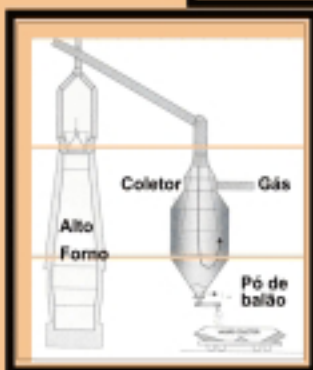
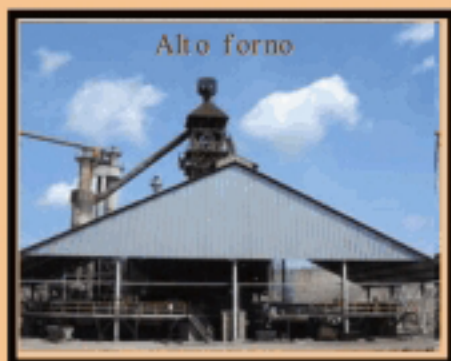


Alternativas Tecnológicas para o Aproveitamento de Resíduos Gerados Durante o Processo de Produção de Ferro Gusa Voltadas para Utilização Agroflorestal: Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica



Pó de balão



Escória

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

Documentos 333

**Alternativas Tecnológicas para
o Aproveitamento de Resíduos
Gerados Durante o Processo de
Produção de Ferro Gusa Vol-
tadas para Utilização Agroflo-
restal: Estudo de Viabilidade
Técnica e Econômica Título da
publicação**

*Edilson Carvalho Brasil
Clarisse Maia Lana Nicoli
Raimundo Freire de Oliveira*

Esta publicação está disponível no endereço:
http://www.cpatu.embrapa.br/publicacoes_online

Exemplares da mesma podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Oriental

Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n.
Caixa Postal 48. CEP 66095-100 - Belém, PA
Fone: (91) 3204-1000
Fax: (91) 3276-9845
sac@cpatu.embrapa.br

Comitê Local de Editoração

Presidente: Moacyr Bernardino Dias-Filho
Secretário-Executivo: Walkymário de Paulo Lemos
Membros: Adelina do Socorro Serrão Belém
Ana Carolina Martins de Queiroz
Célia Regina Tremacoldi
Luciane Chedid Melo Borges
Paulo Campos Christo Fernandes
Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol

Revisão Técnica: Leonardo Theodoro Büll – Unesp
Renato de Melo Prado – Unesp

Supervisão editorial: Adelina Belém
Supervisão gráfica: Guilherme Leopoldo da Costa Fernandes
Revisão de texto: Luciane Chedid Melo Borges
Normalização bibliográfica: Adelina Belém
Editoração eletrônica: Euclides Pereira dos Santos Filho
Foto da capa: Edilson Carvalho Brasil

1ª edição

Versão eletrônica (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 Amazônia Oriental**

Brasil, Edilson Carvalho

Alternativas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos gerados durante o processo de produção de ferro gusa voltadas para utilização agroflorestal: estudo de viabilidade técnica e econômica / Edilson Carvalho Brasil, Clarisse Maia Lana Nicoli, Raimundo Freire de Oliveira.— Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008.

47p. : 21 cm. – (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 333).

ISSN 1517-2201

1. Metal pesado. 2. Resíduo industrial. 3. Recurso mineral. 4. Reciclagem.
5. Desenvolvimento econômico. 6. Preservação da natureza. 7. Meio ambiente
I. Nicoli, Clarisse Maia Lana. II. Oliveira, Raimundo Freire de. III. Título. IV. Série.

CDD 333.76

© Embrapa 2008

Autores

Edilson Carvalho Brasil

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.

brasil@cpatu.embapa.br

Clarisse Maia Lana Nicoli

Engenheira Agrônoma, Mestre em Economia Aplicada, Pesquisadora da Embrapa Café, Brasília, DF.

clarisse.nicoli@embrapa.br

Raimundo Freire de Oliveira

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciência do Solo, Pesquisador aposentado da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.

Apresentação

O documento “Alternativas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos gerados durante o processo de produção de ferro gusa voltadas para utilização agroflorestal” constitui a compatibilização dos relatórios de viabilidade técnica, econômica e comercial da primeira fase do projeto de mesmo nome, aprovado no Programa InovarPará em 2005, Protocolo 45122, apresentado à Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, atual Secretaria de Estado de Desenvolvimento, Ciência e Tecnologia (Sedect), do Governo do Estado do Pará. O referido projeto integra uma parceria entre Embrapa, Sedect e Companhia Siderúrgica do Pará (Cosipar), que financia parte dos recursos.

O Projeto visa desenvolver alternativas de aproveitamento econômico dos resíduos “escória de siderúrgica” e “pó de balão ou resíduo charcok”, gerados durante o processo de produção de ferro gusa, para utilização agroflorestal como insumo agropecuário (corretivo de acidez e adubo orgânico), buscando a melhoria de características químicas do solo.

A geração de resíduos oriundos do processo de produção das indústrias siderúrgicas de ferro gusa representa uma grande preocupação ambiental, já que sua disposição é onerosa e trabalhosa, ficando grandes quantidades depositadas a céu aberto, nos locais de origem. A busca de alternativas para o aproveitamento desses resíduos, principalmente

escória e pó de balão, voltadas para aplicações em indústrias de cerâmicas, cimenteiras e na atividade agropecuária, tem se constituído em uma forma de destinação mais econômica e com menor impacto para o meio ambiente.

Este trabalho de pesquisa representa o comprometimento da Embrapa Amazônia Oriental em contribuir para a preservação do meio ambiente e mostra a capacidade institucional em promover parceria com a iniciativa privada, na busca conjunta de soluções tecnológicas que permitam a conversão de resíduos industriais em insumos viáveis do ponto de vista agrícola.

Cláudio José Reis de Carvalho

Chefe-Geral da Embrapa Amazônia Oriental

Sumário

Alternativas Tecnológicas para o Aproveitamento de Resíduos Gerados Durante o Processo de Produção de Ferro Gusa Voltadas para Utilização Agroflorestal: Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica..... 11

Introdução..... 11

Estudo de viabilidade técnica dos resíduos 13

Caracterização química dos resíduos 13

Testes exploratórios com os resíduos 16

Resultados alcançados..... 17

Escória de siderurgia 17

 Caracterização química 17

 Ensaio exploratório 20

Pó de balão 25

 Caracterização química 25

 Ensaio exploratório 26

Considerações finais..... 30

Estudo de viabilidade econômica e comercial dos resíduos siderúrgicos 31

Caracterização dos produtos..... 31

Estimativa das quantidades produzidas e demanda potencial dos resíduos 33

Análise de custo dos insumos..... 34

Análise comparativa dos custos da escória em relação ao calcário	36
Análise comparativa dos custos do pó de balão em relação a adubos orgânicos.....	41
Potencialidades de mercado.....	42
Conclusão	43
Referências	44

Alternativas Tecnológicas para o Aproveitamento de Resíduos Gerados Durante o Processo de Produção de Ferro Gusa Voltadas para Utilização Agroflorestal: Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica

Edilson Carvalho Brasil
Clarisse Maia Lana Nicoli
Raimundo Freire de Oliveira

Introdução

O Brasil é o único país que opera altos fornos alimentados a carvão vegetal para a produção de ferro gusa comercial. Em 2004, a produção de gusa no País foi de 8,7 milhões de toneladas e cerca de 2,5 milhões de toneladas foram provenientes da região de Carajás, utilizadas em aciarias e fundições (FERREIRA; CALAES, 2005). No distrito industrial do Município de Marabá, PA, encontram-se instaladas 14 siderúrgicas que utilizam minério de ferro da jazida de Carajás para a produção de aço e de peças fundidas.

Durante o processo de fundição de aço e de ferro gusa, são gerados diversos resíduos, dentre os quais a “escória” e o “pó de balão”. O primeiro é composto, principalmente, pela ganga do minério (SiO_2 , Al_2O_3), fundentes (CaO , MgO) e pelas cinzas do carvão vegetal. O segundo é obtido do sistema de limpeza a seco dos gases dos altos fornos e consiste no material particulado carregado do forno pelos gases efluentes.

A escória do alto forno constitui a principal fatia do total de resíduos gerados, sendo obtida pela reação entre os fundentes e as impurezas dos minérios, o que resulta em elevados teores de sílica (SiO_2) e de óxido

de cálcio (CaO), além de óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de magnésio (MgO) e óxido de ferro (FeO). Sua produção total gira em torno de 100 kg/t a 150 kg/t de ferro gusa, ou seja 10 % a 15%. Segundo Prado et al. (2001), a sua composição varia em decorrência da constituição química da matéria-prima (minério de ferro, carvão, calcário) utilizada no processo de fabricação do produto. Pelo fato de as escórias apresentarem constituintes neutralizantes (ALCARDE, 1992) e bases como Ca, Mg (PIAU, 1991), além do Si (WINSLOW, 1992), o uso agrícola da escória de siderurgia como alternativa ao tradicional calcário ainda tem a vantagem de diminuir o impacto ambiental em torno das indústrias produtoras de ferro e aço.

O aproveitamento agrícola desse resíduo industrial é pouco utilizado no Brasil, apesar da grande quantidade disponível. As melhorias das características químicas do solo pela utilização de escórias são decorrentes da ação neutralizante do SiO_3^{-2} , e, conseqüentemente, da elevação do pH, CTC e V%, além de poder ser usada como fonte de alguns nutrientes como Ca, Mg, Zn, B, Fe e Mn (PIAU, 1995) e, ainda, em virtude da presença do ânion $H_3SiO_4^-$, que exerce efeito competitivo com o $H_2PO_4^-$, reduzindo a adsorção ou aumentando a disponibilidade de fósforo no solo (PRADO; FERNANDES, 1999; PRADO et al., 2002). Atualmente, a escória de siderurgia é classificada como corretivo de acidez do solo. No entanto, o material corretivo mais utilizado no Brasil é o calcário, assim como o mais pesquisado, visto que é consumido um total de 19,812 milhões de toneladas anualmente, considerando o ano de 2000 (POTAFOS, 2003).

Por sua vez, o pó de balão ou resíduo charcok, constituído, predominantemente, por uma mistura de óxidos de ferro e finos de carvão vegetal e calcário, em decorrência da grande quantidade de pó arrastado do sistema de limpeza a seco dos gases dos altos fornos, apresenta uma quantidade gerada de aproximadamente 20 kg/t a 45 kg/t de ferro gusa. A composição química desse tipo de resíduo varia com o processo e com as matérias-primas empregadas, sendo constituído, principalmente, por óxidos de ferro (~45 %), carbono (~24 %), sílica (7 % - 25 %),

cinzas (~75 %) e alumina (1,5 % – 12 %). Atualmente, experiências bem-sucedidas têm sido conduzidas pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), buscando aplicações mais nobres desse resíduo como fertilizante em atividades agroflorestais (LIMA, 2003).

Apesar dos indicativos de aproveitamento agrícola desses resíduos, especialmente da escória, existe uma carência muito grande de estudos técnicos do sistema solo-planta para fundamentar o uso dentro do meio agrícola, nas condições específicas de diferentes regiões do País e para diferentes sistemas de produção de culturas de interesse econômico. No Pará, não existem informações a respeito do aproveitamento de resíduos de siderúrgicas como insumo agrícola, havendo a necessidade do desenvolvimento de pesquisa nesse sentido, o que possibilitaria a redução dos custos de produção da atividade agrícola no estado, além de minimizar o impacto ambiental nas áreas de entorno das siderúrgicas.

Neste trabalho, são apresentados os resultados obtidos na primeira fase do projeto “Alternativas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos gerados durante o processo de produção de ferro gusa voltadas para utilização agroflorestal”, Programa InovarPará, Protocolo 45122, referentes ao Relatório de viabilidade técnica, econômica e comercial, período 2005-2006, apresentado à Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, do Governo do Estado do Pará, em janeiro de 2006.

Estudo de viabilidade técnica dos resíduos

Caracterização química dos resíduos

Na primeira fase, foram conduzidos estudos para a caracterização química dos resíduos siderúrgicos, por meio da realização de análises em amostras coletadas nos locais de geração dos resíduos.

A escória foi coletada em vazamentos de um alto forno da Companhia Siderúrgica Paraense (Cosipar), localizada no Município de Marabá, PA (Fig. 1). As amostras foram tratadas no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA, sendo trituradas manualmente e

passadas em peneira ABNT n.º 50, com abertura de malha de 0,30 mm e colocadas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até obtenção de massa constante. Em seguida, procedeu-se à análise química, conforme a metodologia preconizada pela Associação Nacional de Defensivo Agrícolas (Anda), estabelecida pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e a legislação brasileira de fertilizantes e corretivos de acidez do solo (BRASIL, 1986). As análises químicas envolveram a determinação da concentração dos constituintes, como cálcio, magnésio e silício, além dos teores de alumínio, ferro e manganês. Paralelamente, realizou-se a análise de reação alcalina da escória para avaliar a capacidade reativa — Poder de Neutralização (PN) —, por meio da estimativa do poder relativo de neutralização total (PRNT), parâmetro utilizado na avaliação da qualidade de produtos corretivos existentes no mercado.



Fig. 1. Escória obtida em vazamento de um alto forno da Companhia Siderúrgica Paraense (Cosipar), localizada no Município de Marabá, PA.

Foto: Edilson Carvalho Brasil.

O pó de balão foi coletado em área de deposição de resíduo da Cosipar e as amostras foram passadas em peneira ABNT n.º 10, com abertura de malha de 2 mm, no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA (Fig. 2).

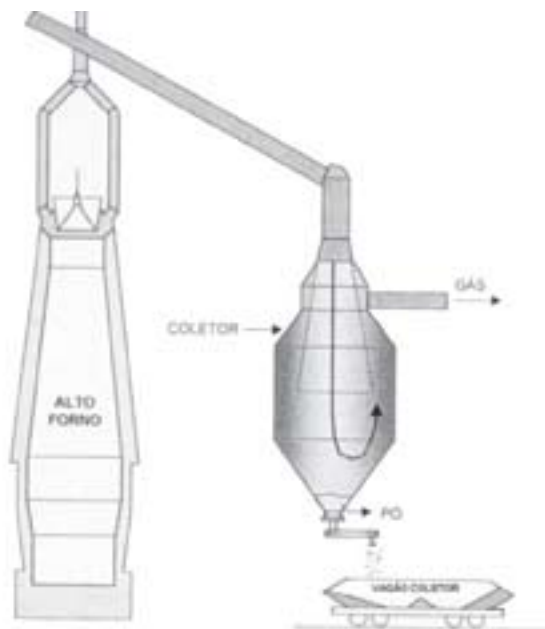


Fig. 2. Esquema do coletor de pó de balão para limpeza do gás de topo do alto forno.

Fonte: Adaptado de Jacomino et al. (2002).

Após a secagem das amostras, em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, procedeu-se à análise química conforme metodologia descrita em Brasil (1988), Sarruge e Haag (1974). Realizaram-se as seguintes determinações: teores de carbono total, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco.

Testes exploratórios com os resíduos

Após a caracterização química dos resíduos, foram realizados ensaios exploratórios, em que a escória e o pó de balão foram misturados com amostras de solo, para avaliar a capacidade de reação, solubilização e disponibilização dos constituintes dos resíduos com o solo.

O ensaio exploratório com a escória foi realizado para avaliar a capacidade reativa e o tempo de efetiva neutralização do resíduo no solo, por meio de estudos de curva de neutralização do resíduo em relação a calcários utilizados na agricultura. Utilizou-se amostras coletadas da camada superficial (0 cm – 20 cm) de um solo representativo da região, com características ácidas, classificado como Latossolo Amarelo distrófico.

O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado, com três repetições, em arranjo fatorial 3x4, correspondendo à combinação de três corretivos de acidez (calcário dolomítico, calcário calcítico e escória) e quatro níveis de saturação por bases (60 %, 80 %, 100 % e 120 %).

As amostras de solo foram analisadas quimicamente para determinar as condições de instalação do ensaio, conforme metodologia preconizada pela Embrapa (1997). Após a aplicação dos corretivos ao solo, as amostras foram acondicionadas em recipientes de plástico com capacidade de 300 ml, que receberam quantidades de água suficientes para manter a umidade do solo em torno de 60 % da capacidade de retenção de água. O material ficou em incubação até a plena solubilização do produto no solo e a estabilização da curva de neutralização, que correspondeu a um período aproximado de 30 dias.

As avaliações iniciaram-se a partir do segundo dia, coletando-se subamostras de solo para determinação do pH em água. Após a primeira avaliação, as subamostras foram coletadas e analisadas a cada 5 dias. Após a última avaliação, subamostras foram coletadas para realização de análise química, determinando-se os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio.

No caso do pó de balão, o ensaio exploratório foi realizado para avaliar a solubilidade e a disponibilização de nutrientes do resíduo para o solo, visando determinar a quantidade necessária do produto a ser efetivamente aplicada, para a melhoria de atributos químicos do solo. Utilizaram-se amostras do mesmo solo usado no ensaio exploratório da escória, que foram analisadas quanto às características químicas antes da instalação do ensaio.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com sete tratamentos e três repetições, consistindo de doses de pó de balão, em quantidades equivalentes a 0 g/kg, 10 g/kg, 20 g/kg, 40 g/kg, 80 g/kg, 120 g/kg e 240 g/kg.

As misturas foram acondicionadas em vasos de plástico com capacidade de 1,5 kg, que receberam quantidades de água suficientes para manter a umidade do solo em torno de 60 % da capacidade de retenção de água. Após 4 dias da aplicação do resíduo, retiraram-se subamostras de solo para análise química, realizando as seguintes determinações: pH em água, carbono, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio.

Os resultados foram avaliados estatisticamente, por meio de análise de variância, em 5 % de probabilidade, e as médias foram comparadas por análise de regressão.

Resultados alcançados

Escória de siderurgia

Caracterização química

De acordo com a legislação brasileira de corretivos de acidez do solo (BRASIL, 1986), o calcário para ser comercializado deve apresentar características mínimas no tocante ao poder de neutralização e reatividade (RE), ao passo que, para a escória de siderurgia, a exigência mínima está restrita apenas ao poder de neutralização.

Com base na composição química da escória coletada em um dos alto fornos da Companhia Siderúrgica Paraense (Cosipar) (Tabela 1), pode-se inferir que, do ponto de vista químico, o resíduo apresenta características para utilização como corretivo de acidez, em decorrência de a soma dos teores de CaO + MgO (38,97 %) encontrar-se acima da exigência mínima estabelecida pela legislação brasileira de corretivos, que preconiza para a escória de teores mínimos de 30 % para a soma desses óxidos.

Em termos comparativos aos calcários, a escória poderia ser comparada ao calcário calcítico, já que a legislação brasileira estabelece que o corretivo deve apresentar até 10 % de MgO para ser classificado como calcário calcítico.

Com relação ao resultado do poder de neutralização (PN) da escória, obtido a partir da análise em laboratório, o valor do PN foi de 70 % E_{CaCO_3} . Considerando-se que a amostra continha granulometria inferior a 0,30 mm e que esse tamanho de partícula para a caracterização de calcários representa uma taxa de reatividade igual a 100 %, o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) da escória foi também de 70 %. Conforme a legislação brasileira de corretivos de acidez, esse valor encontra-se acima da exigência mínima estabelecida para o PN, que preconiza um valor acima de 60 % E_{CaCO_3} para as escórias .

Tabela 1. Composição química da escória de siderurgia obtida por meio da análise de fluorescência de Raio X.

Elemento	Composição (%)
CaO	35,51
MgO	3,46
Al ₂ O ₃	10,89
SiO ₂	46,07
FeO	0,81
MnO	0,80

Para que o material atue como corretivo de acidez do solo com alta eficiência, não é suficiente apenas que apresente alto poder de neutralização, mas que o tempo para que haja correção da acidez seja satisfatoriamente rápido. Assim sendo, diz-se que esse fenômeno está relacionado, especialmente, com o grau de moagem do material, ou seja, com sua granulometria, embora a natureza química também possa influenciar. Como são materiais distintos, pode-se admitir que as taxas de reatividade (RE) utilizadas para o calcário talvez não expressem a mesma realidade no caso da escória, visto que esse produto apresenta constituição química e física complexa e distinta do calcário. Essa diferença aparece desde a composição da escória (silicatos de cálcio e magnésio associados a compostos de Fe, Al e Mn) e durante a fase de produção desses resíduos (PRADO et al., 2001a, 2001b).

Pela prática agrícola, convencionou-se que a RE relativa a uma fração granulométrica é a sua capacidade de ação na neutralização da acidez do solo num período de 3 meses. Entretanto, quando esses resultados da taxa de RE estabelecidos pela legislação brasileira são extrapolados para a escória, pode-se obter erros, visto que, mesmo para os próprios calcários, essas taxas não encontraram respaldo na literatura (BELLINGIERI et al., 1988; NATALE; COUTINHO, 1994).

Durante o processo industrial, no momento de saída do forno da siderúrgica, o resfriamento da escória pode afetar sua qualidade. Assim, se a escória não receber um resfriamento rápido (“quenching”) com jatos d’água, ocorrerá maior recristalização dos seus constituintes, o que poderá reduzir sua solubilidade.

Além das características corretivas de acidez, pela análise química da escória, observou-se alto teor de SiO_2 (46,07 %), indicando a possibilidade de o resíduo ser utilizado como fonte de silício para o solo, podendo ser empregado com grande importância para o cultivo de gramíneas, como arroz, milho e plantas forrageiras.

Diversos estudos têm mostrado o envolvimento do silício em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida de diversas culturas (arroz irrigado, cana-de-açúcar, milho, sorgo, tomate, pepinos), com papéis bastante diversos (MIYAKE; TAKAHASHI, 1978; ELAWAD et al., 1982; MIYAKE; TAKAHASHI, 1983; SNYDER et al., 1986; CLARK et al., 1990; ANDERSON et al., 1991; KORNDÖRFER et al., 2001). O silício tem um papel importante nas relações planta-ambiente, pois pode dar à cultura melhores condições para suportar adversidades climáticas, edáficas e biológicas, tendo como resultado final um aumento e maior qualidade na produção. Estresses causados por temperaturas extremas, veranicos, metais pesados ou tóxicos, por exemplo, podem ter seus efeitos reduzidos com o uso do silício. Um dos efeitos benéficos importantes é o seu papel em reduzir a susceptibilidade das plantas a doenças causadas por fungos.

A resistência das plantas às doenças pode ser aumentada por meio da formação de barreiras mecânicas e/ou pela alteração das respostas químicas da planta ao ataque do parasita, aumentando a síntese de toxinas que podem agir como substâncias inibidoras ou repelentes. Barreiras mecânicas incluem mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais grossas e um grau maior de lignificação e/ou silicificação (acúmulo de silício). Assim, a adubação com Si pode aumentar a produtividade de certas culturas, principalmente, pelo aumento da resistência destas ao ataque de pragas e doenças e pela maior resistência ao acamamento e ao estresse hídrico. Os benefícios do uso do Si se manifestam não apenas em plantas conhecidas como acumuladoras (arroz, cana e pastagem), mas também em plantas não acumuladoras de Si (tomate, plantas típicas da vegetação do cerrado, etc.).

Ensaio exploratório

No ensaio exploratório, realizou-se o estudo de curva de neutralização da escória comparando-se com o calcário calcítico e o dolomítico disponíveis no mercado de Belém, que serviram de controle de comparação. Para atender às exigências experimentais do trabalho, buscou-se utilizar calcários de alta qualidade, com base na sua composição química.

Antes do ensaio exploratório, realizou-se um teste preliminar para identificar as faixas de doses mais adequadas para as condições do trabalho. Com base nesse teste, as quantidades dos corretivos foram calculadas tomando-se como critério a elevação da saturação por bases do solo para 60 %, 80 %, 100 % e 120 %. As quantidades de cada um dos corretivos a serem aplicadas foram ajustadas para o PN de 100 %.

Os resultados da análise química dos corretivos de acidez utilizados no ensaio são apresentados na Tabela 2. Observou-se que o menor PRNT foi apresentado pela escória, indicando uma qualidade inferior do resíduo, em relação aos calcários utilizados como padrão de comparação.

Tabela 2. Análise química dos materiais corretivos com fração granulométrica < 0,3 mm (peneira ABNT 50).

Corretivo	PN	RE (%)	PRNT	Teor (%)	
				Ca *	Mg *
Escória	70	100	70	13,2	1,5
Calcário dolomítico	95	100	95	12,7	5,1
Calcário calcítico	98	100	98	18,6	0,1

(*) Teores determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

RE = Reatividade; PN = Poder de neutralização; PRNT = Poder relativo de neutralização total.

O solo utilizado no estudo apresentou as seguintes características químicas antes da aplicação dos tratamentos: pH em água = 4,1; carbono orgânico total = 11,4 g kg⁻¹; P = 4 mg dm⁻³; K⁺ = 19 mg dm⁻³; Ca⁺² = 0,6 cmol_c dm⁻³; Ca+Mg = 1,0 cmol_c dm⁻³; Al⁺³ = 1,6 cmol_c dm⁻³, CTC = 6,61 cmol_c dm⁻³; V% = 16,8 %.

Os resultados da curva de neutralização são apresentados na Tabela 3. Observou-se que todos os corretivos promoveram aumento do valor do pH em água, em decorrência da aplicação de doses dos produtos, independentemente da época de medição.

Dentre os corretivos utilizados, a escória apresentou a maior solubilidade, já que foram observadas as menores variações de pH do solo em função do tempo de incubação.

Tabela 3. Valores de pH em água em amostras de solo em função de doses equivalentes dos corretivos e ao tempo de incubação (valor inicial do pH = 4,1).

Equivalente V%	Tempo de incubação (dia)					
	2	5	10	20	25	30
Calcário calcítico						
60	6,4	6,7	6,7	6,8	6,6	6,5
80	6,8	7,1	7,2	7,1	7,1	6,9
100	7,0	7,5	7,5	7,5	7,2	7,0
120	7,3	7,4	7,6	7,7	7,5	7,5
Calcário dolomítico						
60	6,2	6,2	6,2	6,4	6,2	6,3
80	6,5	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6
100	6,6	6,7	6,7	6,9	6,9	6,8
120	6,9	6,8	6,8	7,1	6,9	6,9
Escória						
60	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,5
80	5,6	5,6	5,7	5,6	5,6	5,6
100	5,7	5,7	5,7	5,8	5,7	5,8
120	5,8	5,8	5,8	5,8	5,7	5,8

A incorporação da escória ao solo proporcionou os menores aumentos de pH em relação aos calcários padrão, indicando a superioridade dos calcários na neutralização da acidez do solo. Apesar de ter apresentado a menor eficiência na correção do pH do solo, pode-se dizer que o resíduo apresentou expressivo efeito corretivo, já que mesmo na menor dose aplicada o pH atingiu valores considerados ótimos para o desenvolvimento das culturas de interesse econômico no País. Além disso, os

calcários usados no presente estudo são de alta qualidade (para atender às exigências experimentais), o que não representa a realidade dos produtos comercializados no meio agrícola do Pará, onde encontram-se, comumente, calcários com PRNT na faixa de 70 % – 80 %. Nessas condições, a escória torna-se altamente competitiva para ser utilizada como corretivo de acidez do solo.

Os resultados mostram, também, que a aplicação da escória baseada no PN não foi tão eficaz, como observado para os carbonatos de cálcio, evidenciando o comportamento distinto dos materiais corretivos na eficiência da neutralização da acidez, o que pode ser decorrente da diferença na natureza química dos materiais (silicato e carbonato). Esse aspecto foi verificado por Fortes (1999) e Prado et al. (2004), que obtiveram resultados de mesma ordem de resposta.

Essa menor alteração no pH do solo pode estar relacionada à forma de resfriamento da escória. No presente estudo, utilizaram-se amostras de uma escória resfriada ao ar em temperatura ambiente, sem qualquer tratamento. Esse processo proporciona maior recristalização do resíduo, reduzindo a solubilidade dos compostos. Jacomino et al. (2002) considera que a forma de resfriamento na saída do alto forno tem grande importância na qualidade da escória e, em consequência, na sua reatividade no solo. Outra forma de resfriamento da escória pode ser realizada pela aplicação de jatos de água (“quenching”), que evita a recristalização dos constituintes, facilitando a solubilidade e a reatividade, quando incorporada ao solo. Ainda, segundo os autores, a escória resfriada dessa forma apresenta-se bastante friável, fazendo com que a granulometria tenha pouca importância no seu efeito corretivo.

De acordo com os resultados das características químicas das amostras antes e após a aplicação dos materiais corretivos (Tabela 4), verificou-se que houve expressivas melhorias nos atributos químicos do solo em função da incorporação dos corretivos. O teor inicial de alumínio foi reduzido a valores de 0,1 a 0,3, considerados não tóxicos para as culturas agrícolas em geral.

Tabela 4. Características químicas do solo antes e após a aplicação dos materiais corretivos.

Equivalente (V%)	pH água	P	K	Ca	Ca+Mg	Al
		----- mgdm ⁻³ -----	----- cmol _c dm ⁻³ -----			
Antes da aplicação dos materiais corretivos						
17	4,1	5	19	0,6	1,0	1,6
Após a aplicação do calcário calcítico						
60	6,30	4	18,00	3,27	3,90	0,10
80	6,73	3	23,00	4,13	5,07	0,10
100	6,77	4	19,33	4,23	4,77	0,10
120	7,23	3	13,33	4,60	6,30	0,10
Após a aplicação do calcário dolomítico						
60	6,23	5	19,33	1,90	3,60	0,10
80	6,43	5	12,67	1,97	3,70	0,10
100	6,63	5	14,33	2,27	4,10	0,10
120	6,80	5	21,00	2,60	4,73	0,10
Após a aplicação da escória						
60	5,40	5	49,00	1,60	2,80	0,30
80	5,40	5	59,67	1,60	2,83	0,27
100	5,53	5	62,67	1,63	3,50	0,20
120	5,53	5	59,67	1,80	3,03	0,20

Fonte: Embrapa (1997).

Foram observados aumentos significativos nos teores de cálcio e magnésio, considerados ótimos para a grande maioria das culturas de interesse econômico, com a aplicação de corretivos. Além disso, a escória promoveu os maiores aumentos nos teores de potássio no solo, em relação aos demais materiais corretivos, o que pode contribuir, significativamente, para o aumento da produção das culturas.

Todos esses aspectos demonstram o grande potencial da escória de siderurgia para ser utilizada como corretivo de acidez do solo e como fornecedor de nutrientes para a melhoria do estado nutricional das culturas.

No entanto, há necessidade de estudos mais detalhados para que se possa obter um produto apto para ser utilizado, do ponto de vista agrícola. Todos os estudos realizados até o momento, referentes à primeira fase do projeto, envolveram a caracterização química e reatividade no solo, não sendo realizados estudos envolvendo plantas como indicador da eficiência. Essa etapa é fundamental, já que, conforme as Normas do Ministério de Agricultura, todo e qualquer produto somente pode ser comercializado como insumo agrícola após a comprovação de sua eficiência por meio de estudos agronômicos com plantas teste. No contexto do projeto, esses estudos serão realizados na próxima fase, em que serão conduzidos ensaios em casa de vegetação e em condições de campo.

Pó de balão

Caracterização química

A composição química do pó de balão coletado em área de deposição de resíduo da Companhia Siderúrgica Paraense (Cosipar) (Tabela 5) revela a presença de grande quantidade de carbono total, apresentando valor da ordem de 25 %, que se assemelha aos resultados mencionados por Jacomino et al. (2002) e Rocha (2003), que obtiveram teores médios de ~24 % e 30 %, respectivamente. Além disso, a presença de alguns elementos importantes para a nutrição mineral dos vegetais, como o Ca, Fe e K, entre outros, possibilitam estudos e considerações quanto ao seu uso agrícola.

A composição do pó de balão varia de acordo com o teor de finos e com a composição química dos fundentes utilizados no alto forno, uma vez que os elementos constituintes são originários da matéria-prima utilizada na fabricação do ferro gusa.

De acordo com Jacomino et al. (2002), grande parte do pó de balão de alto forno de siderúrgicas de Minas Gerais não apresenta destinação rentável oportuna, possuindo utilizações na indústria de cimenteiras e na formulação de uma massa argilosa utilizada na fabricação de cerâmica vermelha. Considerando-se os nutrientes encontrados nesse resíduo, pode-se defini-lo como uma alternativa potencial para utilização no meio

agrícola. Em decorrência do alto teor de material orgânico no resíduo (43,5 %), vislumbra-se uma possível utilização como adubo orgânico em áreas com plantio de espécies frutíferas, industriais e aquelas com potencial para uso em reflorestamento.

Tabela 5. Composição química do pó de balão coletado em área de deposição de resíduo da Cosipar.

Elemento	%
C	25,10
N	0,85
P	0,10
K	1,64
Ca	5,36
Mg	0,90
Cu	0,01
Fé	12,41
Mn	0,16
Zn	0,11
C/N	29,41

Ensaio exploratório

O ensaio exploratório foi realizado para avaliar as melhorias na fertilidade do solo com aplicação de quantidades crescentes do pó de balão ao solo. As quantidades de pó de balão foram estimadas tomando-se por base os resultados obtidos no trabalho de Lima (2003).

As condições do solo antes da aplicação do pó de balão foram: pH em água = 4,30; matéria orgânica = 13,2 g kg⁻¹; P = 5 mg dm⁻³; K = 20 mg dm⁻³; Ca = 0,5 cmol_c dm⁻³; Ca + Mg = 0,2 cmol_c dm⁻³; Al = 1,2 cmol_c dm⁻³.

De modo geral, a aplicação de doses de pó de balão pode promover melhorias consideráveis nos atributos químicos do solo. Conforme os resultados, observou-se que a aplicação de Pó de balão proporcionou um aumento de forma acentuada do pH do solo e a redução dos teores de Al

a níveis considerados não tóxicos para a maioria das culturas de interesse econômico (Fig. 3). Nas doses mais elevadas do resíduo, o pH atingiu valores próximos de 8,0, enquanto o Al foi praticamente todo neutralizado, indicando que nas quantidades empregadas no estudo o resíduo pode atuar de forma significativa na correção da acidez do solo.

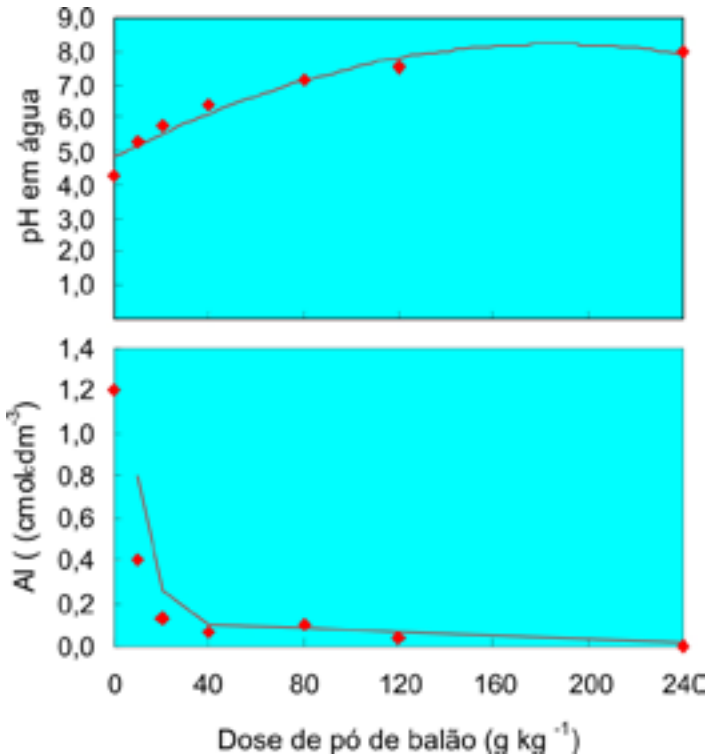


Fig. 3. Influência da aplicação de doses de pó de balão sobre o pH em água e Al trocável do solo.

A adição ao solo de material com alto teor de matéria orgânica promoveu o aumento do carbono orgânico total do solo em aproximadamente quatro vezes, passando de $7,6 \text{ g kg}^{-1}$ para $28,8 \text{ g kg}^{-1}$, nas maiores doses aplicadas (Fig. 4). A incorporação ao solo de fontes de carbono orgânico é prática comum e resulta na elevação do pH, na neutralização do ferro e do alumínio trocável, na insolubilização do manganês, no fornecimento de alguns nutrientes e na alteração da disponibilidade de outros, além do aumento da capacidade de troca catiônica (CTC). Todas essas reações são vantajosas para o aumento de produtividade da terra.

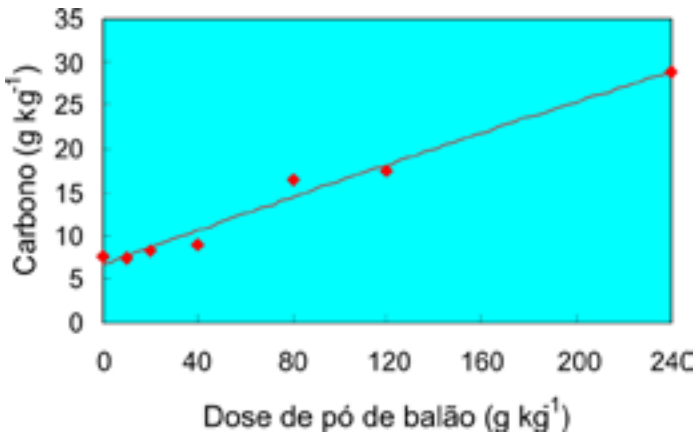


Fig. 4. Influência da aplicação de doses de pó de balão sobre o teor de carbono orgânico do solo.

Além dos efeitos mencionados anteriormente, a aplicação de pó de balão propiciou aumentos consideráveis nos teores de P, K, Ca e Mg, indicando que o mesmo pode ser usado como fonte desses nutrientes para as culturas (Fig. 5).

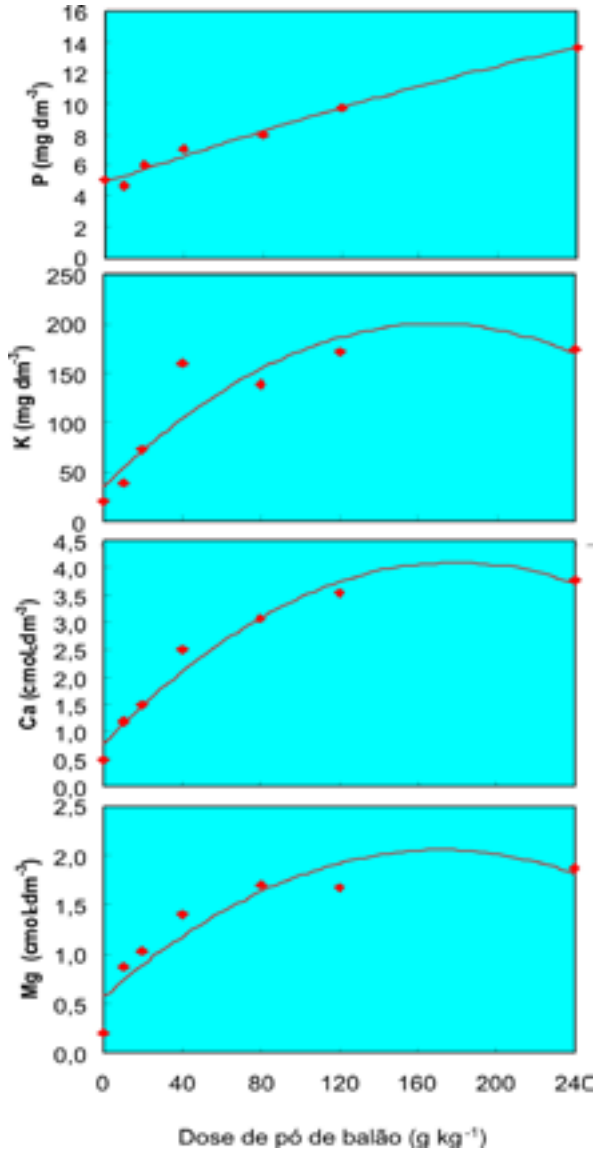


Fig. 5. Influência da aplicação de doses de pó de balão sobre os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio no solo.

Considerando-se os teores de P no resíduo, estima-se que a aplicação de 2 t ha^{-1} de pó de balão acrescentaria o equivalente a $10,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de superfosfato triplo, o que representa uma aplicação satisfatória do nutriente, além de uma economia razoável na utilização do fertilizante. Fazendo-se a mesma simulação para o K, a aplicação da mesma quantidade do resíduo adicionaria o equivalente a $66,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de cloreto de potássio, o que mostra o efeito fertilizante do resíduo.

Considerações finais

Os resultados do ensaio exploratório permitem supor que o pó de balão pode ser aproveitado como fertilizante orgânico, possuindo grande potencial de ser utilizado em uma mistura para formar um composto organomineral, por meio do enriquecimento com fertilizantes minerais.

Levando-se em conta que a destinação de 74 % do resíduo sólido pó do balão de alto forno dá-se a céu aberto nos pátios das empresas, possibilitando a contaminação do solo e dos corpos d'água locais, a falta de políticas e diretrizes para o gerenciamento de resíduos sólidos industriais constitui um dos problemas ambientais mais graves, com o qual o setor siderúrgico tem se deparado nos últimos tempos. Considerando os atuais índices econômicos e o elevado custo para a construção de aterros industriais, a simples utilização em áreas de reflorestamento pertencentes às indústrias siderúrgicas torna-se uma opção viável do ponto de vista econômico, contribuindo ainda para a manutenção da fertilidade do solo.

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que os resíduos de siderurgia, escória e pó de balão, gerados durante o processo de produção do ferro gusa, apresentam viabilidade técnica para serem empregados no meio agrícola, possibilitando a melhoria das características químicas do solo e fornecendo nutrientes ao crescimento das culturas. No entanto, há necessidade de estudos mais detalhados, em condições de casa de vegetação e de campo, para que esses resultados possam ser confirmados, o que deverá ser realizado na segunda fase do projeto.

Estudo de viabilidade econômica e comercial dos resíduos siderúrgicos

Com base nos resultados obtidos no estudo de viabilidade técnica dos resíduos, foram geradas informações para a elaboração do estudo de viabilidade econômica e comercial, observando-se aspectos relacionados aos componentes críticos e à qualidade do produto, disponibilidade do produto no mercado, possibilidade de agregação de valor ao produto, vantagens econômicas em relação a outros, custo do transporte para diferentes localidades e potencial de consumo na região de abrangência.

O estudo de viabilidade econômica e comercial foi desenvolvido levando-se em consideração a introdução mercadológica da escória e do pó de balão, como insumos, direcionados ao mercado agroflorestal do Pará, porém com finalidades distintas de utilização, como corretivo de acidez e condicionante físico e químico do solo.

Caracterização dos produtos

Para caracterização dos resíduos na forma de insumos, a seguir serão apresentadas as descrições dos produtos com suas respectivas potencialidades de uso.

a) Escória de Siderúrgica

Descrição do Produto:

Insumo agropecuário com a finalidade de ser utilizado como corretivo de acidez do solo, em alternativa aos calcários disponíveis no mercado agrícola do Pará, tendo como público-alvo pequenos, médios e grandes produtores.

Potencialidade de uso:

O uso de corretivos de acidez do solo é uma prática agrícola de fundamental importância para a obtenção de produtividades elevadas para a maioria das culturas de interesse econômico do estado, possibilitando aumento da rentabilidade dos agricultores e, em conseqüência, melhoria

da qualidade de vida. Em geral, o calcário (dolomítico ou calcítico) é o corretivo de acidez do solo mais empregado no meio agrícola, graças às suas características neutralizantes da acidez do solo e da sua disponibilidade no mercado. Quando comparado aos fertilizantes tradicionalmente utilizados na agricultura, o calcário possui preço extremamente baixo, o que facilita seu uso nos diversos centros produtores do País. No entanto, para que o produto chegue até a porta do produtor, um elemento fundamental no seu preço final é o custo do transporte, que pode elevar consideravelmente o valor final do produto em regiões com pouca disponibilidade de jazidas de rocha calcária, como é o caso do Pará. Geralmente, os calcários comercializados no Pará são provenientes dos estados do Tocantins, Ceará, Maranhão e Goiás. Nessas condições, o preço do frete encarece sobremaneira o valor final do calcário no estado, desestimulando a sua utilização.

O uso de escória como corretivo de acidez do solo representa uma alternativa para os produtores locais, em virtude da grande disponibilidade desse resíduo na região do pólo siderúrgico de Marabá e das menores distâncias a serem percorridas até os centros consumidores do estado, o que pode viabilizar essa prática tão importante para o desenvolvimento de uma agricultura racional.

b) Pó de Balão

Descrição do Produto:

Insumo agropecuário com a finalidade de ser utilizado como condicionante físico de solo e fornecedor de matéria orgânica ao solo, em alternativa aos adubos orgânicos disponíveis no mercado agropecuário do Pará, tendo como público-alvo pequenos, médios e grandes produtores.

Potencialidade de uso:

O Pará se destaca no cenário nacional por ser um dos maiores produtores de frutas tropicais do País (banana, maracujá, abacaxi, laranja, cacau, coco da Bahia, cupuaçú, acerola, açaí, mamão, etc.) e detém expressiva produção de culturas industriais (dendezeiro, pimenta-do-reino,

seringueira, café, etc.). Para a obtenção de elevadas produtividades, o sistema de produção dessas culturas exige o uso de fertilizantes minerais e orgânicos de forma equilibrada, dentre outras práticas agrícolas empregadas. Os altos preços dos fertilizantes minerais elevam o custo final dos produtos, podendo torná-los menos competitivos no mercado. A utilização de fertilizantes orgânicos se ajusta nesse contexto, por reduzir o emprego de fertilizantes minerais e reduzir o custo de produção dessas culturas, proporcionando, ainda, melhorias nas características do solo, como: aumento da capacidade de penetração e de retenção de água do solo, melhoria da estrutura, do arejamento e da porosidade, contribui para maior agregação das partículas do solo e para maior estabilidade da temperatura do solo, bem como para o fornecimento de nutrientes, além de aumentar a capacidade de troca catiônica. No entanto, o uso de fertilizantes orgânicos se restringe às áreas próximas dos locais de produção, já que para áreas mais distantes o preço encarece bastante, em virtude das grandes quantidades exigidas para aplicação e do custo do transporte. Dessa forma, a utilização de fontes alternativas de adubos orgânicos se reveste de grande importância para a agricultura do estado.

Com esse enfoque, o pó de balão poderia ser utilizado como um adubo orgânico alternativo ou mesmo servir de base para a formação de um composto organomineral, graças aos elevados teores de matéria orgânica e de nutrientes, bem como da grande disponibilidade do resíduo na região do pólo siderúrgico do estado. No caso do pó de balão, o estudo de viabilidade econômica foi realizado tomando-se como base de comparação os adubos orgânicos comumente disponíveis no mercado dos centros agrícolas do estado.

Estimativa das quantidades produzidas e demanda potencial dos resíduos

Para a análise de viabilidade econômica dos produtos, inicialmente realizou-se o levantamento de dados com relação à quantidade disponível de escória e pó de balão, tendo como referência a produção de ferro gusa da empresa Cosipar, parceira neste projeto, e a produção alcançada pelas indústrias que compõem o pólo siderúrgico de Carajás. Considerando-se a capacidade instalada da Cosipar/Usipar alcançada em 2004 (produção

de 540 mil toneladas/ano de ferro gusa), estima-se uma produção aproximada de 81 mil toneladas/ano de escória e 20,2 mil toneladas/ano de pó de balão. Levando-se em conta a produção de ferro gusa obtida no pólo siderúrgico de Carajás, em 2004, que alcançou valores da ordem de 2,8 milhões de toneladas, estima-se que as quantidades de escória e pó de balão geradas foram de 420 e 105 mil toneladas, respectivamente.

Esses dados são relevantes para se estimar o tamanho das áreas potenciais que se poderia atender. Embora, do ponto de vista ambiental, as quantidades de resíduos gerados pelo pólo siderúrgico de Carajás sejam muito elevadas, em termos agronômicos, somente a quantidade de escória produzida seria suficiente para atender às necessidades de correção do solo de uma área de aproximadamente 210 mil ha, que corresponde a cerca de metade da área plantada com as culturas de arroz, milho, feijão e soja dos principais municípios produtores do estado.

Análise de custo dos insumos

Pesquisas de mercado foram realizadas em diferentes pólos agrícolas do estado, com o intuito de levantar os preços e custos de comercialização do calcário e de adubos orgânicos para comparar com o custo de aquisição da escória e do pó de balão na propriedade.

Como áreas potenciais para utilização da escória, considerou-se as áreas produtoras de grãos que, do ponto de vista agronômico, exigem o uso de corretivo de acidez de solo para obtenção de maior produtividade das culturas e melhor qualidade dos grãos. Com relação às áreas com potencial para utilização do pó de balão, considerou-se as áreas produtoras de frutas e de culturas industriais, onde se utilizam grandes quantidades de adubos orgânicos, tanto na fase de implantação quanto por ocasião da realização das adubações de manutenção dos cultivos. As áreas plantadas com grãos, fruteiras e culturas industriais foram identificadas por meio de dados extraídos do levantamento sistemático da produção (IBGE, 2004), com sistematização e elaboração da Sagri.

Realizou-se pesquisa junto aos produtores da área de abrangência do pólo siderúrgico de Carajás para identificar os estados de origem e o preço do calcário. Realizou-se, também, o levantamento do preço praticado por algumas beneficiadoras nos estados de Alagoas, Amazonas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pernambuco, Pará, Piauí e Tocantins.

Para a constituição do valor final do calcário, levou-se em consideração os custos com frete das fontes fornecedoras até os locais de consumo, seguindo os valores fornecidos pelo Sistema de Informações de Frete (Tabela 6), que disponibiliza o preço mínimo, médio e máximo por quilometragem, dos fertilizantes e calcário.

Tabela 6. Preço mínimo, médio e máximo (R\$ t⁻¹ km⁻¹) do transporte de produtos fertilizantes e calcário.

Produto	Mínimo	Médio	Máximo
Adbos e fertilizantes (granel)	0,0337	0,1050	0,2100
Adbos e fertilizantes (sacas 50 kg)	0,0351	0,0991	0,5600
Calcário (granel)	0,0778	0,1072	0,1493

Fonte: Sistema de Informações de Frete (Sifreca), 2005.
Período de atualização 26/11/2005 a 23/12/2005.

Como base de referência para o estabelecimento do valor de comercialização da escória, optou-se por utilizar o preço praticado por duas empresas de Minas Gerais que processam e comercializam a escória com finalidade agrícola. Dessa forma, o preço da escória praticado por essas empresas foi adotado para os cálculos de custo de comercialização na fonte beneficiadora potencial (Marabá e Barcarena). De posse dos valores reais praticados com frete, foram levantadas as distâncias entre Marabá e municípios de algumas microrregiões do Pará com grande produção agrícola. Do mesmo modo, foram calculadas as distâncias para Barcarena, por se tratar de um município onde está se instalando a usina siderúrgica Usipar. Essas distâncias foram extraídas de mapa rodoviário do Pará.

Análise comparativa dos custos da escória em relação ao calcário

A consulta do valor de comercialização em pontos de venda do calcário no Pará, nos municípios de Ananindeua, Benevides, Castanhal, Paragominas, Tucuruí, Altamira, Novo Progresso e Conceição do Araguaia, indicou que os preços praticados variaram entre R\$ 90,00 (noventa reais) e R\$ 100,00 (cem reais) por tonelada, sem o frete, já que os revendedores não trabalham com transportadoras, ficando, neste caso, a responsabilidade do transporte por conta do comprador. Esse é um dos motivos pelos quais muitos produtores, com capacidade de barganha, preferem comprar de outros estados que fazem a entrega na porta da propriedade. Com o valor do frete incluso, os preços médios do calcário praticados nesses municípios variaram de R\$ 120,00 a R\$ 178,00.

De acordo com os resultados das pesquisas junto aos agricultores do estado, foi constatado que a aquisição de calcário fora do Pará é realizada predominantemente nos estados do Maranhão, Ceará e Tocantins. Dentro do Pará, verificou-se, ainda, que o corretivo tem sido adquirido junto a empresas que fazem a moagem em jazidas de calcário localizadas nos municípios de Palestina do Pará e de Monte Alegre.

Para o cálculo estimativo do valor final do calcário, tomou-se como referência os valores da tonelada do produto na porta das empresas beneficiadoras nos estados de Goiás, Goiânia, R\$ 32,00 (Mineração Britacal); Tocantins, Araguaína, R\$ 45,00 (Caltins – Grupo J. Demito) e Ceará, Fortaleza, R\$ 42,50 (Mineração Santa Maria). Esses valores foram obtidos a partir de dados levantados em pesquisas realizadas durante o mês de janeiro de 2006, junto às empresas revendedoras de calcário do Pará e de outros estados.

Para a estimativa do custo de transporte, considerou-se o valor médio cobrado para o transporte de calcário a granel constante na Tabela 6, que foi de R\$ 0,1072 por tonelada, para cada km rodado. A estimativa do valor final do calcário adquirido nos centros beneficiadores de maior demanda dos agricultores do estado apresenta-se na Tabela 7.

De acordo com os resultados, observa-se que os preços variaram de R\$ 75,55 a R\$ 257,12. Em decorrência das distâncias percorridas até os municípios consumidores considerados, os menores preços estimados foram obtidos para o calcário beneficiado no Tocantins, que tiveram variação de R\$ 75,55 a R\$ 124,76. Em virtude dos elevados valores desse corretivo, observados na simulação de preço, pode-se considerar que esse insumo representa um componente significativo no custo final da produção, de vez que as necessidades de calcário para as culturas, na maioria das vezes, extrapola uma tonelada por hectare, em decorrência do elevado nível de acidez dos solos. Esse aspecto tem restringido sensivelmente a utilização do calcário por parte dos agricultores, na grande maioria das propriedades agrícolas, o que sem dúvida não tem permitido alcançar maiores produtividades das culturas, especialmente, das espécies graníferas.

Tabela 7. Demonstrativo do custo final tomando como base a chegada em alguns municípios (via Belém–Brasília, trecho mais reduzido).

Trecho	Distância (km)	Valor do frete (índice médio) (0,1072 R\$/t/km)	Valor final do calcário (R\$/t)
Fortaleza – Marabá	1.407	150,83	193,33
Fortaleza – Paragominas	1.331	142,68	185,18
Fortaleza – Dom Elizeu	1.181	126,6	169,10
Fortaleza – Parauapebas	1.575	168,84	211,34
Fortaleza – Barcarena	1.700	182,24	224,74
Tocantins – Marabá	285	30,55	75,55
Tocantins – Paragominas	557	59,71	104,71
Tocantins – Dom Elizeu	397	42,56	87,56
Tocantins – Parauapebas	437	46,85	91,85
Tocantins – Barcarena	744	79,76	124,76
Goiânia – Marabá	1.397	149,75	181,75
Goiânia – Paragominas	1.768	189,52	221,52
Goiânia – Dom Elizeu	1.618	173,44	205,44
Goiânia – Parauapebas	1.410	151,15	183,15
Goiânia – Barcarena	2.100	225,12	257,12

Para o cálculo estimativo do valor final da escória, levou-se em consideração os resultados do relatório de viabilidade técnica preliminar relativos à eficiência da escória, em comparação ao calcário. Nesse caso, tomou-se por base uma eficiência relativa de aplicação na proporção de 1:1. Assim, considerando o aspecto econômico, a decisão de uso de escória, como alternativa ao calcário, poderá ser feita com base no preço desses produtos na propriedade rural.

Na estimativa do valor do transporte da escória do centro de produção até os locais de consumo, considerou-se a mesma sistemática de cálculo usada para o calcário. Levando em conta que o produto escória será produzido a partir do beneficiamento do resíduo-escória gerado nas siderúrgicas, para efeito do custo de transporte, foi definido como centro de produção os municípios de Marabá e Barcarena. No primeiro município, concentra-se a maioria das empresas siderúrgicas do pólo e, no segundo, encontra-se instalada uma das maiores empresas siderúrgicas, a Usipar, com localização fora do eixo siderúrgico, mas com grande potencial de produção. Para a definição do valor estimado da escória beneficiada na porta da fábrica, utilizou-se como referência o levantamento de dados junto às duas empresas de Minas Gerais, que já comercializam o produto. A partir desses dados, o valor considerado para a escória foi de R\$ 19,00 por tonelada. Desse modo, os valores finais da escória até os municípios consumidores, incluindo-se preço do produto e do frete, são apresentados nas Fig. 6 e 7.

Observou-se uma variação nos preços finais da escória de R\$ 35,40 a R\$ 171,54, tomando-se as estimativas a partir de Marabá, como centro produtor (Fig. 6). Comparando-se os valores dos corretivos estimados para os municípios de Dom Eliseu, Paragominas e Barcarena, observa-se que os valores para a escória foram bem menores que os do calcário.

Considerando-se as estimativas de preços finais da escória a partir de Barcarena (Fig. 7), verificou-se uma variação ainda menor, na faixa de R\$ 26,18 a R\$ 66,38, o que indica valores bastante competitivos na região de estudo em relação aos preços do calcário.

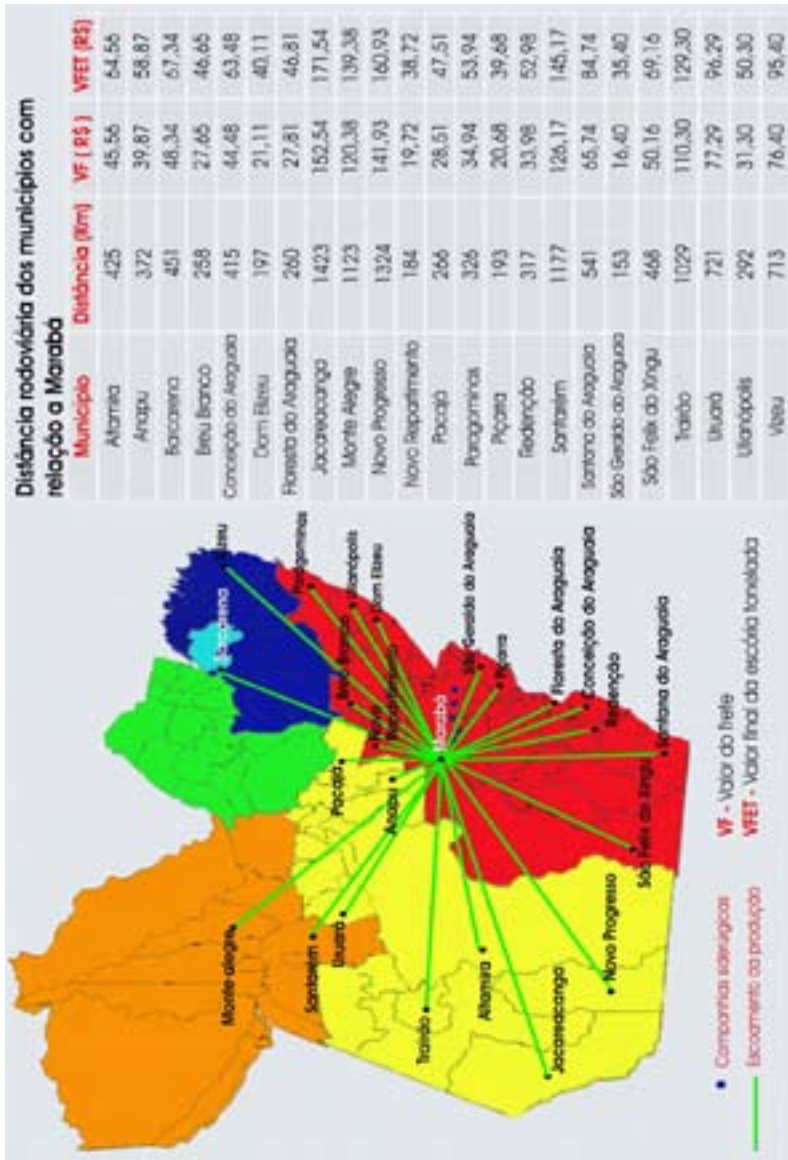


Fig. 6. Mapa demonstrativo dos custos finais da escória produzida em Marabá.

Fonte: Brasil (2005).

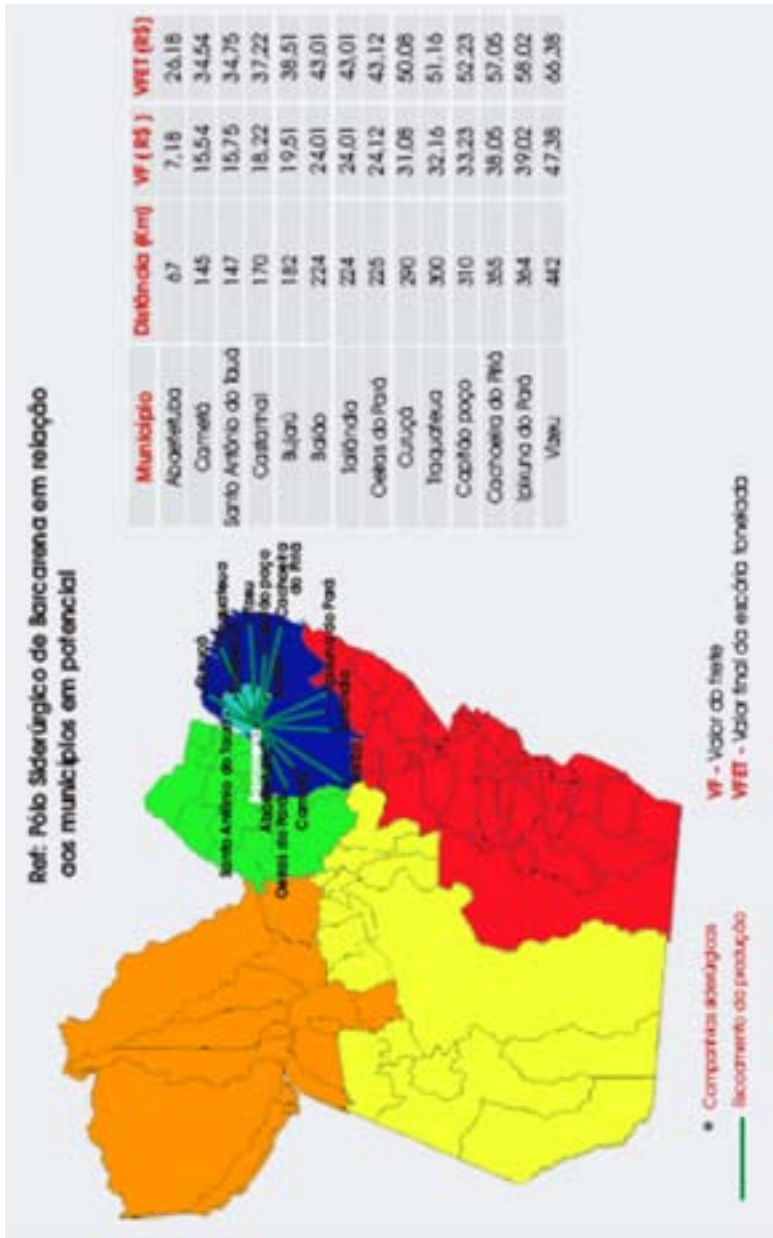


Fig. 7. Mapa demonstrativo dos custos finais da escória produzida em Barcarena.

Fonte: Brasil (2005).

Esses resultados permitem inferir que a escória representa um produto com elevado potencial de utilização para a correção da acidez do solo, em decorrência dos preços competitivos ao valor do calcário que chega nos municípios consumidores. Além disso, a escória apresenta um componente a mais que pode conferir um maior valor agregado, em relação ao calcário. Trata-se do silício, elemento que faz parte da constituição da escória e que proporciona benefícios adicionais às plantas, como: aumento da resistência às pragas e doenças, melhora do aproveitamento da água, além de aumento da fotossíntese e da produtividade, principalmente, em espécies acumuladoras desse elemento, como o arroz e cana-de-açúcar.

Análise comparativa dos custos do pó de balão em relação a adubos orgânicos

O uso do pó de balão em aplicações agrícolas está sendo pesquisado com o intuito de ser utilizado como adubo orgânico ou organomineral, em virtude do alto teor de matéria orgânica do produto (43,5 %) e por apresentar em sua constituição teores satisfatórios de nutrientes para as plantas.

Em uma comparação hipotética do preço do pó de balão em relação aos principais adubos orgânicos comumente comercializados no meio agrícola do Pará, consideraram-se as estimativas de preço de uma tonelada desses adubos colocados nos municípios de Benevides e Paragominas.

Como referência de valores de adubos orgânicos, foram levantados os preços da tonelada da cama de aviário, do esterco de gado e da torta de mamona praticados nesses municípios, que em termos médios corresponderam, respectivamente, a R\$ 105,00; R\$ 140,00 e R\$ 1051,40.

Levando em conta que o pó de balão é um resíduo que não necessita qualquer processamento para sua utilização, ou seja, encontra-se pronto para uso e estando disponível nas siderúrgicas em grandes quantidades, o principal custo refere-se ao transporte. Assim, pode-se estimar o valor final do produto em função das distâncias entre os municípios produtores do resíduo e os locais de consumo. Então, considerando-se

o Município de Marabá como centro produtor do resíduo e as distâncias terrestres para transportar o resíduo até os municípios de Benevides (654 km) e Paragominas (392 km), os valores estimados para transportar uma tonelada do pó de balão seria, respectivamente, de R\$ 70,10 e R\$ 42,02. Esses valores foram obtidos a partir do preço médio cobrado para o transporte de calcário a granel constante na Tabela 6, que foi de R\$ 0,1072 por tonelada para cada quilômetro rodado.

Esses resultados permitem vislumbrar que, do ponto de vista das quantidades relativas a serem utilizadas, o pó de balão apresenta um grande potencial de utilização, em relação aos adubos orgânicos disponíveis no mercado.

Considerando as quantidades de nutrientes contidas no pó de balão, pode-se estimar que a aplicação de 2 t ha^{-1} desse resíduo seria equivalente a $10,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de superfosfato triplo, representando uma economia razoável na utilização do fertilizante. Fazendo-se a mesma simulação para o potássio, seriam adicionados $66,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de cloreto de potássio, com mesma quantidade do resíduo aplicado.

Contudo, ressalta-se que a utilização de pó de balão como fertilizante é limitada pela distância, graças ao grande volume necessário para essa finalidade, em decorrência da elevação do custo com o transporte, podendo ser indicada para situações mais localizadas.

Potencialidades de mercado

A partir dessa análise comparativa, pode-se considerar que ambos os produtos, escória e pó de balão, apresentaram viabilidade econômica e comercial como produtos potenciais para utilização no meio agrícola, na forma de corretivo de acidez do solo e de adubo orgânico, respectivamente. Nesse sentido, as cidades com potencial de utilização de escória estão localizadas próximas aos pólos siderúrgicos de Marabá e Barcarena, em virtude de os custos com frete para a aquisição desse resíduo serem muito menores em relação aos estados que comercializam o calcário para essas localidades.

No caso do pó de balão, por ser um produto pronto para o uso e com um alto potencial de utilização como adubo orgânico, seu custo é muito baixo, já que não necessita de qualquer tratamento especial e o custo operacional para aplicação é similar aos demais adubos orgânicos disponíveis no mercado.

Conclusão

As informações preliminares obtidas neste estudo permitem concluir que a escória e o pó de balão apresentaram grande potencialidade de utilização como insumos agrícolas. Considerando que os estudos de viabilidade técnica e econômica indicaram potencial agrônomo desses resíduos da indústria de siderurgia, pode-se esperar impacto social positivo de geração de emprego e renda, além de reduzir consideravelmente o impacto ambiental nas áreas de geração dos mesmos, já que são depositados em aterros industriais, ficando expostos ao ambiente, com possibilidade de contaminação do meio. Do ponto de vista produtivo, a utilização da escória e do pó de balão na agricultura abre uma perspectiva muito interessante por propiciar a melhoria de características químicas e físicas do solo, em regiões que, muitas vezes, não utilizam calcário e fertilizantes por limitações de recursos financeiros.

Referências

ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26 p. (Boletim técnico, 6).

ANDERSON, D. L. Soil and leaf nutrient interactions following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, v. 30, n. 1, p. 9-18, Oct. 1991.

BELLINGIERI, P. A.; ALCARDE, J. C.; SOUZA, E. C. A. Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT Na. **ESALQ**, v. 45, p. 579-588, 1988.

BRASIL, E. C. Estudo de viabilidade econômica. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Sectam/InovarPará, 2005. 17 p. (Relatório técnico).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes inoculantes**: métodos oficiais. Brasília, DF, 1988. 104 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Fiscalização Agropecuária. **Portaria nº 3 de 12 de junho de 1986**. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do>>. Acesso em: 17 jan. 2007.

CLARK, R. B.; FLORES, C. I.; GOURLEY, L. M.; DUNCAN, R. R. Mineral element concentration and grain field of sorghum (*Sorghum bicolor*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum*) grow on acid soil. In: VAN BEUSICHEM, M. L. (Ed.). **Plant nutrition - physiology and applications**. Norwell, USA: Kluwer Academic Publishers. 1990. p. 391-396.

ELAWAD, S. H.; STREET, J. J.; GASCHO, G. J. Response of sugarcane to silicate source: and rate. I. **Growth and Yield Agronomy Journal**, v. 74, n. 3. p. 481-484. 1982.

EMRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, G. E.; CALAES, G. D. Gusa: oportunidade de agregação de valor. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 21., 2005, Natal. [Resumos...] Natal: UFRN, 2005. v. 2, p. 359-365. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-094-00.pdf>> Acesso em: 13 ago. 2007.

FORTES, J. L. de O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia do estado do Maranhão na correção da acidez do solo**. 1993. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola- LSPA**. Rio de Janeiro, 2004. 93 p.

JACOMINO, V. M. F.; CASTRO, L. F. A.; RIBEIRO, E. D. L.; LEÃO, M. M. D.; SOUZA, C. M.; GOMES, A. M.; ALMEIDA, M. L. B.; LOPES, L. E. F. **Controle ambiental das indústrias de ferro-gusa em altos fornos a carvão vegetal**. Belo Horizonte: SEGRAC, 2002. 302 p. (Projeto Minas Ambiente).

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, A. M.; PERDOMO, R.; POWELL, C.; DEREN, C.; DATNOFF, L. E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 4, p. 1071-1084, 2001.

LIMA, M. S. M. **Avaliação das características agrônômicas do pó de balaço gerado no sistema de limpeza de gás do alto forno a carvão vegetal**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plant. **Soil Science & Plant Nutrition**, v. 24, n. 2, p. 175-189, 1978.

MIYAKE, Y. AND TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of cucumber plant in soil culture. **Soil Science & Plant Nutrition**, v. 29, n. 1, p. 463-471, 1983.

NATALE, W.; COUTINHO, E. L. M. Avaliação da eficiência agrônômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 55-62, 1994.

PIAU, W. C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (Zea mays L.)**. 1995. 124 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PIAU, W. C. **Viabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizante**. 1991. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

POTAFOS. Disponível em: <<http://www.potafos.org>>. Acesso em: 5 maio 2003.

PRADO, R. de M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alfaca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 539-546, abr. 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo em latossolo vermelho-escuro e em areia quartzosa. **Revista de Agricultura**, v. 74, n. 2, p. 235-244, 1999.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil**: estudo na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001a. 67 p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo**: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal, Fundação de Estudos e Pesquisas em Medicina Veterinária, Agronomia e Zootecnia, 2001b. 67 p.

PRADO, R. M.; NATALE, W.; FERNANDES, F. M.; CORRÊA, M. C. M. Reatividade de uma escória de siderurgia em um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira Ciência do solo**, v. 28, n. 1, p. 197-205, jan./fev.2004.

ROCHA, S. H. F. S. **Aproveitamento de resíduos gerados na limpeza dos gases de alto-forno através da briquetagem**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. G. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 57 p.

SNYDER, G. H.; JONES, D. B.; GASCHO, G. J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. *Soil Science Society of America Journal*, v. 50, p. 1259-1263, 1986.

WINSLOW, M. D. Silicon, disease, resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, v. 32, p. 1208-1213, 1992.

Embrapa

Amazônia Oriental

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**



CGPE 7466