mais cedo e por mais tempo (Fig. 2). Essa rápida elevação de pH do solo ocorre devido à ação do bicarbonato contido no resíduo e também devido ao efeito de diluição em função das diferenças entre o pH do solo e o do resíduo.

Considerando-se o efeito médio das doses, nota-se que o pH dos resíduos não tratado e tratado apresentou um comportamento linear positivo logo nas primeiras doses, de modo que um pequeno acréscimo na dose provocou alteração similar na elevação de pH, tendendo à estabilidade a partir da dose equivalente a 64 Mg ha<sup>-1</sup> (Fig. 3).

Esse comportamento pode ser mais bem visualizado, considerando apenas os tratamentos com as menores doses de resíduo, onde nota-se que aplicação de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo tratado e aproximadamente 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo não tratado já se tem uma elevação do pH desse Planossolo para uma faixa de 7,0 (Fig. 4).

Para se chegar a um pH na faixa entre 5,5 a 6,5 usando resíduo tratado, a dose recomendada seria de no máximo 4 Mg ha<sup>-1</sup> e usando o resíduo não tratado, seria de até 1 Mg ha<sup>-1</sup> para o Planossolo estudado. Deve-se ressaltar que o elevado teor de fração areia e o baixo teor de matéria orgânica, fazem com que essa classe de solo apresente baixo poder tampão, o que permite que baixas doses de resíduo sejam

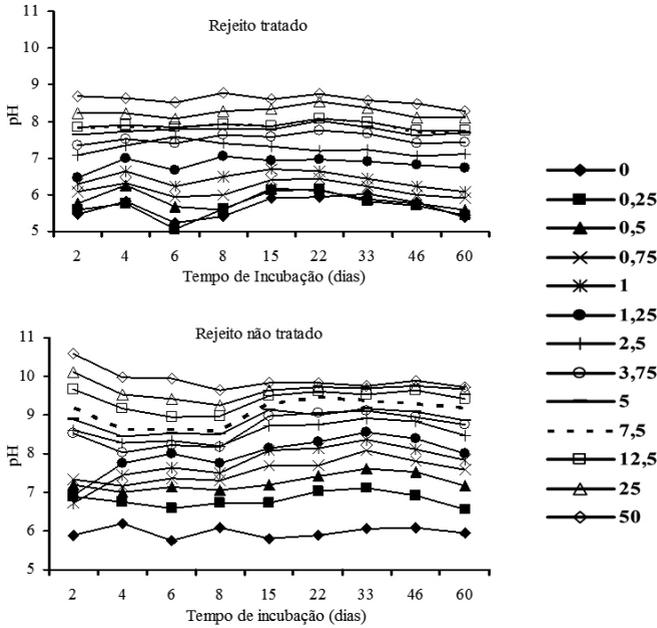


Fig. 2. Efeito das doses de resíduo de refino de bauxita tratado e não tratado com água do mar (Mg ha<sup>-1</sup>), na alteração do pH de um Planossolo em função do tempo de incubação (MOREIRA, 2006).

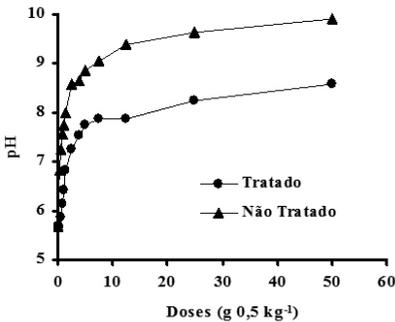


Fig. 3. pH do solo em função das doses dos resíduos tratado e não tratado com água do mar (g.0,5<sup>-1</sup>kg de Planossolo), considerando-se o efeito médio das doses (MOREIRA, 2006).

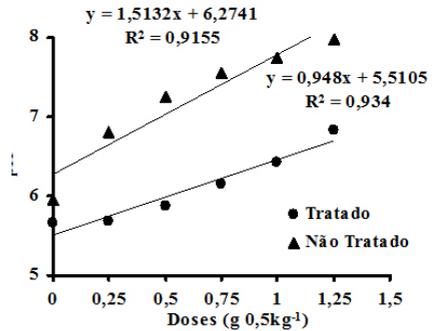


Fig. 4. Efeito linear do pH do solo em função das doses dos resíduos tratado e não tratado com água do mar (Mg ha<sup>-1</sup> de Planossolo) (MOREIRA, 2006).

capazes de provocar grandes alterações no pH do solo. Assim, como o resíduo de produção de alumina apresenta um pH bastante superior ao do solo, há um aumento no pH do solo pelo poder de neutralização do resíduo, mas também pelo efeito da diluição. Acredita-se que nestas condições ocorrerá uma neutralização do alumínio tóxico e o aumento da disponibilidade alguns nutrientes no solo.

## Efeito do resíduo da produção de alumina no desenvolvimento de plantas

### Experimentos em vasos

Com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes doses do resíduo de produção de alumina sobre o crescimento de plantas, Moreira (2006) realizou um ensaio em vasos expostos ao ambiente na Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ (Fig. 5). Foram utilizadas amostras de um Planossolo e de um Argissolo, coletadas em Seropédica-RJ e Pinheiral-RJ, respectivamente (Tab. 6). Os solos foram secos ao ar, peneirados e analisados segundo CLAESSEN (1997) quanto ao pH, Al e teores de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg), carbono orgânico e de matéria orgânica.

Os tratamentos foram montados a partir da mistura de 4 kg de solo com cada tipo de resíduo (refino de bauxita tratado com água do mar e resíduo não tratado), além de um tratamento, proveniente da mistura do solo com calcário dolomítico-PRNT 80% (usado para

**Tabela 6.** Características químicas do Planossolo e do Argissolo usados no experimento.

Solo	pH	Análise química dos solos						
		Al <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup>	P	K <sup>+</sup>	C	MO	N
		(cmol. dm <sup>-3</sup> )		(mg dm <sup>-3</sup> )		(g kg <sup>-1</sup> )		
Planossolo	4,70	0,43	1,00	4	37	4,03	6,93	0,523
Argissolo	4,33	0,73	0,70	3	23	2,35	4,04	0,445

pH<sub>água</sub>; Al; Ca; Mg; P e K - E - CLAESSEN (1997).

Foto: J. A. Moreira



**Fig. 5.** Vista parcial do experimento montado em vasos com solo proveniente de um Planossolo e de um Argissolo.

comparação, uma vez que é considerado padrão em relação à correção de solos-Instituto da Potassa e do Fósforo, 1998). Como adubação de plantio foram aplicados o equivalente a 50 kg de N, 60 kg de  $K_2O$ , 90 kg de  $P_2O_5$  e 30 kg de FTE BR12 por ha, em cada vaso de acordo com recomendação do Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro (1988). Após o preparo destes, os vasos com foram irrigados e semeados 5 dias após, sendo metade dos vasos semeados com braquiária (*Brachiaria brizantha* Hochst Stapf) e a outra metade com feijão comum (*Phaseolus vulgaris* Linnaeus) cultivar carioca. O feijão foi inoculado com a mistura das estirpes BR 322 e BR 320. Adotou-se o delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial  $2 \times 3 \times 5$ , sendo 2 tipos de solo  $\times$  3 materiais (calcário, resíduos tratado e não tratado)  $\times$  5 doses de cada material (0; 1; 2,5; 5 e 10  $Mg\ ha^{-1}$ ), com 4 repetições. O feijão foi colhido após 50 dias do plantio, com as plantas iniciando seu estágio floral, e avaliou-se a matéria seca de parte aérea e raízes. A primeira avaliação da braquiária também foi feita 50 dias após o plantio, através de um corte a 10 cm da superfície do solo, avaliando-se a matéria seca da parte aérea e o número de perfilhos. O segundo corte

da braquiária foi feito aos 120 e o terceiro aos 190 dias após o plantio nas mesmas condições do corte anterior.

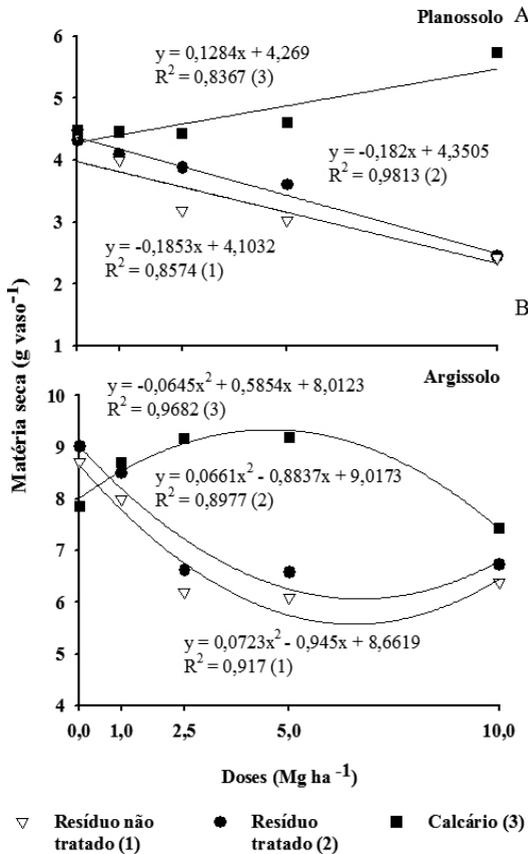
Os resultados deste ensaio demonstraram uma redução da biomassa do feijoeiro em função da aplicação dos resíduos, principalmente no Planossolo, uma vez que esta cultura é muito sensível ao aumento da salinidade e da condutividade elétrica (CE) do solo (REICHARDT, 1990). A curva de resposta em biomassa, em função das doses de resíduo e calcário apresenta um padrão linear (Fig. 6A).

A redução foi de 44% em biomassa quando se usou as maiores doses do resíduo tratado e não tratado ( $10 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Segundo Reichardt (1990), a produção do feijoeiro é afetada diretamente pela CE a partir de  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ , valor esse encontrado no ensaio de curvas de neutralização, a partir da dose  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  no resíduo não tratado.

Já a adição de calcário dolomítico favoreceu a produção de biomassa do feijão, nos dois tipos de solo, exceto na dose mais alta de calcário aplicada no Argissolo, a qual resultou em redução da produção de biomassa (Fig. 6B).

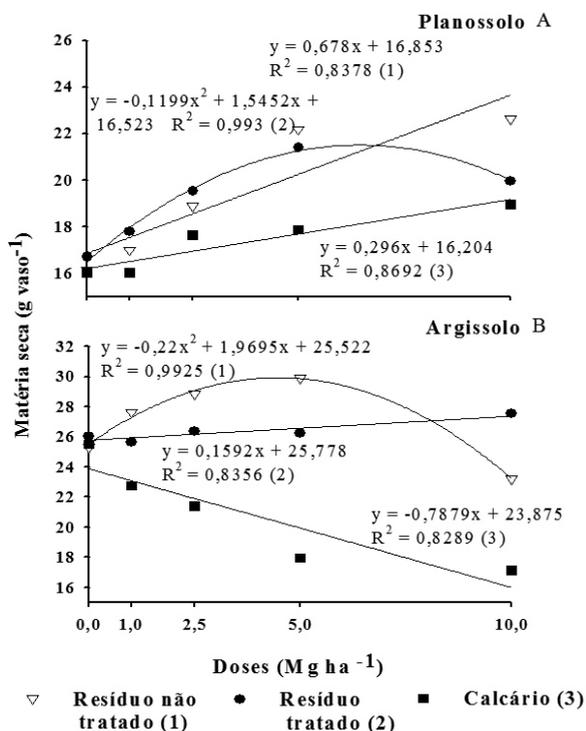
A braquiária, por sua vez, apresentou um padrão de resposta diferente do observado para o feijoeiro, havendo aumento da matéria seca de parte aérea favorecida pela aplicação dos resíduos, o que indica que este material pode favorecer o desenvolvimento de algumas culturas, como no caso em questão. No Planossolo, as plantas apresentaram uma resposta positiva crescente em acúmulo de biomassa seca em função das aplicações de doses de resíduo não tratado até  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  e para o resíduo tratado até  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$ , superando os resultados de quando se usou calcário (Fig. 7).

No Argissolo houve resposta positiva em matéria seca de parte aérea apenas para os resíduos não tratado e tratado, sendo que para o primeiro apenas até a dose de  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$  e no segundo até  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$ . A partir da dose de  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo não tratado houve uma queda na produção de biomassa seca, possivelmente devido à



**Fig. 6.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar na produção de biomassa do feijoeiro em Planossolo (A) e Argissolo (B) (MOREIRA, 2006).

elevação do pH a uma faixa onde começa a haver a indisponibilização de alguns nutrientes e também devido à elevação da salinidade e condutividade elétrica do solo prejudicando o desenvolvimento das plantas. A literatura mostra que as gramíneas tropicais não respondem ou respondem muito pouco à calagem (SIQUEIRA, et al., 1980, CIAT, 1982) e o gênero *Brachiaria* é considerado tolerante à acidez e à toxidez por Al, por apresentar habilidade em alterar o pH da rizosfera. Estes resultados reforçam a necessidade de estudos com outras culturas na avaliação desses resíduos para conclusões mais seguras a respeito do seu potencial de utilização.

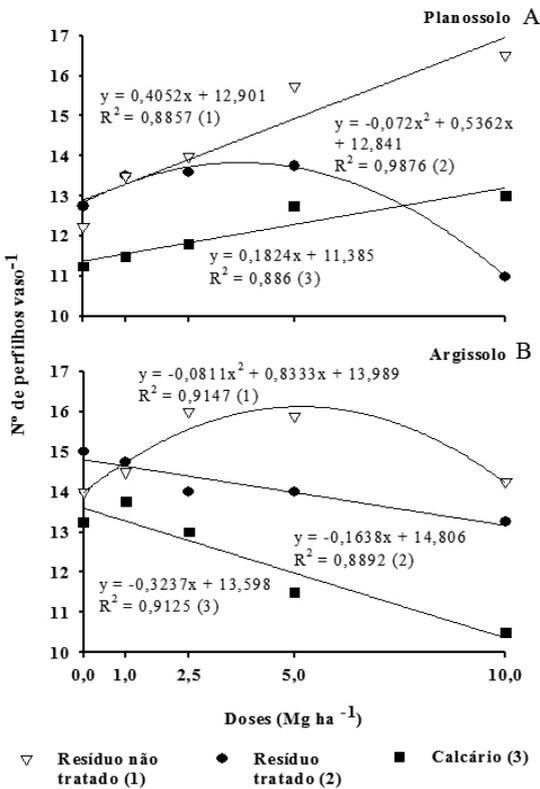


**Fig. 7.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar na produção de biomassa da braquiária em Planossolo (A) e Argissolo (B) (MOREIRA, 2006).

Com relação ao perfilhamento da braquiária, os melhores resultados foram alcançados com a aplicação dos resíduos, principalmente na dose de  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$  no Planossolo. No Argissolo, porém, o número de perfilhos foi reduzido na maioria dos tratamentos, com exceção do resíduo não tratado, até a dose de  $5 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Fig. 8).

## Experimento em condições de campo

Embora os ensaios em situações de contenção, como o realizado em vasos, sejam importantes para uma primeira avaliação mais segura e acurada dos possíveis efeitos dos resíduos, contam também com o inconveniente de ser uma condição diferente daquela a que se pretende de fato utilizar o resíduo. Ensaios em condições de campo, entretanto,



**Fig. 8.** Efeito da adição de resíduo da produção de alumina tratado e não tratado com água do mar no perfilamento da braquiária em Planossolo (A) e Argissolo (B) (MOREIRA, 2006).

representam uma etapa importante do estudo, pois apresentam resultados mais realistas, decorrentes da interação com múltiplos fatores ambientais.

No caso deste estudo realizado por Azevedo (2010), o experimento foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Agrobiologia, localizado no município de Seropédica (22° 48' S; 43° 42' W; altitude 33 m), no estado do Rio de Janeiro, no período de junho a setembro de 2009. A área experimental ocupou 780 m<sup>2</sup>, com parcelas de 16 m<sup>2</sup> distanciadas entre si em 1 m. O solo da área é classificado como Planossolo háplico distrófico arênico, o mesmo utilizado no experimento com vasos. Os tratamentos aplicados foram, calcário nas doses de 2,

4, 6, 8 Mg ha<sup>-1</sup>, resíduo de bauxita não tratado nas doses de 2, 4, 6, 8 Mg ha<sup>-1</sup> e resíduo de bauxita não tratado nas doses de 2, 4, 6, 8 Mg ha<sup>-1</sup> misturado com 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso e testemunha. A aplicação do calcário, do resíduo de bauxita não tratado, e do gesso foi feita dez dias antes do plantio de forma homogênea na parcela e a incorporação feita com grade leve (Fig. 9). O preparo do solo foi convencional, por meio da aplicação de herbicida e aração e gradagem após a secagem da vegetação. A adubação foi feita nas linhas de plantio juntamente com a semeadura, utilizando-se de 440 kg ha<sup>-1</sup> de super fosfato simples, 140 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio e 8 kg ha<sup>-1</sup> de FTE. As linhas de plantio foram feitas com sulcador acoplado ao trator. Sementes de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) foram inoculadas com estirpe de rizóbio recomendada e semeadas com densidade de 15 sementes por metro linear e 0,5 m entre linhas. Ao longo do ciclo foram feitas duas capinas manuais entre as linhas de plantio (30 e 45 dias após plantio) visando o combate de plantas invasoras. Aos 60 dias as plantas encontravam-se no estágio de floração. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso dispostos em parcelas, com 13 tratamentos. A parcela útil foi considerada como as quatro linhas centrais de cada parcela.

Para avaliação do comportamento do sódio ao longo do perfil do solo, foram feitas amostragens em diferentes profundidades. As coletas foram feitas com trado holandês nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 cm. A amostra composta foi formada por três amostras simples em cada parcela na respectiva profundidade. O material coletado foi seco ao ar, peneirado e enviado para análise.

Aos 80 dias após o plantio, foi feita uma amostragem de plantas nos tratamentos. Foram coletadas aleatoriamente 4 plantas em cada parcela. Estas foram secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C obtendo-se seu peso de matéria seca. A colheita foi parcelada de acordo com o amadurecimento das vagens, sendo a primeira feita aos 90 e a segunda aos 97 dias após o plantio. A produtividade dos tratamentos foi contabilizada baseada no peso do grão no armazenamento (14% base úmida).

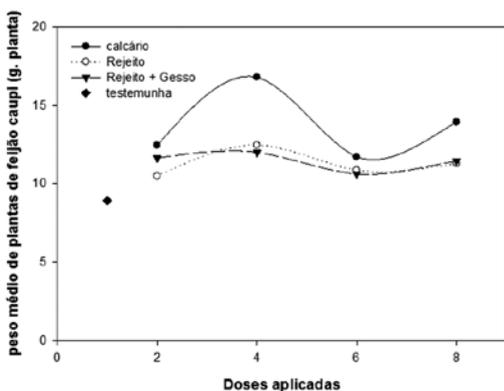
Foto: Bruno C. Azevedo



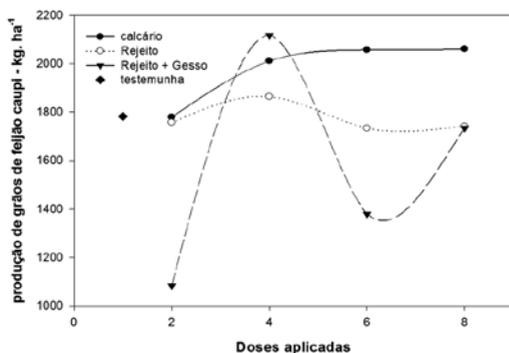
**Fig. 9.** Área experimental preparada e com resíduo alcalino de bauxita sem e com gesso e calcário aplicados sobre a superfície do solo, passagem da grade leve para incorporação de corretivos e sulcamento da área para posterior adubação e plantio.

O peso médio das plantas de feijão caupi em todo o experimento de campo foi de  $11,9 \text{ g.planta}^{-1}$  (Fig. 10). Entre os tratamentos, a aplicação de calcário resultou em valores superiores principalmente na dose de  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Nos tratamentos com resíduo, independente da aplicação de gesso, os resultados foram semelhantes.

A produção média de grãos observada em todo experimento foi de  $1776 \text{ kg ha}^{-1}$  (Fig. 11). Este resultado ficou bem superior à média das lavouras de feijão no Brasil, que está estimada em  $858 \text{ kg ha}^{-1}$ . Entre os tratamentos, a aplicação de calcário apresentou a maior produtividade média, com  $1.976 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido da aplicação de rejeito, com  $1.773 \text{ kg ha}^{-1}$ , e no tratamento resíduo + gesso a



**Fig. 10.** Peso médio das plantas de caupi nos diferentes tratamentos crescendo em condições de campo (AZEVEDO, 2010).



**Fig. 11.** Produção de grãos de feijão caupi nas diferentes doses testadas (AZEVEDO, 2010).

média foi de 1578,46 kg ha<sup>-1</sup>. Este último apresentou uma grande variação de resultados, enquanto que na aplicação de resíduo puro o comportamento foi semelhante à testemunha independente da dose.

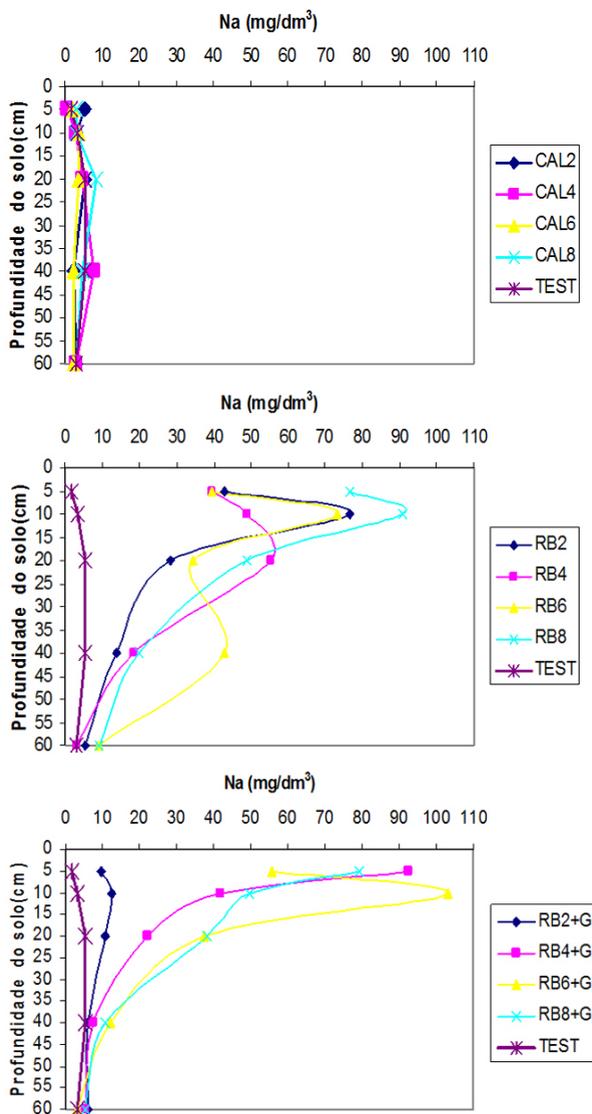
## **Risco de salinização do solo**

Os resultados apresentados anteriormente atestaram a capacidade do resíduo de produção de alumina de aumentar o pH do solo e de, em determinadas doses, ter um efeito positivo sobre o crescimento de algumas culturas, como por exemplo na dose 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo sobre a produção do feijão caupi (Fig. 11). No entanto, o elevado teor de sódio, é um fator de risco para o solo. Nesse caso, as doses potenciais de aplicação como condicionador de solo, devem considerar não só os efeitos sobre o pH e o desempenho agrônômico, mas também evitar a salinização do solo.

A avaliação dos teores de sódio no perfil do solo, após a condução do experimento de campo, revelou que a aplicação do resíduo de produção de alumina promove um rápido incremento do sódio na solução do solo, atingindo valores entre 40 e mais de 70 mg de Na.dm<sup>-3</sup> (Fig. 12). De todos os tratamentos avaliados, o único que não apresentou grandes alterações no teor de sódio no perfil de solo, foi o 2 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de bauxita + 2 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso (Fig. 12). Este resultado sugere que o gesso foi eficiente em lixiviar o sódio do perfil 0-60 cm na dose de até 2 Mg ha<sup>-1</sup>. Tal observação levanta a hipótese de que o mesmo poderia ter acontecido nas maiores doses do resíduo se doses equivalentes de gesso fossem adicionadas para lixiviar o sódio em excesso. No entanto, tais situações não foram avaliadas neste experimento.

## **Avaliação ecotoxicológica do resíduo de produção de alumina**

Os testes ecotoxicológicos de fuga foram realizados com as espécies de Oligochaeta Eisenia andrei e Pontoscolex corethrurus, utilizando-



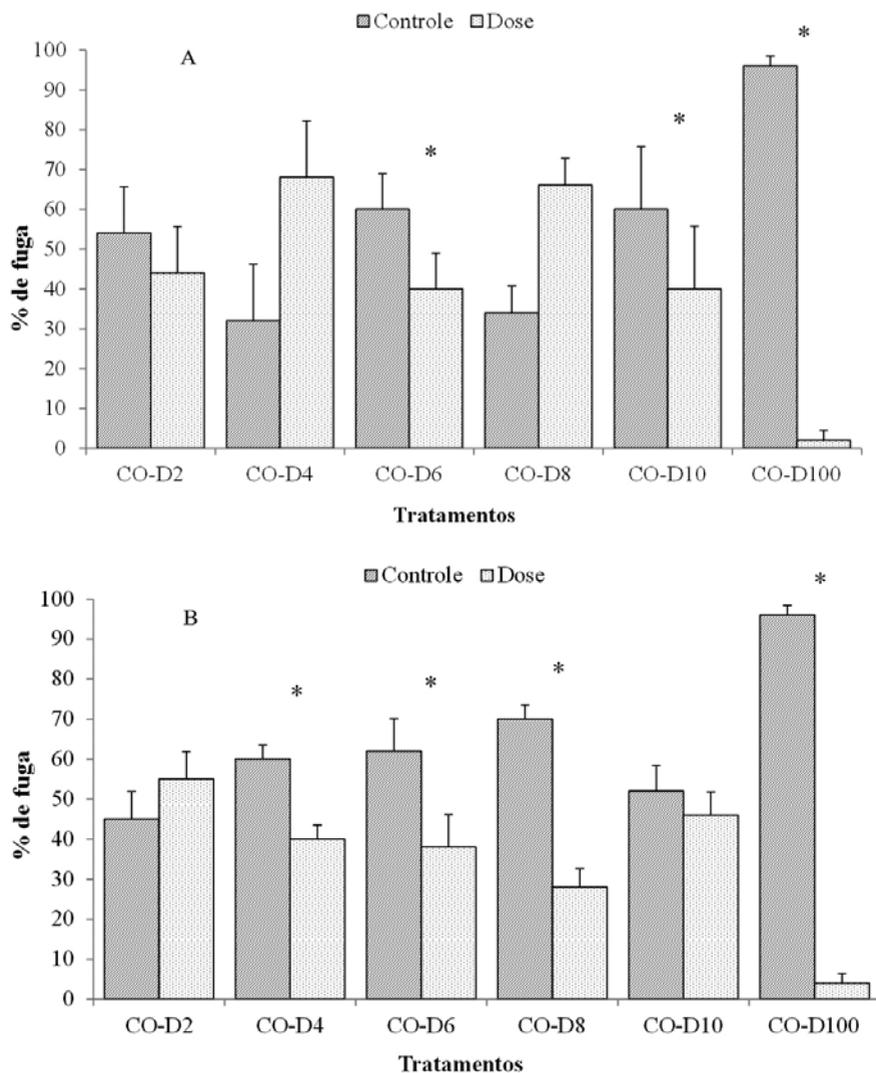
**Fig. 12.** Teores de sódio ( $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) presentes no solo após o experimento de campo, nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm de profundidade. Tratamentos: CAL: Calcário nas doses de 2, 4, 6, 8  $\text{Mg ha}^{-1}$ ; RB: resíduo de bauxita não tratado nas doses de 2, 4, 6, 8  $\text{Mg ha}^{-1}$ ; RB + G: resíduo de bauxita nas doses de 2, 4, 6, 8  $\text{Mg ha}^{-1}$  misturado com 2  $\text{Mg ha}^{-1}$  de gesso e TEST: testemunha.

se o resíduo de produção de alumina não tratado e o Planossolo. Os experimentos realizados em laboratório seguiram um delineamento inteiramente casualizado, sendo 6 tratamentos (doses 2, 4, 6, 8, 10 e 100 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo não tratado de bauxita + controle) com 5 repetições. Os testes de fuga com minhocas foram baseados na norma ISO 238 (ISO, 2003), com algumas modificações.

As unidades experimentais consistiram de caixas plásticas (20 cm x 12 cm x 5 cm) divididas em duas seções de tamanho igual por uma película plástica. Uma das seções continha 500 g do Planossolo com a dose de resíduo e na outra a mesma quantidade do Planossolo sem adição de resíduo. Após o preenchimento com os dois tipos de solo, a película foi retirada e 10 minhocas colocadas na linha divisória entre os dois tipos de solo. Para prevenir o escape das minhocas do recipiente, este foi coberto por uma tela de trama fina. O ensaio esteve incubado em câmara climatizada por 48 horas a 20°C +/- 2°C. Após esse período e Wiechering (2001), o teste de fuga assume que haverá uma distribuição equitativa na unidade experimental, caso se use nas duas seções o mesmo tipo de solo.

Os resultados obtidos nos testes de fuga foram analisados pelo teste Exato de Fisher (ZAR, 1998), que permite a comparação da distribuição dos animais, em relação a uma distribuição esperada, ou seja, assumindo-se uma hipótese nula onde pelo menos a metade do número total de organismos teste ficou no tratamento que é analisado, o que significa que não houve comportamento de exclusão nesse tratamento. Para isso a hipótese nula foi rejeitada considerando-se uma probabilidade igual ou menor que 0.05.

Foram realizados dois ensaios de fuga, um com *Eisenia andrei* e o outro com *Pontoscolex corethrurus*. Na Fig. 13 está representado o comportamento das minhocas das duas espécies (A e B) quando expostas às diferentes doses do resíduo. O comportamento de cada minhoca mostrou-se de certa forma bastante particular, entretanto chegando a uma mesma resposta a partir do tratamento



**Fig. 13.** Resultados obtidos para as combinações do solo controle com cada dose de resíduo de bauxita nos ensaios de fuga com as espécies de minhoca **(A)** *Eisenia andrei* e **(B)** *Pontoscolex corethrurus*. As barras indicam o erro padrão.

\* - indica diferenças estatisticamente significativas segundo Teste de Fisher ( $p = 0,05$ ).

da dose 10 Mg ha<sup>-1</sup>, onde o número de indivíduos presentes no solo controle foi maior que na presença do resíduo, permanecendo assim e ainda em muito menor número na dose 100 Mg ha<sup>-1</sup>. Já para os demais tratamentos, a preferência das duas espécies diferiu uma da outra, exceto na dose 6 Mg ha<sup>-1</sup>. Ainda que oscilando a preferência das minhocas entre o solo controle ou as doses de resíduo estudadas, o comportamento da espécie *P. corethrurus* mostrou maior sensibilidade à presença do resíduo, ainda que o percentual de avoidance obtido na dose de 10 Mg ha<sup>-1</sup> não tenha sido estatisticamente diferente do controle.

*Eisenia andrei* mostrou reações mais bruscas e alternantes com relação à preferência pelo solo com e sem resíduo à medida que se diferenciavam as doses, enquanto que *P. corethrurus* foi apresentando aos poucos menor preferência pelo solo com as doses crescentes. Apesar de *E. andrei* ser a espécie de minhoca recomendada para uso em testes ecotoxicológicos, esta é uma espécie que na natureza encontra-se na superfície do solo, se alimentando de restos vegetais. Por sua vez, *P. corethrurus*, é uma espécie endogeica, ou seja, que vive no interior do perfil de solo, retirando energia da matéria orgânica do solo, sendo conseqüentemente mais diretamente afetada por fatores adicionais, como o resíduo, que alteram química e/ou fisicamente as propriedades do solo.

## Considerações finais

Os resultados obtidos ao longo deste projeto demonstram que o resíduo gerado durante o refino da bauxita é capaz de promover a elevação do pH do solo, em particular do Planossolo estudado. Nos experimentos de vaso, os resultados são variáveis em função da planta-teste. Os efeitos da sua utilização são negativos para feijão comum e positivos para braquiária. A magnitude de tais efeitos é afetada tanto pelo tipo de solo como pela dose testada. Para o ensaio de campo, o efeito sobre a produção de grãos do feijão caupi foi muito variável, não permitindo uma conclusão definitiva sobre a recomendação de seu

uso. Por outro lado, a avaliação dos teores de sódio no perfil do solo, após a condução do experimento de campo, revelou que a aplicação do resíduo de produção de alumina promove um rápido incremento do sódio na solução do solo, exceto quando misturado em partes iguais ao gesso. Adicionalmente, a avaliação ecotoxicológica realizada com duas espécies de minhocas revelou uma ação repelente do resíduo misturado ao solo.

Observa-se, portanto, uma gama de resultados que variam de efeitos positivos a negativos sobre as variáveis em todas as escalas testadas, ou seja, em ensaios de laboratório, casa de vegetação e campo. No entanto, no âmbito deste projeto não foi possível uma avaliação temporal, e os efeitos cumulativos não puderam ser adequadamente mensurados. Dessa forma, embora haja indicação de algum potencial da aplicação do resíduo de produção da alumina como condicionador de solos, não há informações suficientes que permitam afirmar que o seu uso é seguro para o meio ambiente.

## Referências Bibliográficas

ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F. dos; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta**. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S., (Ed.). Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.449-409. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 46).

AZEVEDO, B. C. **Uso do resíduo alcalino de bauxita como condicionador de solos agrícolas**. 2010. 23 f. Monografia. (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

BARROW, N. J. Possibility of using residue from bauxite for improving the chemical and physical properties of sandy soils. **Australian Journal Agricultural Research**, v. 33, n. 2, p. 275-285, 1982.

BRUNORI, C.; CREMISINI, C.; MASSANISSO, P.; PINTO, V.; TORRICELLI, L. Reuse of a treated red mud bauxite waste: studies on environmental compatibility. **Journal of Hazardous Materials**, v. 117, n.1, p. 55-63, 2005.

CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. **Tropical pasture program**. Cali, 1982. Anual Report 1981.

CETREL S/A. **Laudo de classificação de resíduo LC 033/05 Ver. 00.** Camaçari, 2005. Disponível em: <<http://www.cetrel.com.br>>.

CICCU, R.; GHIANI, M.; SERCI, A.; FADDA, S.; PERETTI, R.; ZUCCA, A. Heavy metal immobilization in the mining-contaminated soils using various industrial wastes. **Minerals Engineering**, n. 16, p. 187-192, 2003.

COLLAZO, A.; FERNANDEZ, D.; IZQUIERDO, M.; NOVOA, X. R.; PEREZ, C. Evaluation of red mud as surface treatment for carbon steel prior painting. **Process in Organic Coating**, n. 52. p.351-358, 2005.

DOYE, I.; DUCHESNE, J. Neutralisation of acid mine drainage with alkaline industrial residues: laboratory investigation using batch-leaching tests. **Applied Geochemistry**, n.18, p.1197-1213, 2003.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Electronic code of federal regulations:** identification and listing of hazardous waste: exclusions. title 40, part 261 part 261, sect 4 (b) (7) (ii) (c). disponível em: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&SID=78b284216db45db8dbc3b2c79c01115e&rgn=div8&view=text&node=40:27.0.1.1.2.1.1.4&idno=40> > <http://ecfr.gpoaccess.gov> > Acesso em fev. de 2011.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FORTES, J. L. de O. **Reabilitação de depósito de resíduo do refino de bauxita com o uso de resíduos industriais e leguminosas arbóreas.** 2000. 185 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2000.

GEORGE, P. R.; BRADBY, K. The Peel-Harvey catchment management program. **Fertiliser Research**, v. 36 p. 185-192, 1993.

HIND, R. A., BHARGAVA, S. K., CROCOTT, S. C. The surface chemistry of Bayer process solids: a review. *Colloids and surfaces. A physicochemical and engineering aspects*, n. 146, v. 146, n. 1/3, p. 359-374, 1999.

HUND-RINKE, K.; WIECHERING, H. Earthworm avoidance test for soil assessment. *Journal of Soils and Sediments*, v. 1, p. 15-20, 2001.

INSTITUTO DE POTASSA & FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. rev. e ampl. Piracicaba, 1998. 177 p.

ISO. International Standard Organization. **ISO 17512-1:2008**: soil quality: avoidance test for testing the quality soils and toxicity of chemical: test with earthworms (*Eisenia andrei*). Paris, 2003. ISO draft 238.

JONES, B. E. H.; HAYNES, R. J. Bauxite processing residue: a critical review of its formation, properties, storage, and revegetation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 41, n. 3, p. 271- 315, 2011.

KALKAN, E. Utilization of red mud as a stabilization material for the preparation of Clay liners. *Engineering Geology*, n. 87, p. 220-229, 2006.

KIRKPATRICK, D. B. Red mud product development. In: **light metals**. Warrendale, PE, USA: The Minerals, Metals & Materials Society, 1996. p. 75-80.

KLAUBER, C.; GRÄFE, M.; POWER, G. Bauxite residue issues: II. options for residue utilization. *Hydrometallurgy*, v. 108, p. 11-32, 2011.

KOPITTKE, P. M.; MENZIS, N. Effect of pH on Na induced Ca deficiency. *Plant and Soil*, v.1. n. 29, p.1-11, 2004.

LI, L. Y. A study of iron mineral transformation to reduce red mud tailings. **Waste Management**, n. 21, p. 525-534, 2001.

LOMBI, E.; ZHAO, F.; ZHANG, G.; SUN, B.; FITZ, W.; ZHANG, H.; McGRATH, S. In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: chemical assessment. **Environmental Pollution**. n. 118, p.435-443, 2002.

McCONCHIE, D.; CLARK, M.; DAVIES-McCONCHIE, F. New strategies for the management of bauxite refinery residues (red mud). In.: INTERNATIONAL ALUMINA QUALITY WORKSHOP, 6., Brisbane, AU: **Proceedings of the...** Brisbane, [S.n.], 2002. p. 327-332.

MANUAL de adubação para o Rio de Janeiro. Itaguaí: Editora da Universidade Rural, 1988.

MOREIRA, J. F. **Avaliação do resíduo alcalino do refino de bauxita como condicionador de solos e do estabelecimento de dendê nos tanques de estocagem**. Seropédica, UFRRJ, 2006, 84 p. Dissertação. (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

PARK, S.; JUN, B. Improvement of red mud polymer-matrix nanocomposites by red mud surface treatment. **Journal of Colloid and Interface Science**. v. 284, p. 204-209, 2005.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba: Esalq, 1990. 188 p.

SANTORA, L.; CASTALDI, P.; MELIS, P. Evaluation of the interaction mechanisms between red muds and heavy metals. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 2, p. 324-329, 2006.

SILVA FILHO, E. B.; ALVES, M. C. M.; MOTTA, M. da. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. **Revista Matéria**, v. 12, n. 2, p. 322-338, 2007.

SINGH, M.; GARG, M. Study on anhydrite plaster from waste phosphogypsum for use in polymerised flooring composition. **Construction and Building Materials**, n. 19, pp. 25-29, 2005.

SIQUEIRA, C.; CARVALHO, M. M. de; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, F. T. T. Resposta de três gramíneas forrageiras tropicais à aplicação de calcário e fósforo em um solo ácido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 1., 1980, Fortaleza, CE, **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1980. p. 473.

SNARS, K; HUGHES, J. C.; GILKES, R. J. The effects of addition of bauxite red mud to soil on P uptake by plants. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 55, p. 25-31, 2004.

SUMMERS, R. N.; RIVERS, M. R.; CLARKE, M. F. The use of bauxite residue to control diffuse phosphorus pollution in Western Australia: a win-win-win outcome". In.: INTERNATIONAL ALUMINA QUALITY WORKSHOP, 6., Brisbane, AU: **Proceedings of the...** Brisbane, [S.n.], 2002. p. 262-269.

SUMMERS, R. N.; SMIRK, D. D.; KARAFILIS, D. Phosphorus retention and leachates from sandy soils amended with bauxite residue (red mud). **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.34 p. 555-567, 1996.

TSAKIRIDIS, P. E.; AGATZINI-LEONARDOU, S.; OUSTADAKIS, P. Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker. **Journal of Hazardous Materials**, v. 10, n. 116, p. 103-110, 2004.

THE CHEMISTRY and processing of Jamaican bauxite. Disponível em:<http://wwwchem.uwimona.edu.jm:1104/lectures/bauxite.html>. Acesso em fev. 2010.

VLAHOS, S.; SUMMERS, K. J.; BELL, D. T.; GILKES, R. J. Reducing phosphorus leaching from sandy soils with red mud bauxite processing residues. **Australian Journal of Soil Research**, v. 27, p. 651-671, 1989.

WANG, S.; BOYJOO, Y.; CHOUEIB, A.; ZHU, Z. H. Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and red mud. **Water Research**, n. 39, p. 129-138, 2005.

WARD, S. C.; SUMMERS, R. N. Modifying sandy soils with the fine residue from bauxite refining to retain phosphorus and increase plant yield. **Fertilizer Research**, Hague, v. 36, p. 151-156, 1993.

WONG, J. W. C. **Sodium Release Characteristics and revegetation of fine bauxite refining residue (red mud)**. Perth, AU, Murdoch University, 1990. 443 p.

YALCIN, N.; SEVINC, V. Utilization of bauxite waste in ceramic glazes. **Ceramics International**, v. 26, p. 485-493, 2000.

ZAR, J. **Bioestatistical Analysis**. London: Prentice-Hall, 1996.



**Embrapa**

---

**Agrobiologia**

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA