



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA- UFRA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



EMERSON VINICIUS SILVA DO NASCIMENTO

**EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE MILHO NO NORDESTE
PARAENSE**

BELÉM

2013



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA- UFRA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



EMERSON VINICIUS SILVA DO NASCIMENTO

**EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE MILHO NO NORDESTE
PARAENSE**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

**Orientador: Prof. Dr. George da Silva Rodrigues
Co-Orientador: Dr. Edilson Carvalho Brasil**

BELÉM

2013

Nascimento, Emerson Vinicius Silva do Nascimento

Efeito da escória de siderurgia nos atributos químicos do solo, nutrição e produção de milho no nordeste paraense. / Emerson Vinicius Silva do Nascimento – Belém, 2013.

93f.:II

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) Agroecossistemas da Amazônia – Universidade Federal Rural da Amazônia e Embrapa Amazônia Oriental, Belém. , 2013

1. Acidez do solo. 2. Corretivo da acidez. 3. Produtividade - solo. 4. Nutrientes - solo. 5. Zea mays. 6. Escoria de siderurgia. I.Título.

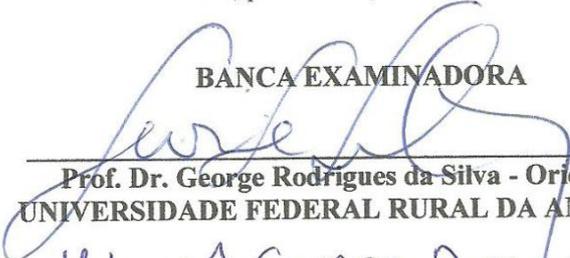
CDD: 631.429815

EMERSON VINICIUS SILVA DO NASCIMENTO

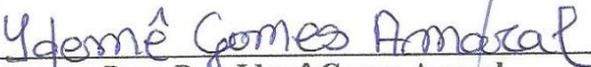
**EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE MILHO NO NORDESTE
PARAENSE**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: Área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

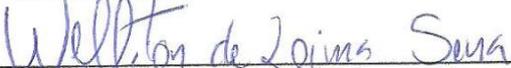
BANCA EXAMINADORA



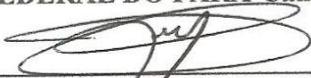
Prof. Dr. George Rodrigues da Silva - Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA



Pesq. Dra. Idemê Gomes Amaral
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



Prof. Dr. Welliton de Lima Sena
INSTITUTO FEDERAL DO PARÁ-Campus Castanhal



Eng. Agrônomo, Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA



Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

A Deus pela vida, saúde, paz, alegria e por sua presença em todos os momentos de minha vida.

AGRADEÇO

Aos meus pais Ivani e Jorrimar pelo esforço, apoio, dedicação e amor em prol da minha educação.

Aos meus irmãos Tércio, Junior, Gabriela e Gabriel pela amizade, companheirismo e carinho.

À minha família.

DEDICO.

Aos verdadeiros amigos que acreditaram em mim.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o grande arquiteto de todas as coisas, concedendo-me o dom mais precioso do universo a “**vida**” e mantendo-me com saúde. Já por isso seria infinitamente grato.

Eu poderia começar de diversas formas... Mas gratidão não se expressa apenas através de palavras, se retribui com ações. Mas dada esta oportunidade, devo agradecer não somente pela realização deste trabalho, mas pela minha Vida toda...

À minha Família: **Pais e irmãos.**

Ao **Dr. Edilson Carvalho Brasil**, por ter me concedido a oportunidade de desenvolver este trabalho, pelas suas orientações e contribuições, para que este trabalho alcançasse os seus objetivos propostos. Muito obrigado!

Ao Professor **Dr. George Rodrigues da Silva**, pela orientação no curso do doutorado e colaboração durante o desenvolvimento do trabalho, por sugestões valiosas, e sua amizade. Muito obrigado!

À **Embrapa Amazônia Oriental** por ter concedido o apoio financeiro as instalações (campo experimental de Terra Alta), laboratórios, todo apoio de logística para conduzir e realizar os experimentos de tese.

À Coordenação do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, na pessoa do seu coordenador Prof. Dr. Roberto Cezar Lobo da Costa.

A CAPES, pela concessão da bolsa que contribuiu para o bom aproveitamento do curso.

Aos participantes da banca de exame do doutorado: Dr^a. Idemê Gomes Amaral; Dr. Welliton de Lima Sena; Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão e Dr. Mário Lopes da Silva Júnior. Muito obrigado pela participação!

Aos funcionários da Embrapa Amazônia Oriental, campo experimental de Terra Alta - PA (Claudinéia, Hilário, Seu Antônio, Seu Lico e Anderson) e em especial ao funcionário **Inocêncio Neto**, pela colaboração durante minha jornada de pesquisa.

Aos professores das disciplinas das quais cursei durante o curso.

Ao Prof^o Dr. Daniel Furtado Ferreira e a Dr^a Dayse Gebert pela colaboração com as análises estatísticas.

Aos colegas de pós-graduação, Dionilson Cardozo da Cunha, Jessivaldo Galvão, Edwana Monteiro, Tatiana Gazel, Ricardo Cordeiro, Luis Freitas, Sandra Andréa Santos, Gizele Odete, pelo companheirismo e apoio.

"Não há nada na natureza mais importante ou que mereça maior atenção do que o solo. Na verdade, é o solo que faz do mundo um ambiente agradável para humanidade. É o solo que fornece provisão para toda a natureza; toda a criação depende do solo, que afinal, é à base da nossa existência".

(Friedrich Albert Fallou, 1862).

EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO, NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE MILHO NO NORDESTE PARAENSE

RESUMO: O Objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica da escória de siderurgia em diferentes granulometrias e doses, por meio da melhoria das propriedades químicas do solo, da nutrição e produtividade da cultura do milho (*Zea mays*). O trabalho foi conduzido em Latossolo Amarelo distrófico, no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, município de Terra Alta - PA. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial $4 \times 3 \times 8 + 2$, sendo quatro granulometrias (material retido entre as peneira ABNT n° 20 – 50; 50 – 100; 100 - 200 e < 200), três diferentes doses da escória (1,65, 3,81 e 5,98 t ha⁻¹) para elevação das saturações por bases a 40, 70 e 100%, respectivamente, oito diferentes tempos de incubação (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 e 360 dias) e dois tratamentos adicionais, um com calcário e outro sem calcário e escoria (testemunha). Para avaliação dos atributos químicos, efetuaram-se coletas do solo na profundidade de 0–20 cm em cada parcela, e em cada período de incubação. Para avaliação nutricional e de produção do milho, após 120 dias da semeadura efetuou-se a colheita de plantas de milho. Após a colheita, as plantas foram medidas com auxílio de uma fita métrica para obtenção da altura de planta (AP) e separadas em folha + colmo e reprodutiva (espiga, que foi separada em palha, grãos e sabugo). O material vegetal foi seco em estufa a 70°C, até a obtenção de peso constante para determinação do peso de matéria seca da parte aérea (MSPA). Para determinação do peso de espiga, da produção de grãos, palha e sabugo, foram colhidas todas as espigas contidas nas quatro linhas centrais de todas as parcelas do experimento (Stand). As amostras foram moídas e submetidas às análises químicas. Determinou-se os teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn). As frações granulométricas mais finas (100 - 200 e <200) apresentaram melhores resultados em alguns atributos químicos do solo. Os tratamentos com a escória apresentaram melhores resultados, em comparação aos tratamentos adicionais (calcário + testemunha) nos atributos químicos do solo. Não houve efeito significativo das frações granulométricas e nem das doses nos teores dos nutrientes nas plantas. Observou-se efeito significativo apenas nas diferentes partes das plantas nos teores dos nutrientes. A quantidade de nutrientes extraída pela cultura, quanto aos macronutrientes e micronutrientes, apresentaram as seguintes ordens decrescentes: N > K > Ca > P > Mg e Fe > Mn > Zn > Cu. Não se observaram efeito significativo das frações granulométricas e do tempo de incubação na altura de planta, produção de espigas e peso de sabugo. Observaram-se maiores MSPA e produção de grãos nas parcelas em que foram aplicadas escória com menores frações granulométricas (ABNT n° 100 - 200 e <200) e nas maiores dosagens 3,81 e 5,98 t ha⁻¹.

Palavras-chave: Corretivo da acidez; Latossolo Amarelo; *Zea mays*; Nutrientes; Produtividade

EFFECT OF STEEL SLAG OF THE ATTRIBUTES OF SOIL CHEMICAL, NUTRITION AND PRODUCTION OF CORN IN NORTHEAST PARAENSE

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of slag in different particle sizes and doses, through the improvement of soil properties, nutrition and productivity of maize (*Zea mays*). The work was conducted in dystrophic Oxisol in the experimental field of Embrapa Amazônia Oriental, city of Terra Alta - PA. We used a randomized complete block design with three replications in a factorial 4x3x8 +2, four grain sizes (material retained between ABNT in 20-50, 50-100, 100-200 and <200), three different slag doses (1.65, 3.81 and 5.98 t ha⁻¹) for lifting of base saturation of 40, 70 and 100%, respectively, eight different incubation times (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 and 360 days), and two additional treatments, one with and one without lime scale and slag (control). For assessment of the chemical, collections were made in the soil at a depth of 0-20 cm in each plot, and each incubation period. Nutritional assessment and corn production, after 120 days of sowing performed the harvest of corn plants. After harvesting, the plants were measured with the aid of a tape measure to obtain the plant height (PH) and separated into leaf + stem and reproductive (spike, which was separated into straw, grain and cob). The plant material was dried at 70°C until reaching constant weight to determine the dry weight of (MSPA). To determine weight, ear of grain, and cob, all ears were harvested contained in the four central lines of all the main plots (Stand). The samples were ground and subjected to chemical analysis. It was determined the concentrations of macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) and micronutrients (Cu, Mn, Fe and Zn). The finer size fractions (100-200 and <200) showed better results in some soil chemical properties. The treatments with the slag produced better results compared to the additional treatments (lime + control) on soil chemical properties. There was no significant effect of particle size fractions and neither of the doses in the levels of nutrients in plants. We observed a significant effect only in different parts of the plants in nutrient content. The nutrient uptake by the crop, as the macronutrients and micronutrients, presented the following decreasing order: N> K> Ca> P> Mg and Fe> Mn> Zn> Cu. There were no significant effect of particle size fractions and incubation time on plant height, ear production and weight cob. Shows higher PMSPA and grain yield in plots that were applied slag with smaller size fractions (ABNT in 100-200 and <200) and in higher doses 3.81 and 5.98 t ha⁻¹.

Keywords: Concealer; Concealer acidity; Oxisoil; *Zea mays*; Nutrients; Productivity

LISTA DE TABELAS

		Páginas
Tabela 1	Características químicas e físicas de um Latossolo Amarelo distrófico, textura média, coletado na camada de 0 a 20 cm, Terra Alta – PA.....	31
Tabela 2	Resultados da análise da escória aplicada no experimento.....	32
Tabela 3	Resumo da análise de variância dos atributos químicos de um Latossolo Amarelo distrófico, Terra Alta - PA.....	35
Tabela 4	Concentrações de Ca+Mg de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses e granulometrias da escória em diferentes tempos de incubação.....	38
Tabela 5	Resumo da análise de variância dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, e Mn em plantas de milho.....	61
Tabela 6	Teores de macronutrientes e micronutrientes em diferentes partes da planta de milho.....	62
Tabela 7	Acúmulos de macronutrientes e micronutrientes em diferentes partes da planta de milho.....	62
Tabela 8	Teores de Mg em diferentes partes de plantas de milho em função de doses de escória de siderurgia.....	68
Tabela 9	Teores de Cu em diferentes partes de plantas de milho em função de doses de escória de siderurgia.....	70
Tabela 10	Resumo da análise de variância da altura de planta (AP), peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), produção de grãos (PG), produção de espigas (PE), peso de palha (PP) e peso de sabugo (PS) de milho.....	84
Tabela 11	Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de milho em função de diferentes doses e frações granulométricas de escória de siderurgia.....	85
Tabela 12	Produção de grãos de plantas de milho em função de diferentes doses e frações granulométricas de escória de siderurgia.....	87

LISTAS DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 Imagem da localização do experimento (Créditos Google Maps 2012).....	29
Figura 2 Preparo de área do experimento.....	30
Figura 3 Aplicação da escória de siderúrgica em diferentes granulometrias.....	33
Figura 4 Valores de pH em função de diferentes granulometrias da escória (a); interação entre diferentes doses da escória e tempos de incubação nos valores de pH (b); Comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação (c).....	36
Figura 5 Concentrações de Ca+Mg de um Latossolo Amarelo distrófico em função da comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação da escória.....	40
Figura 6 Concentrações de Al de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses (a); e frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação (b).....	41
Figura 7 Concentrações de H+Al de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses de escória e tempos de incubação.....	42
Figura 8 Valores de saturação por bases de um Latossolo Amarelo distrófico em função de doses da escória (a); frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação (b); da comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação (c).....	44
Figura 9 Concentrações de fósforo de um Latossolo Amarelo distrófico em função de frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação.....	47

Figura 10	Concentrações de potássio de um Latossolo Amarelo distrófico em função da comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	48
Figura 11	Teores de nitrogênio em diferentes partes da planta de milho, em função da comparação das médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	63
Figura 12	Acúmulo relativo de macronutrientes e micronutrientes nas partes das plantas de milho (parte aérea, palha, sabugo e grãos).....	64
Figura 13	Teores de magnésio em plantas de milho, em função da comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	68
Figura 14	Teores de cobre em diferentes partes da planta de milho, em função da comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	71
Figura 15	Altura de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	85
Figura 16	Peso da matéria seca da parte aérea de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	86
Figura 17	Produção de grãos de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	88
Figura 18	Produção de espigas de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	89
Figura 19	Peso de sabugo de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) <i>versus</i> médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).....	90

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO	
ABSTRACT	
1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	17
REFERÊNCIAS.....	22
2 EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO, TERRA ALTA - PA.....	26
RESUMO	
ABSTRACT	
2.1 INTRODUÇÃO.....	27
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	28
2.2.2 Caracterização do solo da área experimental.....	31
2.2.3 Delineamento Experimental e Tratamentos.....	31
2.2.4 Condução do Experimento.....	33
2.2.5 Análise Estatística.....	34
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
2.3.1 pH em H₂O.....	34
2.3.2 Concentração de Cálcio (Ca⁺²) + Magnésio (Mg⁺²).....	38
2.3.3 Concentração de Alumínio (Al⁺³) e Acidez potencial (H+Al).....	40
2.3.4 Saturação por bases (V%).....	43
2.3.5 Concentração de fósforo (P).....	46
2.3.6 Concentração de potássio (K).....	47
2.4 CONCLUSÃO.....	48

REFERÊNCIAS.....	48
3 EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA EM DIFERENTES DOSES E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS NOS TEORES E ACÚMULOS DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE MILHO.....	54
RESUMO	
ABSTRACT	
3.1 INTRODUÇÃO.....	55
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	57
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
3.3.1 Teor, acúmulos e extração de nitrogênio (N).....	62
3.3.2 Teor, acúmulos e extração de fósforo (P).....	64
3.3.3 Teor, acúmulos e extração de potássio (K).....	65
3.3.4 Teor, acúmulos e extração de cálcio (Ca).....	66
3.3.5 Teor, acúmulos e extração de magnésio (Mg).....	67
3.3.6 Teor, acúmulos e extração de zinco (Zn).....	69
3.3.7 Teor, acúmulos e extração de cobre (Cu).....	69
3.3.8 Teor, acúmulos e extração de ferro (Fe).....	71
3.3.9 Teor, acúmulos e extração de manganês (Mn).....	72
3.4 CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS.....	73
4 EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA EM DIFERENTES DOSES E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS NA PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE MATÉRIA SECA EM PLANTAS DE MILHO NO NORDESTE PARAENSE.....	78
RESUMO	
ABSTRACT	
4.1 INTRODUÇÃO.....	79
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	80

4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
4.3.1	Altura de Plantas (AP)	84
4.3.2	Massa Seca da Parte Aérea (MSPA)	85
4.3.3	Produção de Grãos (PG)	87
4.3.4	Produção de espigas (PE)	89
4.3.5	Peso de Palha (PP)	90
4.3.6	Peso de sabugo (PS)	91
4.4	CONCLUSÃO.....	91
	REFERÊNCIAS	91

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em solos ácidos, decorrentes do acentuado processo de intemperismo e lixiviação de bases trocáveis, a toxidez por alumínio e/ou manganês e os baixos níveis de cálcio e magnésio, são fatores limitantes do crescimento e aprofundamento do sistema radicular, da disponibilidade de nutrientes e da atividade biológica, afetando o estabelecimento como o desenvolvimento das culturas (PAIVA et al. 1996; ERNANI et al. 2000).

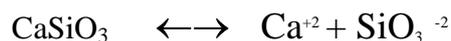
Nos solos da Amazônia, as principais limitações são as referentes à elevada acidez, alta saturação por alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes (RODRIGUES, 1998). Os solos do estado do Pará encontram-se inserido nesta realidade, pois apresentam na maior parte de seu território, solos com severas restrições quanto à produtividade das plantas em virtude, principalmente, da elevada acidez. O Pará possui aproximadamente 57,7 milhões de hectares de solos com aptidão edáfica para uso com lavouras, porém necessitando de alto nível de utilização de fertilizantes e corretivos, exigindo a aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes organo-minerais e moderada necessidade de calagem, para a correção e manutenção do estado nutricional desses solos (GAMA et al. 2007).

Os calcários são os produtos comerciais mais utilizados para a correção da acidez dos solos brasileiros, em virtude da sua eficiência corretiva e do baixo custo de produção. No entanto, esses corretivos podem tornar-se inacessíveis aos produtores, em situações de grandes distâncias entre a fonte produtora e a consumidora, o que aumenta consideravelmente o valor final dos produtos, em decorrência do elevado custo para o transporte dos mesmos até o local de consumo. Essa situação tem sido constatada no estado do Pará, em que se verifica reduzida exploração de rochas calcárias, com produção insuficiente de calcário para suprir a demanda agrícola e industrial (fabricação de cimento, de cal, vidro etc.), além do alto custo de importação de outras regiões produtoras do País. Dessa forma, diversos projetos agropecuários têm sido inviabilizados no Pará, já que a tonelada dos calcários pode alcançar valores da ordem de R\$ 150,00 a R\$ 250,00, em função dos produtos serem originários de outros estados do País, como Ceará, Tocantins e Goiás (BRASIL et al. 2008).

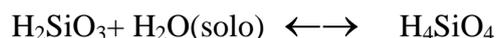
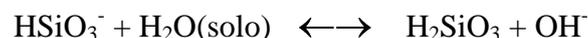
Nesse contexto, faz-se necessário o estudo de fontes alternativas de corretivos de acidez, como é o caso da escória de siderúrgica, resíduo do processo industrial de produção de ferro gusa, gerado pela reação da sílica do minério de ferro com o calcário em alto forno, constituído por silicatos de cálcio e magnésio e comportam-se de forma semelhante aos calcários (AMARAL SOBRINHO et al., 1993). Este subproduto é rico em constituinte neutralizante (SiO_3^{2-}), capaz de diminuir a acidez dos solos tropicais altamente intemperizados, com caráter ácido, e fornecer elementos como Ca e Mg (ALCARDE, 1992; FORTES, 2006; SOUZA et al. 2008). Em sua composição encontram-se diversos óxidos de Ca, Mg, Si, Fe e Mn, cujas quantidades e concentrações são decorrentes da constituição química da matéria-prima (minério de ferro, carvão, calcário ou cal) utilizada no processo de fabricação do produto, além do tipo de refratário usado na parede do forno (PRADO et al., 2001). As escórias siderúrgicas, também, podem ser utilizadas na agricultura, basicamente como fornecedoras de Ca, Mg e Si para as culturas, bem como, corretivo da acidez do solo (ARAÚJO & NASCIMENTO, 2005; CORRÊA et al., 2007).

O mecanismo de correção da acidez pela escória resulta na formação de SiO_3^{2-} , que reage com a água e libera íons OH^- , que neutralizam o Al^{3+} fitotóxico, conforme observado na equação descrita por Alcarde e Rodella (2003):

Dissolução



Hidrólise



Segundo Medeiros et al. (2009) no Brasil, são produzidas cerca de 6,25 milhões de toneladas de escórias de siderurgia, como subproduto da mineração do ferro e da produção do aço, consideradas as fontes mais abundantes e baratas de silicatos. Em média, a cada tonelada de ferro gusa, produz-se 300 kg de escória sendo 66% de Alto

Forno e 34% de Aciaria (LEITE, 2008). A escória de siderurgia tem sido usada de forma inexpressiva na agricultura brasileira, embora seja uma alternativa viável agronomicamente, além de servir para o aproveitamento desse resíduo da siderurgia que, nas últimas décadas, vem se acumulando com o crescimento do parque siderúrgico nacional, diminuir o impacto ambiental em torno das indústrias produtoras de ferro e aço (PRADO & FERNANDES, 2000).

Atualmente, a escória de siderurgia é classificada como corretivo da acidez do solo, porém ainda não existe uma legislação específica para este resíduo. Até a publicação da Instrução Normativa nº 4 de 2 de agosto de 2004, era utilizada a legislação aplicada aos calcários, com algumas adaptações (BRASIL, 1986). Com o estabelecimento destas novas normas, ficaram estabelecidas as regras gerais de classificação e uso de corretivos da acidez, incluindo-se assim as escórias (BRASIL, 2004).

De acordo com a legislação brasileira de corretivos da acidez, a escória de siderurgia deve apresentar valores mínimos de poder de neutralização (PN) e reatividade (RE) para poderem ser comercializadas. O PN representa a capacidade potencial total de bases neutralizantes contidas em um corretivo de acidez, expresso em equivalente de carbonato de cálcio puro (% Eq CaCO_3), para escórias deve ser no mínimo 67% e a soma dos teores de óxidos de Ca e Mg deve ser superior a 38%, sendo estes valores os mesmos utilizados para os calcários agrícolas (BRASIL, 2004).

Quanto à distribuição do tamanho de partículas, o produto, na forma de pó, deve conter, no mínimo, 95% de partículas que passem em peneira de 2 mm (ABNT nº 10) e 50% em peneira de 0,3 mm (ABNT nº 50). Estes valores são usados para cálculo da reatividade (RE), que é o valor em percentual do corretivo que reage com o solo no prazo de três meses. Assim, a capacidade dos neutralizantes contidos na escória de siderurgia em reagir com o solo, em um período de três meses, pode ser expressa com base no Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT ($\text{PRNT \%} = (\text{PN} \times \text{RE})/100$) (TEDESCO & GIANELLO, 1989).

Além do PN e da RE, há outro fator relacionado com a forma de resfriamento da escória (ao ar ou por jatos d'água - “quenching”) no momento de saída do forno, pode afetar sua capacidade de corrigir o solo. Se a escória não tiver recebido o “quenching”, ocorre maior recristalização dos seus constituintes, o que pode reduzir a solubilidade

dos seus compostos quando adicionada ao solo. Portanto, a escória de siderurgia resfriada por “quenching” deve ser preferida para o uso agrícola (WALLY, 2005).

A escória de siderurgia recém-formada apresenta-se na forma granulada, isto ocorre porque nem todo calcário usado no processo de produção do ferro-gusa é dissolvido e parte desta cal livre é hidratada com a umidade do ar, aumentando o volume dos constituintes da escória. Embora esses grânulos sejam facilmente desintegrados, sua moagem é necessária para o aumento da área superficial específica. Entretanto, o custo da moagem da escória pode ser relativamente mais alto comparado ao do calcário, devido à maior abrasão do equipamento, provocada pela sílica contida na escória. Entretanto, a escória não tem o custo da mineração, podendo, desta forma, apresentar um custo final semelhante ao do calcário (WALLY, 2005).

Pesquisas realizadas com a escória mostram que sua ação neutralizante na acidez do solo assemelha-se à do calcário. Entretanto, em alguns experimentos, tem sido constatado que a escória apresenta reação mais lenta no solo quando comparada ao calcário (FORTES, 1993; PRADO & FERNANDES, 2000). Dalto (2003), estudando a correção da acidez do solo em profundidade pelo calcário e silicato de Ca e Mg, em condições de campo, observou que, no primeiro ano, o calcário apresentou maior reatividade em relação ao silicato, para uma mesma dose aplicada. Isso pode estar relacionado com o menor PRNT apresentado pelo silicato utilizado e com o tempo de contato entre a escória aplicada e o solo (NOVAIS et al. 1993).

Essa reação mais lenta do silicato também pode ser influenciada pela presença de impurezas (como Al), que reduzem a solubilidade da escória (ANDO et al.1998), ou pela formação de uma película alcalina de óxido de Fe e Al ao redor das partículas do corretivo no momento da hidrólise (GOMES, 1996). Conforme Piau (1991), quando comparada com o calcário, a eficiência agrônômica da escória varia de acordo com a granulometria, dosagem, tipo de solo e tempo de contato com o solo.

No Brasil são poucos os trabalhos desenvolvidos sobre a ação dos corretivos no solo em função da granulometria, (RAIJ,1977; BELINGIERI et al. 1989). Alcarde et. al (1989), avaliaram em condições de laboratório, a reatividade das frações granulométricas de um calcário, baseando-se na elevação do pH do solo, medidos periodicamente em água. As taxas de reatividade das diferentes frações granulométricas aos 90 dias de incubação foram de 23 % para a fração de 2 a 0,84 mm; 65 % para a fração de 0,84 a 0,30 mm e 95 % para a fração menor do que 0,30 mm.

Fortes (1993) estudou duas escórias de siderurgia em diferentes distribuições granulométricas, variando de 0,84 mm até menor que 0,05 mm. Concluiu que os melhores resultados foram observados com a utilização de partículas menores que 0,15 mm, aos 90 dias de incubação. Nota-se, pelos resultados da literatura, a importância da moagem fina da escória no aumento da superfície específica do material para possibilitar melhor reação no solo.

Embora alguns trabalhos sobre eficiência agronômica da escória tenham mostrado bons resultados em pesquisas em nível de casa de vegetação (PRADO & FERNANDES, 2000; PRADO et al. 2002; CARVALHO-PUPATTO et al. 2004), ainda são poucas as pesquisas deste produto no Brasil, em especialmente em solos da região Amazônica, neste contexto faz-se necessárias também as pesquisas a nível de campo.

Os objetivos desse trabalho foram:

Avaliar o efeito da aplicação de escória de siderurgia em diferentes granulometrias e doses na correção da acidez e concentrações de nutrientes em função dos períodos de amostragens do solo;

Avaliar o efeito de doses da escória de siderúrgicas em diferentes granulometrias, nos teores e acúmulo dos nutrientes em diferentes partes das plantas de milho;

Avaliar o efeito de doses escória de siderúrgicas em diferentes granulometrias na produção e nos acúmulos de massa seca de plantas de milho.

No primeiro capítulo da tese, “**Contextualização**”, descreveu-se sobre o uso de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo, abordando uma ligeira descrição de suas reações químicas no solo em comparação ao uso do calcário.

No segundo capítulo foi avaliado o **Efeito da escória de siderurgia nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico, Terra Alta – PA.**

No terceiro capítulo avaliou-se o **Efeito da escória de siderurgia em diferentes doses e frações granulométricas nos teores e acúmulos de nutrientes em plantas de milho.**

No quarto capítulo avaliou-se o **Efeito da escória de siderurgia em diferentes doses e frações granulométricas na produtividade e acúmulo de matéria seca em plantas de milho no nordeste paraense.**

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1992. (Boletim técnico, 6).

ALCARDE, J. C.; PAULINO, V. T.; DENARDIN, J. S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, n. 3, p. 387-392, 1989.

ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. **Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos**. In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H., eds. Tópicos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.291-334.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, I.E.; BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um Latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n.2, p.299- 304,1993.

ANDO, J.; OWA, N. & ASANO, M. Studies on structure, solubility and agronomic response of industrial slag. Effects of aluminium on solubility and agronomic response of slags. **Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr.**, 59:27-32, 1998.

ARAÚJO, J. C. T.; NASCIMENTO, C. A. W. A. Redistribuição entre frações e teores disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.635-644, 2005.

BELLINGIERI, P. A.; ALCARDE, J. C.; SOUZA, E. C. A. Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliadas em laboratório. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 46, n. 2, p. 303 317, 1989.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais**. Brasília: Lanarv, 1983. 104 p.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Portaria nº 03 de 12/06/86 da Secretaria de Fiscalização Agropecuária, 1986.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Apoio Rural e Cooperativismo. **Instrução Normativa nº 4**, de 2 de agosto de 2004. Diário Oficial, Brasília, 2004.

BRASIL, E.C.; NICOLI, C.M.L.; OLIVEIRA, R.F. de. **Alternativas tecnológicas para o aproveitamento de resíduos gerados durante o processo de produção de ferro gusa voltado para utilização agroflorestal: estudo de viabilidade técnica e econômica**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 47p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 333).

CAMARGO, A.P. **Influência da granulometria de três materiais corretivos na neutralização da acidez do solo**. Piracicaba, 1972. 54p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. **Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, p.1213-1218, 2004.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1307-1317, 2007.

DALTO, G. **Manejo de silicato e calcário em soja cultivada sobre palhada de cana-de-açúcar**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2003. 102p. (Tese de Mestrado).

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. Influencia da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.537-544, 2000.

FORTES, C. A. **Correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para produção de gramíneas forrageiras**. 2006. 137 f. dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

GAMA, J. R.F.N.; CARVALHO, E.J.M.; RODRIGUES, T.E.; VALENTE, M.A. **Solos do Estado do Pará, Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**, pag.19-29. EMBRAPA 2007.

GOMES, M.F.A. Influência de ferro e alumínio amorfos do solo na reatividade de quatro corretivos de acidez. **Ceres**, v.43, p.444-453, 1996.

LEITE, R. M; **Efeito da escória de siderurgia na nutrição e desenvolvimento inicial de eucalipto** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônomicas Botucatu - SP, 2008 103f.

MEDEIROS, L. B., VIEIRA, A. O.AQUINO, B. F. de, BELTRÃO, N. E de. M. **Micronutriente na cana-de-açúcar irrigada: correção do solo com escória siderúrgica**. Engenharia Ambiental, v. 6, n. 3, p. 447-461, 2009.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; LEITE, F.P.; TEIXEIRA, J.L.; LEAL, P.G.L.. **Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica**, Pains. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 110p.

PAIVA, P.J.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do Estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.1, p.71-75, 1996.

PIAU, W. C. **Viabilidade do uso de escórias como corretivo e fertilizantes**. 1991. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 1991 .

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, p.539-546, 2002.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1199-1204, 2001.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, v.57, p.739-744, 2000.

RAIJ, B. VAN. **Estudo de materiais calcários usados como corretivos do solo no Estado de São Paulo**. IV O poder relativo de neutralização total. Campinas v. 36, n. 12, p. 139-145, 1977.

RODRIGUES, T. E.; **Solos da Amazônia**, O solo nos grandes domínio morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável, Viçosa MG : SBCS; UFV, DPS, 1998. 19-60 p.

SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; CARVALHO R.; TORRES, P.R.F.; POZZA, A.A.A. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1563-1572, 2008.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. **Escolha do corretivo da acidez do solo** In: **Corretivos da acidez do solo: Anais do II Seminário sobre corretivos da acidez do solo**. Kaminski, J., Volkweiss, S.J. & Becker, F.C. (Coord.) Santa Maria-RS: Ed. UFSM, 1989. 224 p.

WALLY, M. do. S. **Respostas das plantas e modificações de propriedades do solo pela aplicação de escória básica de aciaria**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo Dissertação Mestrado 2005.

2 EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO, TERRA ALTA - PA.

RESUMO: Apesar dos indicativos de aproveitamento agrícola 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 em especial na nossa região. O objetivo desse trabalho foi avaliar a aplicação de escória de siderurgia em diferentes granulometrias e doses, observando seus efeitos em diferentes tempos de incubação, sobre as propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico, textura média. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial $4 \times 3 \times 8 + 2$, sendo quatro granulometrias (material retido entre as peneiras ABNT 20 – 50; 50 – 100; 100 - 200 e < 200), três doses de escória (1,65, 3,81 e 5,98 t ha⁻¹) necessárias para elevação das saturações por bases a 40, 70 e 100%, respectivamente, oito períodos de incubação da escória (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 e 360 dias) e mais dois tratamentos adicionais, um com calcário e outro sem calcário e escoria (testemunha). Para avaliação dos atributos químicos em relação á diferentes frações granulométricas, doses e ao tempo de incubação da escória no solo, efetuaram-se coletas de amostras na profundidade de 0–20 cm em cada parcela sendo 12 simples para formar uma composta utilizando um trado do tipo sonda, aos 15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 e 360 dias. As amostras após cada período de coleta foram analisadas em laboratório para as determinações de pH em água, Al⁺³, Ca⁺²+Mg⁺² e K⁺ trocáveis, acidez potencial (H+Al) e P disponível. A partir desses dados foi calculada a porcentagem de bases (V%). As frações granulométricas mais finas (100 - 200 e <200) foram mais efetivas na modificação dos atributos químicos. Os tratamentos com a escória apresentaram melhores resultados, em comparação aos tratamentos adicionais (calcário + testemunha) nos atributos químicos do solo.

Palavras-chaves: Corretivos; Acidez do solo; Saturação por bases; Silicato; Nutrientes

ABSTRACT: Despite indications of agricultural use of slag, there is a major lack of technical studies of soil-plant system to support the use within the agricultural environment, the specific conditions of different regions of the country and for different production systems of economic crops especially in our region. The aim of this study was to evaluate the application of slag in different particle sizes and doses, observing its effects at different incubation times on the chemical properties of a dystrophic Oxisol, medium texture. We used a randomized complete block design with three replications in a factorial $4 \times 3 \times 8 + 2$, four grain sizes (material retained between sieves ABNT n° 20-50, 50-100, 100-200 and <200), three doses of slag (1.65, 3.81 and 5.98 t ha⁻¹) necessary for lifting the base saturation of 40, 70 and 100%, respectively, eight slag incubation periods (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 and 360 days) and two additional treatments, one with and one without limestone limestone and slag (control). For evaluation of chemical attributes in relationship to different size fractions, doses and incubation time of the slag on the ground, were made in samples collected at a depth of 0-20 cm in each plot being 12 to form a single composite using an auger's type probe, at 15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 and 360 days. The samples after each collection period were analyzed in the laboratory for the determination of pH, Al⁺³, Ca⁺² + Mg⁺² and K⁺ exchangeable, potential acidity (H + Al) and P available. From these data we calculated the percentage of bases (V%). The finer size fractions (100-200 and <200) were more effective in modifying the chemical attributes. The treatments with the slag produced better results compared to the additional treatments (lime + control) on soil chemical properties.

Keywords: Corrective, Soil acidity; Base saturation; Silicate; Nutrients

2.1 INTRODUÇÃO

As maiorias dos solos agricultáveis nas regiões tropicais apresentam-se em condições de elevado grau de acidez, o que caracteriza o principal fator de degradação química do solo. De modo geral, esses solos apresentam pH baixo, concentração de alumínio em níveis tóxicos ($> 1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), alta capacidade de adsorção de ânions, especialmente fosfatos (GOEDERT et al. 1997; ERNANI et al. 1998; BOHNEN, 2000), resultando em menor absorção dos nutrientes e água, devido ao menor volume de solo explorado. Em solos ácidos com pH baixo ($< 5,0$), há menor disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo.

O Pará possui aproximadamente 57,7 milhões de hectares de solos com aptidão edáfica para uso com lavouras, porém necessitando de alto nível de utilização de fertilizantes e corretivos, exigindo a aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes organo-minerais e moderada necessidade de calagem, para a correção e manutenção do estado nutricional desses solos (GAMA et. al., 2007).

O calcário é um dos produtos comerciais mais utilizados para a correção da acidez dos solos brasileiros, em virtude da sua eficiência corretiva e do baixo custo de produção. No entanto, esses corretivos podem tornar-se inacessíveis aos produtores, em situações de grandes distâncias entre a fonte produtora e a consumidora, o que aumenta consideravelmente o valor final dos produtos, em decorrência do elevado custo para o transporte dos mesmos até o local de consumo. No estado do Pará isso vem acontecendo, devido à demanda de calcário ser muito alta e a oferta ser relativamente baixa não atendendo essa demanda, fazendo com que os produtores tenham que adquirir calcários de outras jazidas de fora do estado, tornando o preço do produto elevado. Em decorrência disso é importante estudos de outras fontes alternativas de corretivos de acidez do solo, entre essas alternativas temos a escória de siderúrgica. Segundo Nolla (2004), o uso de escórias como corretivo de solo e fonte de Si, além de diminuir o passivo ambiental da indústria siderúrgica também contribui para reduzir o consumo de calcário, pois este é um mineral retirado da natureza e, portanto não renovável.

Pesquisas realizadas com a escória mostram que sua ação neutralizante na acidez do solo assemelha-se à do calcário, entretanto em alguns experimentos, têm sido

constatados que a escória apresenta reação mais lenta no solo quando comparada ao calcário (FORTES 1993; PRADO & FERNANDES, 2000).

O aproveitamento agrícola da escória é pouco utilizado no Brasil, apesar da grande quantidade disponível. As melhorias nas características químicas do solo pela utilização de escórias decorrem da ação neutralizante do SiO_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, devido à presença do ânion H_3SiO_4^- exercer efeito competitivo com o H_2PO_4^- , reduzindo a adsorção ou aumentando a disponibilidade de fósforo no solo (PRADO & FERNANDEZ, 1999, 2000 e 2003; PRADO et al. 2002).

Apesar dos indicativos de aproveitamento agrícola 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 em especialmente na nossa região. Neste contexto fazem-se necessárias também as pesquisas em nível de campo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de escória de siderurgia em função de diferentes granulometrias e doses na correção da acidez e concentrações de nutrientes nos períodos de amostragens do solo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, localizado no município de Terra Alta, distante cerca de 100 km de Belém, no km 33 da Rodovia Castanhal/Curuçá, que faz parte da Microrregião do Salgado nas seguintes coordenadas geográficas, latitude $-01^{\circ}01'7,72''$ Sul e longitude $-47^{\circ}53'29,19''$ Oeste (Figura 1). Essa área está sob a influência climática do tipo Ami, da classificação de Köppen, caracterizado por apresentar um índice pluviométrico elevado, com total anual de 2.000mm aproximadamente e temperatura média de 26°C (BASTOS, 1972, citado por Gama et. al, (2000).

BASTOS, T.X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE (Belém, PA). **Zoneamento agrícola da Amazônia**. 1ª aproximação. Belém, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).

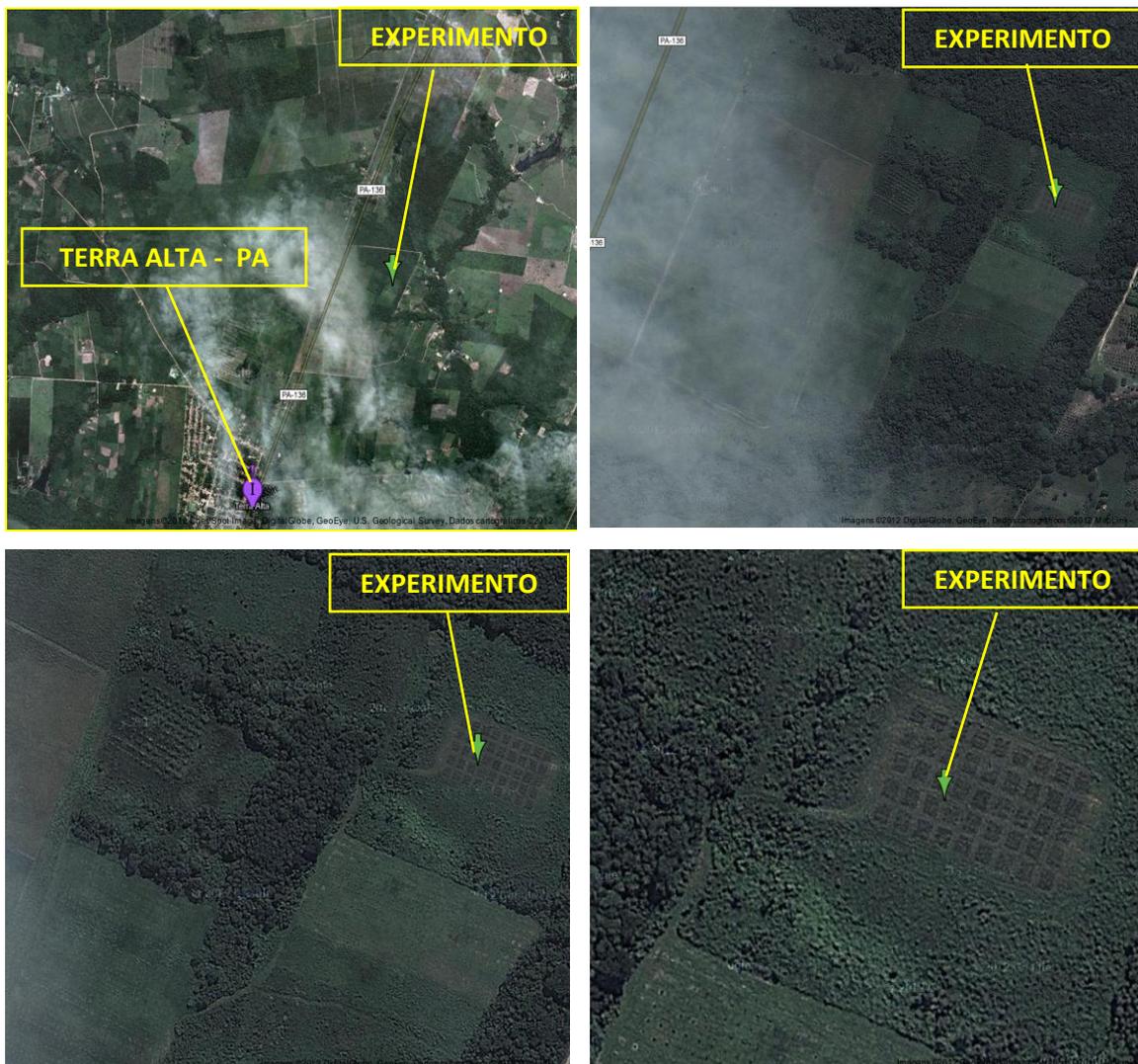


Figura 1: Imagem da localização do experimento (Créditos Google Maps 2012).

A área experimental era composta de vegetação de floresta secundária, denominada de capoeira, de aproximadamente 30 anos. O preparo da área contou com auxílio de trator de esteira e posteriormente foi destocado (Figura 2).



Figura 2: Preparo de área do experimento

2.2.2 Caracterização do solo da área experimental

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura média (Embrapa, 2006). Antes da instalação do experimento foi coletada amostras na camada superficial (0-20 cm), para caracterização química e física do solo. As análises foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (1997), os resultados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1: Características químicas e físicas de um Latossolo Amarelo distrófico, textura média, coletada na camada de 0 a 20 cm, Terra Alta – PA.

Características Químicas	Valores
pH em H ₂ O ¹	4,9
P (mg/dm ³) ²	2,0
K (cmol _c /dm ³) ²	0,06
Al (cmol _c /dm ³) ³	0,8
Ca (cmol _c /dm ³) ³	0,6
Mg (cmol _c /dm ³) ³	0,3
H + Al (cmol _c /dm ³) ⁴	4,38
CTC pH 7	5,34
V(%)	17,09
Características Físicas	Valores
Argila (g/kg)	149
Areia (g/kg)	736
Silte (g/kg)	115

⁽¹⁾ pH em água, determinado usando-se eletrodo de vidro, em suspensão na proporção solo-líquido 1: 2,5; .

⁽²⁾ extraídos com solução de Mehlich 1 ⁽³⁾ extraídos utilizando-se solução de KCl mol/L ; ⁽⁴⁾ Extrator acetato de Ca mol/L, pH 7,0 e CTC = Capacidade de troca de cátions e V(%) = Saturação por bases.

2.2.3 Delineamento Experimental e Tratamentos

Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial com parcelas subdivididas 4x3x8+2, sendo quatro frações granulométricas da escória (material retido entre as peneira ABNT nº 20 – 50, 50 - 100, 100 - 200 e < 200), três diferentes doses (1,65; 3,81 e 5,98 t ha⁻¹, ou seja, 4,62; 10,66 e 16,74 kg/parcela) necessárias para elevação das saturações por bases a 40, 70 e 100%, respectivamente, oito períodos de incubação da escória (15, 30, 45, 60, 90, 120, 240 e 360 dias) e mais dois tratamentos adicionais, um com calcário e outro sem calcário e escória (testemunha), totalizando 42 parcelas com dimensões de 28 m² (5,6 X 5,0). Para definir as doses de escória e de calcário, com 74% e 96% de PRNT, respectivamente, foi adotado o método de saturação por bases (RAIJ et al. 2001) a partir dos dados de saturação por base inicial e capacidade catiônica do solo a pH 7,0.

Os níveis de saturação por base foram definidos apenas para possibilitar níveis crescentes, sem a pretensão de atingir níveis de correção predeterminados.

Foi utilizada a granulometria ABNT < 50 para o calcário, pelo fato de ser essa fração utilizada para o calcário com RE = 100 %, conforme a legislação brasileira (Brasil, 1983). A quantidade de calcário aplicada foi correspondente ao V=70%, ou seja, 2,93 t ha⁻¹ (10,46 kg parcela⁻¹).

A escória utilizada foi coletada em vazamentos de um alto forno da Usina Siderúrgica do Pará (Usipar), localizada no município de Barcarena Estado do Pará. O resíduo passou pelo processo de secagem e, posteriormente, moagem em um triturador. Depois de triturada, a escória passou por peneiras 0,850mm (ABNT N° 20), 0,300mm (ABNT N° 50), 0,150mm (ABNT N° 100) e 0,075mm (ABNT N° 200), obtendo-se assim as quatro granulometrias usadas no experimento.

Foi retirada uma amostra do resíduo para realização de análise no Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental (FULLIN), localizado em Linhares-ES (Tabela 2). A metodologia empregada pela FULLIN na realização das análises de corretivo agrícola, na qual se inclui a escória, segue o protocolo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007). A escória apresentou resultados dentro dos limites máximos de contaminantes admitidos em corretivos de acidez (MAPA, 2006).

Tabela 2: Resultados da análise da escória aplicada no experimento.

Granulometria ^(*)			Teor de óxido		PN	PRNT	Outros elementos				
10	20	50	CaO	MgO			Si	Cd	Cr	Ni	Pb
..... % dag kg ⁻¹ % mg kg ⁻¹				
100	100	99,98	24,85	12,49	75	74	6,34	10,5	42,1	40,0	24,1
Limites máximos de metais pesados permitidos em corretivo da acidez ⁽¹⁾								20	n.a.	n.a.	1000

^(*) Análise granulométrica= Percentual do corretivo passante nas Peneiras: n° 10= 2,00 mm; Peneira n°20= 0,84 mm; Peneira n° 50= 0,30 mm;

⁽¹⁾ Anexo III, I.N. SDA 27 do MAPA (2006); n.a. = não aplicável (não foi descrito o limite na norma).

2.2.4 Condução do Experimento

Os corretivos foram aplicados manualmente à lanço em cada parcela, colocando-se metade das quantidades estimadas antes da aração e a outra metade, antes da gradagem (Figura 3). Após a aplicação dos corretivos foi realizada também uma adubação no experimento equivalente a 120 kg/ha de P_2O_5 , na forma de superfosfato triplo, 90 kg/ha de N, sendo de 50 kg/ha de N na forma de sulfato de amônio e 40 kg/ha de N na forma de uréia, 60 kg de K_2O , na forma de cloreto de potássio e 40 kg/ha de FTE BR 12.



Figura 3: Aplicação da escória de siderúrgica em diferentes granulometrias

Após cada período de incubação o solo de cada tratamento foi coletado na camada de 0-20 cm, na proporção de 12 amostras simples para formar uma composta. Depois de seco foi passado em peneira de 2mm e submetido à análises químicas para fins de fertilidade (pH em água, Al, H+Al, Ca+Mg, P e K). O pH em água foi determinado usando-se eletrodo de vidro, em suspensão na proporção solo-líquido 1: 2,5. Ca, Mg e Al foram extraídos utilizando-se solução de KCl 1mol/L ; P e K foram extraídos com solução de Mehlich 1 e H+Al com extrator acetato de Ca 1mol/L realizadas segundo metodologia da Embrapa (1997). A partir desses dados foi calculada a saturação por bases (% V).

2.2.5 Análise Estatística

Os dados foram analisados estatisticamente através da análise de variância, utilizando-se o teste de Skott-knott, a 5% de significância utilizando-se o programa Sisvar v.4.2 (FERREIRA, 2003). Nas situações em que foram necessárias, aplicou-se análise de regressão aos dados. Foram feitas análises de contrastes das médias dos tratamentos fatoriais versus as médias dos adicionais, e depois, foram agrupadas em um único quadro de análise de variância.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 pH em H₂O

Os valores de pH do solo foram influenciado significativamente pela granulometria da escória, isoladamente, e pela interação entre doses da escória e tempo de incubação. Também, houve efeito significativo da interação entre o tempo de incubação e a diferença entre médias dos tratamentos com a escória e as médias dos tratamentos adicionais (Tabela 3).

Com a escória nas granulometrias ABNT < 200 e 100 - 200 foram encontrados os maiores valores de pH, sem diferença significativa, seguido da granulometria ABNT 50 - 100, com o menor valor encontrado na granulometria ABNT 20 - 50 (Figura 4a). Esses resultados são atribuídos a melhor reatividade das partículas mais finas relacionados com o aumento da superfície específica das mesmas, favorecendo as reações de solubilização da escória e neutralização da acidez do solo, em comparação com as partículas mais grossas da escória. Desse modo, quanto mais finas as partículas, mais rápida será a sua ação na correção da acidez do solo, como observado por Bellingieri et al. (1989), Piau (1991) e Prado et al. (2004). O aumento do pH do solo com a aplicação de escórias é atribuído à ação do agente neutralizante SiO_3^{-2} gerado pela reação das escórias com o solo (ALCARDE, 1992). Aumentos do pH com aplicação de escória também foram observados em trabalhos conduzidos por Prado & Fernandes (2003), Carvalho-Pupatto et al. (2004) e Ramos et al. (2006).

Tabela 3: Resumo da análise de variância dos atributos químicos de um Latossolo Amarelo Distrófico, Terra Alta - PA.

FV	GL	QM						
		pH	Ca+Mg	Al	H+Al	V%	P	K
Bloco	2	0,169851 *	0,334762	0,051548	5,7058	29,337	3,494727	0,194407
Granulometria (G)	3	0,296979 *	2,126157 *	0,492037 *	0,6463	556,105123*	0,246468	0,081361
Doses (D)	2	0,957188 *	7,772535 *	2,137535 *	1,0798	1942,939126 *	0,597117	0,664242
G * D	6	0,055521	0,249525	0,061655	0,3265	37,763802	0,152881	0,031925
Ad1 vs Ad2 ⁽¹⁾	1	1,801875	15,075208	3,9675	4,0889	3765,500408	0,048133	0,172587
Escória (E) - Ad1Ad2 ⁽²⁾	1	0,016116	0,335317	0,167937	1,266	245,324716 *	0,4212	0,611817 *
Erro 1	26	0,041133	0,250884	0,060298	0,4172	53569177	0,237433	0,048851
Tempo de Incubação (T)	7	20,77773	1,126885 *	0,271429	3,9029	349168534	2,584215	0,425215
Erro 2	14	0,0057	0,09	0,0486	0,0681	53,5691	0,34002	0,07758
T * G	21	0,006794	0,179993 *	0,035529 *	0,0846	39,656774 *	0,197192 *	0,019156
T * D	14	0,017386 *	0,047733	0,028646	0,1476*	12,635832	0,105645	0,016322
T * G * D	42	0,006407	0,092607 *	0,021496	0,0454	16,088334	0,138523	0,020957
T * Ad1 vs Ad2	7	0 047589	0,244732	0,108928	0,0763	50,4331	0,137624	0,020039
T * E - Ad1Ad2	7	0,020005 *	0,510086 *	0,039932	0,1185	26,969200 *	0,182048	0,047975
Erro 3	182	0, 006468	0,05564	0,020554	0,0616	11,673792	0,113393	0,027933
CV 1 (%)		4,02	13,95	21,25	17,12	15,25	17,37	15,53
CV 2 (%)		1,5	20,34	17,07	6,92	17,32	22,49	21,29
CV 3 (%)		1,6	15,99	14,09	6,58	11,79	25,87	11,64
Média Geral		5,03	1,47	0,59	3,77	29,98	8,44	0,06

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott. ⁽¹⁾ média entre resultados de calcário e testemunha; ⁽²⁾ diferença entre a média dos resultados da escória (doses e granulometrias) e a média entre os tratamentos adicionais (calcário e testemunha).

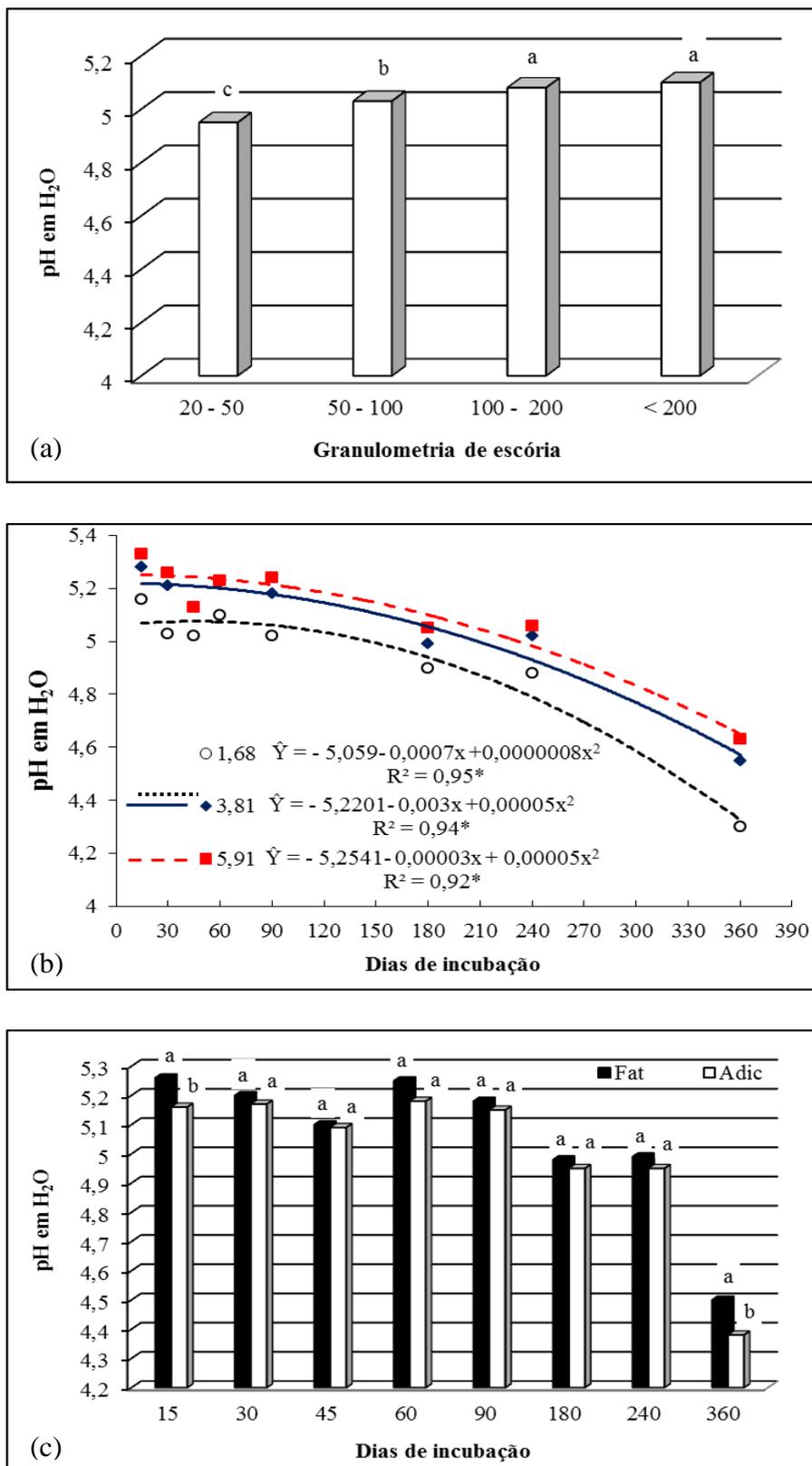


Figura 4: Valores de pH em função de diferentes granulometrias da escória (a); interação entre diferentes doses da escoria e tempos de incubação nos valores de pH (b); e Comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação (c).

Os dados de pH em função da interação entre períodos de incubação e doses da escória apresentaram resposta quadrática (Figura 4b). Os maiores valores de pH (5,28 e 5,33) foram observados aos 15 dias de incubação, proporcionados pelas maiores doses de escória (3,81 e 5,98 t ha⁻¹), correspondentes a 70% e 100% de saturação em bases, respectivamente, sem diferenças significativas. Independentemente da dose aplicada, os valores de pH reduziram com o tempo de incubação da escória. Essa diminuição do pH do solo pode ser atribuído à aplicação da adubação nitrogenada. Segundo Campos (2004), Haclin et al. (2005) e Moreira & Siqueira (2006), a acidificação do solo, pelo uso de ureia, gerando amônio pela sua hidrólise, é prevista, pois no processo de nitrificação, há liberação de dois prótons (H⁺) para cada íon de NH₄⁺ nitrificado. Esse efeito da adubação nitrogenada na diminuição do pH também foi verificado por Primavesi et al. (2005), trabalhando com a aplicação de ureia e nitrato de amônio em capim coast-cross, Campos (2004), com sulfato de amônio na cultura do milho, em solo sob pastagem de capim braquiária, além de Lange et al. (2006) e Vale et al. (2010) com aplicação de uréia na cultura do milho e cana-de-açúcar, respectivamente. Prado & Fernandes (2000) também verificaram menor eficiência da escória na correção da acidez, atribuindo o fato ao uso da adubação nitrogenada com sulfato de amônio.

De modo geral, os valores de pH sob tratamentos com escória (doses e granulometria) foram superiores aos dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), com diferença significativa aos 15 e 360 dias de incubação da escória (Figura 4c). Esses valores sofreram acentuada redução a partir de 180 dias de incubação. Isto mostra que os corretivos estudados apresentam comportamento distinto quanto à eficiência na neutralização da acidez do solo, tendo em vista as diferenças de natureza química dos agentes neutralizantes (silicato e carbonato) e sua granulometria, com superioridade da escória sobre o calcário. O silicato de Ca e Mg tem reação mais lenta no solo que o calcário, portanto, tendo efeito residual, fato importante para ampliar os efeitos da manutenção da neutralização da acidez do solo e na liberação de nutrientes e de silício para as plantas (Prado et al., 2001; Prado et al., 2003). Superioridade da escória de siderurgia sobre o calcário dolomítico, na neutralização da acidez do solo, também foi encontrada por Prado et al. (2004), em amostras de Latossolo Vermelho distrófico em Bebedouros-SP. Korndorfer & Prado (2003) relatam que a escória na dose de 4,0 t ha⁻¹ reduziu a acidez do solo, elevando o pH que variou de 5,80 para 6,24.

2.3.2 Concentração de Cálcio (Ca) + Magnésio (Mg)

As concentrações de Ca + Mg foram afetadas significativamente pela interação entre granulometria e doses da escória e tempo de incubação, e pela diferença entre as médias obtidas nos tratamentos fatoriais (com a escória) e as dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação (Tabela 3).

Independente do tempo de incubação, as concentrações de Ca + Mg no solo aumentaram significativamente com a aplicação das maiores doses de escória (3,81 e 5,98 t ha⁻¹), correspondentes a 70 e 100% de saturação por bases, respectivamente, nas granulometrias mais finas (ABNT 100 – 200 e < 200). Os maiores valores foram observados até os 90 dias de incubação, ocorrendo a partir daí uma tendência de redução retomando o crescimento aos 240 dias, embora sem diferenças significativas (Tabela 4).

Ressalte-se que os efeitos positivos da escória no aumento dos teores trocáveis de Ca + Mg devem-se, também, à maior eficiência das partículas mais finas do corretivo, efeito este relacionado ao aumento da superfície específica das partículas, favorecendo maior contato com o solo e, intensificando as reações de solubilização da escória na neutralização da acidez do solo. Semelhante ação positiva da escória de siderurgia na ação de correção da acidez do solo, com o aumento dos teores de bases trocáveis, também foi observado por Piau (1991) e Prado et al. (2004). Além disso, a escória em estudo apresentou valores de 24,85dag kg⁻¹ e 12,49dag kg⁻¹ respectivamente de CaO e MgO e um poder de neutralização (PN) de 75% considerado pela legislação como calcário agrícola (Tabela 2), o que mostra o efeito residual da mesma, com resultados favoráveis no aumento de Ca + Mg trocáveis após três meses de incubação. Prado et al. (2005) obtiveram maiores valores para concentrações de Ca + Mg, soma de bases e saturação por bases, quatro meses após a incubação da escória em substrato oriundo de Latossolo Vermelho distrófico. Deve ser ressaltado que os teores de Ca + Mg não sofreram influência significativa da fração mais grosseira (ABNT 20 – 50) mesmo na dose mais elevada e por um período de incubação de até 360 dias. Isso demonstra que a fração mais grosseira da escória é pouco efetiva na neutralização da acidez do solo e no consequente aumento dos teores de bases trocáveis do solo, fato também constatado por Prado et al. (2004).

Tabela 4: Concentrações de Ca+Mg ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses e granulometrias da escória em diferentes tempos de incubação.

Doses (t/ha) Saturação por bases	Granulometrias (ABNT N°)			
	20 - 50	50 - 100	100 - 200	< 200
Ca+Mg aos 15 dias				
1,65 (40%)	0,966 bB	0,866 bB	1,666 aB	1,366 aB
3,81 (70%)	1,333 bA	1,500 bA	2,000 aA	2,166 aA
5,98 (100%)	1,466 bA	1,633 bA	1,966 aA	2,100 aA
Ca+Mg aos 30 dias				
1,65 (40%)	0,966 bB	1,200 bB	1,300 aB	1,966 aB
3,81 (70%)	1,700 aA	2,000 aA	2,100 aA	2,266 aA
5,98 (100%)	1,400 bA	2,100 aA	2,333 aA	2,566 aA
Ca+Mg aos 45 dias				
1,65 (40%)	1,033 aB	1,166 aB	1,266 aB	1,500 aB
3,81 (70%)	1,500 aA	1,600 aA	1,760 aA	1,800 aA
5,98 (100%)	1,600 aA	1,733 aA	1,833 aA	1,900 aA
Ca+Mg aos 60 dias				
1,65 (40%)	1,033 aB	1,000 aB	1,000 aB	1,300 aB
3,81 (70%)	1,500 aA	1,500 aA	1,533 aA	1,566 aA
5,98 (100%)	1,600 aA	1,566 aA	1,600 aA	1,700 aA
Ca+Mg aos 90 dias				
1,65 (40%)	0,833 aA	1,066 aA	1,200 aA	1,400 aB
3,81 (70%)	1,200 bA	1,366 bA	1,566 aA	1,866 aA
5,98 (100%)	1,333 aA	1,566 aA	1,566 aA	1,600 aA
Ca+Mg aos 180 dias				
1,65 (40%)	0,833 aA	0,933 aA	0,966 aA	1,100 aB
3,81 (70%)	1,200 aA	1,233 aA	1,266 aA	1,400 aA
5,98 (100%)	1,333 aA	1,333 aA	1,466 aA	1,500 aA
Ca+Mg aos 240 dias				
1,65 (40%)	1,033 aA	1,100 aA	1,166 aB	1,600 aB
3,81 (70%)	1,466 aA	1,500 aA	1,600 aA	1,900 aA
5,98 (100%)	1,333 bA	1,766 aA	1,966 aA	2,233 aA
Ca+Mg aos 360 dias				
1,65 (40%)	1,000 aA	1,066 aA	1,100 aB	1,266 aB
3,81 (70%)	1,400 aA	1,500 aA	1,633 aA	1,900 aA
5,98 (100%)	1,400 aA	1,700 aA	1,800 aA	1,833 aA

Letras minúsculas comparam diferentes frações granulométricas na linha, letras maiúsculas comparam doses da escória na coluna para tempo de incubação. Letras iguais podem ser consideradas estatisticamente iguais entre si, na comparação das médias pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Nos períodos iniciais de incubação dos corretivos os valores de Ca + Mg sob tratamentos do fatorial (escória) foram superiores aos dos tratamentos adicionais (calcário), com diferença significativa somente aos 45 dias do processo (Figura 5). Nos

períodos de incubação a partir de 60 dias houve alternância de superioridade entre os tratamentos com escória e com calcário, sobre as concentrações dos referidos cátions básicos. Esses resultados se respaldam nas diferenças de natureza química dos agentes neutralizantes (silicato e carbonato) e suas granulometrias. Tais diferenças foram constatadas por Prado et al. (2004), trabalhando em amostras de Latossolo Vermelho distrófico, onde encontraram superioridade da escória sobre o calcário, na soma de bases trocáveis, aos três meses de incubação, ocorrendo o inverso aos seis e nove meses de incubação desses corretivos.

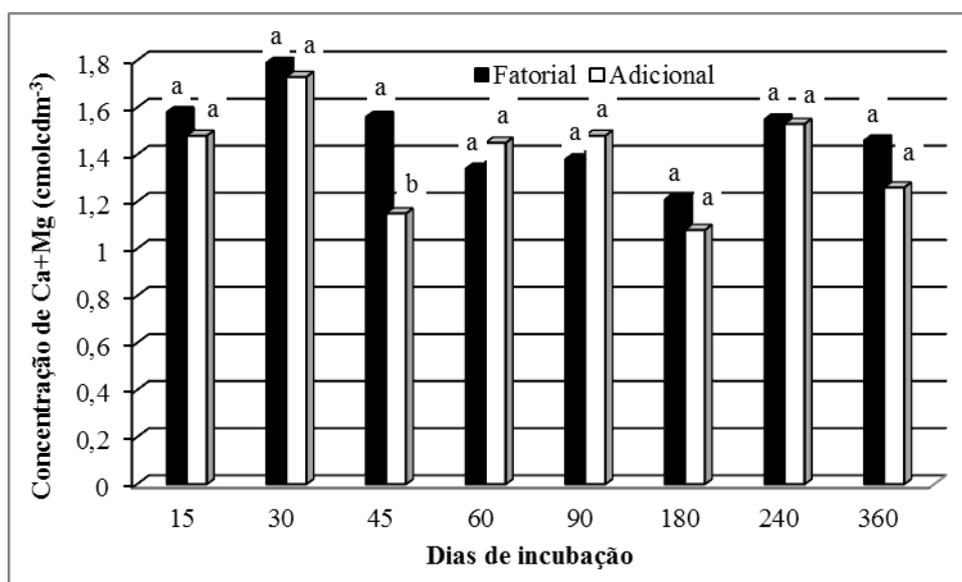


Figura 5: Concentrações de Ca+Mg de um Latossolo Amarelo distrófico em função da comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação da escória.

2.3.3 Concentração de Alumínio (Al^{+3}) e Acidez potencial (H+Al)

As concentrações de Al trocável do solo foram afetadas significativamente pelas doses de escória aplicadas (Tabela 3). Ocorreu redução desses valores com o aumento das doses de $1,65 \text{ t ha}^{-1}$ ($V= 40\%$) para $5,98 \text{ t ha}^{-1}$ ($V= 100\%$) (Figura 6a). Isso demonstra a eficiência desse corretivo na neutralização da acidez trocável do solo. Prado & Fernandes (2003), Carvalho-Pupatto et al. (2004), Prado et al. (2005) e Ramos et al. (2006), também constataram redução significativa da acidez do solo, o que é consequência da redução do Al trocável, com a aplicação de escória.

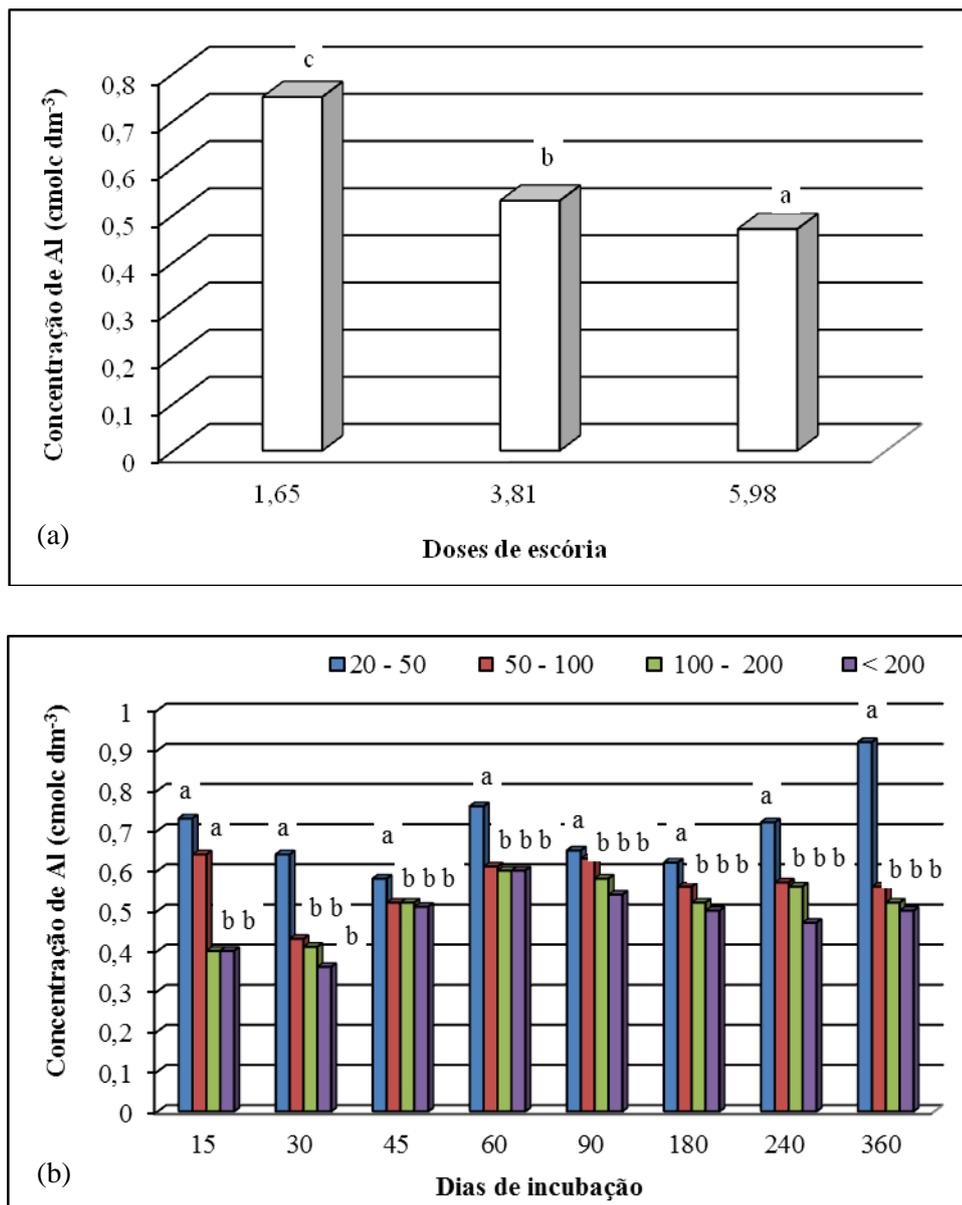


Figura 6: Concentrações de Al de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses (a); e frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação (b)

A granulometria da escória, em diferentes tempos de incubação, também afetou significativamente as concentrações de Al trocável do solo. De modo geral, as maiores concentrações ocorreram com o uso da escória na maior granulometria (ABNT 20 – 50), com diferenças significativas aos 15, 30 e 360 dias de incubação (Figura 6b). A eficiência das frações granulométricas mais finas na redução do Al, conforme discutido anteriormente, está relacionado ao aumento da superfície específica das mesmas,

favorecendo maior contato com o solo e, intensificando as reações de solubilização da escória na neutralização da acidez do solo.

As concentrações de H+Al do solo foram afetadas significativamente pelas doses de escória aplicadas, em diferentes tempos de incubação. Entretanto, essa variação significativa não ocorreu até o tempo de 240 dias de incubação. Aos 360 dias de incubação a acidez potencial reduziu significativamente com o aumento da dose da escória (Figura 7). Observou-se uma ação favorável da escória provocando redução da concentração de H+Al do solo de 4,38 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, antes do experimento (Tabela 1), para 4,08, 3,72 e 3,37 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas doses 1,65, 3,81 e 5,98 t ha^{-1} , correspondentes às saturações por bases a 40%, 70% e 100%, respectivamente, na última amostragem de solo aos 360 dias. Esses resultados concordam com PRADO & FERNANDES (2000, 2003) que obtiveram, também, uma diminuição nas concentrações de Al e de H+Al com aplicação de escória em Latossolo, em razão da presença de agente neutralizante da acidez como o SiO_3^{-2} (ALCARDE, 1992).

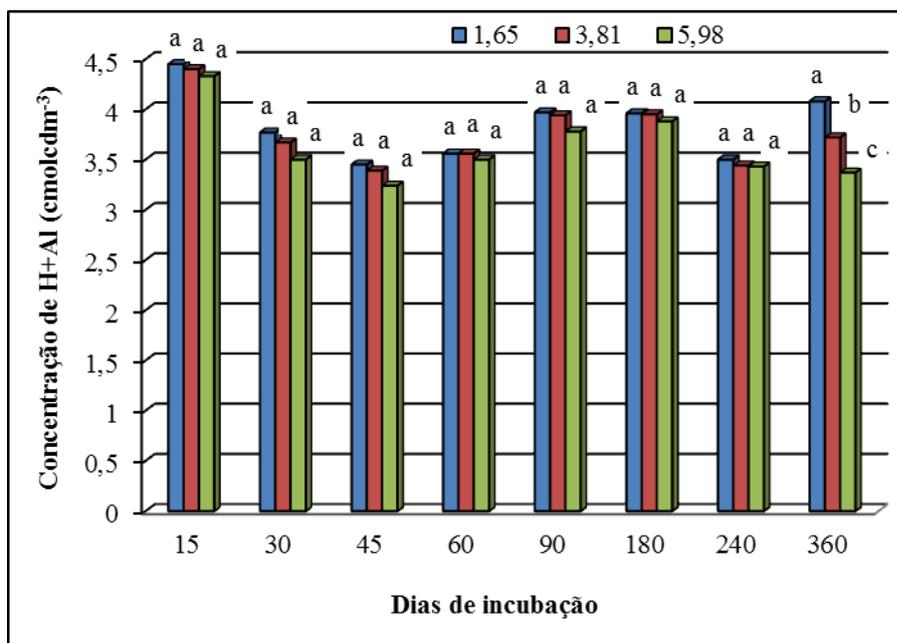


Figura 7: Concentrações de H+Al de um Latossolo Amarelo distrófico em função de diferentes doses de escória) e tempos de incubação.

2.3.4 Saturação por bases (V%)

A porcentagem de saturação por bases foi influenciada significativamente pelas doses da escória, isoladamente, pela interação entre granulometria da escória e tempo de incubação, e pela diferença entre médias de V% dos tratamentos do com a escória e dos tratamentos adicionais (calcário) avaliadas em diferentes tempos de incubação (Tabela 3).

A saturação por base do solo aumentou significativamente, com o aumento das doses da escória (Figura 8a), o que pode estar relacionado com a redução da acidez trocável (Al^{+3}) neste mesmo tratamento (Figura 6a). Esse aumento das bases, em função do aumento da dose de escória aplicada, pode ser explicado pela dependência da solubilização da escória, de acordo com o maior fracionamento das partículas, possibilitando maior contato corretivo-solo. O maior valor foi obtido com a dose de $5,98 \text{ t há}^{-1}$ ($V= 100\%$), enquanto o menor valor foi atingido com a menor dose da escória ($1,65 \text{ t há}^{-1}$), equivalente a 40% de saturação por bases. Os valores de saturação por bases iguais a 24,22%, 31,05% e 32,71%, obtidos nas doses 1,65; 3,81 e $5,98 \text{ t há}^{-1}$, respectivamente, estão aquém das %V estimadas com as mesmas doses, equivalentes a 40%, 70% e 100%. Tescaro (1998) relata que essa ineficiência em elevar a V% a valores relativamente altos em experimentos de campo, pode estar ligada ao alto potencial de cargas dependentes do pH do solo, ao deslocamento da reação de equilíbrio da solubilização do corretivo e, ainda, à formação de novos minerais no solo em formas de hidróxido pouco solúvel. Prado & Natale (2004) também observaram que a aplicação da escória não atingiu a saturação por bases desejada, sendo que a dose para elevar %V a 80% alcançou 66%.

Em todos os períodos de avaliação houve superioridade das frações granulométricas mais finas sobre as grosseiras, nos valores de porcentagem de bases do solo, com diferenças significativas aos 15, 30, 90 e 240 dias de incubação (Figura 8b).

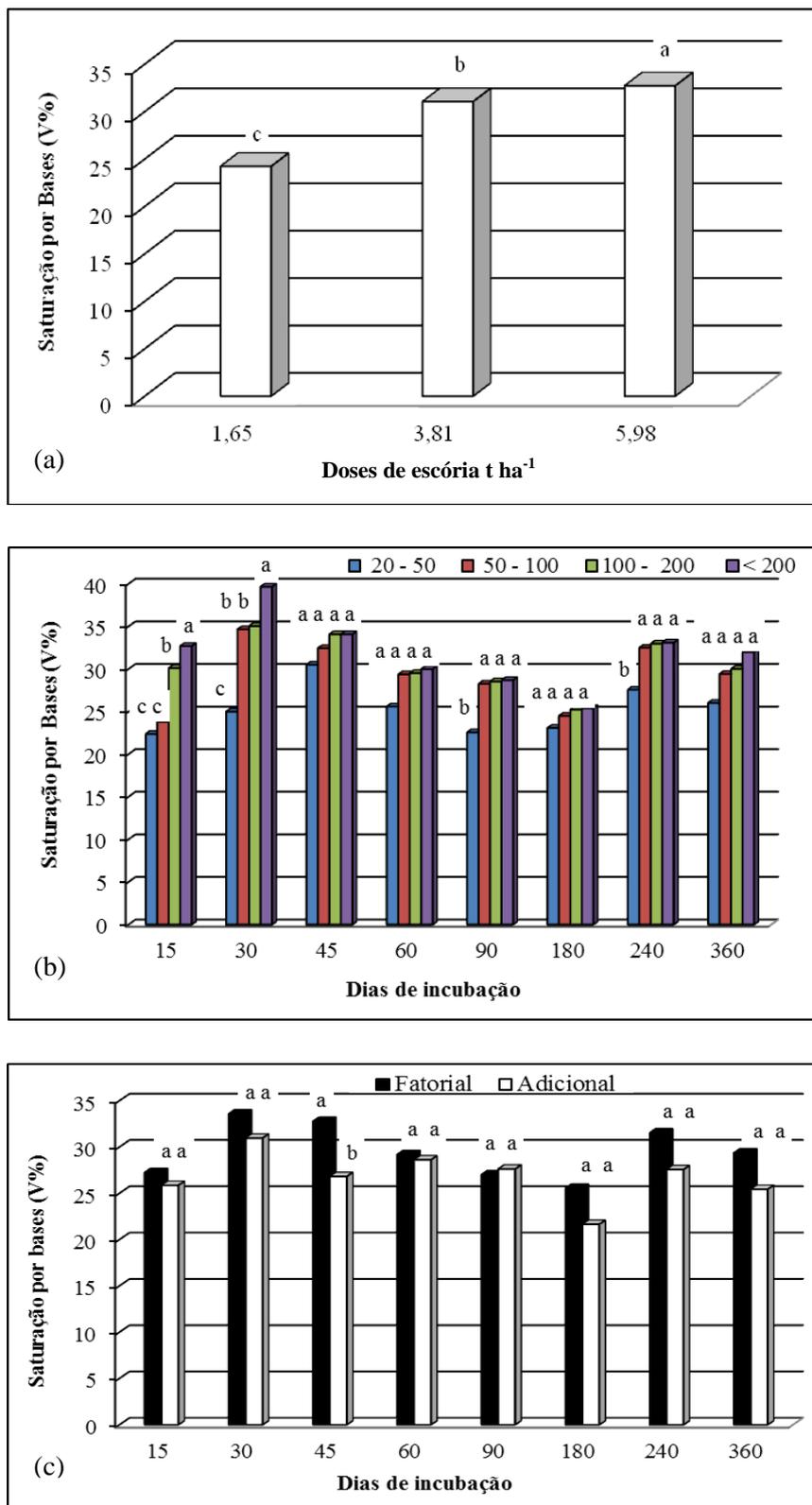


Figura 8. Valores de saturação por bases em função de doses da escória (a); frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação nos valores de saturação por bases (b); comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), em diferentes tempos de incubação (c) de um Latossolo Amarelo distrófico.

Os valores de %V avaliados aos 15 e 30 dias mostraram superioridade significativa da granulometria correspondente à ABNT < 200 sobre as demais frações. A superioridade das frações mais finas da escória está relacionada à maior superfície específica dessas partículas, proporcionando maior e mais rápida solubilização desse material, favorecendo a neutralização da acidez do solo e a liberação de cátions básicos, com o conseqüente aumento da porcentagem das bases no solo. Semelhante relação já havia sido observada com referência ao aumento dos teores trocáveis de Ca + Mg (Tabela 4) e redução da concentração de Al trocável do solo (Figura 6b), com aplicação de escória com granulometria mais fina (ABNT < 200). Prado et al. (2003) constataram que a escória promoveu efeito residual benéfico, após 48 meses da aplicação, na correção da acidez e, conseqüentemente, na elevação da saturação por bases, .

Houve tendência de superioridade dos valores de porcentagem de saturação por bases sob tratamentos com a escória em todos os períodos de incubação, em comparação aos dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), com diferença significativa no período de 45 dias de incubação da escória (Figura 8c). As maiores porcentagens de saturação por bases foram obtidas aos 30 dias de incubação, 33% (escória) e 30% (calcário + testemunha). Esses valores sofreram acentuada redução a partir de 45 dias de incubação. Isto mostra que os corretivos estudados apresentam comportamento distinto quanto à eficiência na neutralização da acidez do solo, tendo em vista as diferenças de natureza química dos agentes neutralizantes (silicato e carbonato) e sua granulometria, com superioridade da escória sobre o calcário. Superioridade da escória de siderurgia sobre o calcário dolomítico, na neutralização da acidez do solo, também foi encontrada por Prado et al. (2004), em amostras de Latossolo Vermelho distrófico em Bebedouros-SP.

2.3.5 Concentração de fósforo (P)

A concentração do fósforo no solo sofreu influência significativa unicamente da granulometria da escória em interação com os diferentes tempos de incubação do corretivo (Tabela 3).

Os dados de fósforo disponível do solo em função da fração granulométrica da escória entre 50 – 100 mm não mostrou comportamento linear e nem quadrático, enquanto as demais granulometrias se ajustaram à função quadrática (Figura 9). Esses

resultados mostram que em todos os períodos de incubação, ao longo do tempo, as diferentes frações granulométricas da escória mostraram efeito semelhante no aumento do nutriente até os 30 dias, à exceção da granulometria ABNT n° 50-100 que superou significativamente as demais no período de 180 dias. Ressalta-se que essa queda na disponibilidade do P que foi dos 30 aos 180 dias ocorreu em função da absorção do mesmo pela planta de milho, ou seja, todo o fósforo que ficava disponível rapidamente era absorvido. Com as frações mais finas (ABNT n° 100-200 e < 200) os maiores valores de P ocorreram até o tempo de incubação de 90 dias. A fração mais grosseira (ABNT n° 20-50) foi mais efetiva até 45 dias de incubação da escória, demonstrando baixo poder residual. O aumento da disponibilidade de fósforo no solo com a aplicação de escória pode estar relacionado à competição dos ânions de silicato, contidos neste corretivo, com os de fosfatos pelo mesmo sítio de adsorção, conforme mencionam Smyth & Sanchez (1980). Prado et al. (2002) e Vale et al. (2010) encontraram aumento do P disponível do solo pela aplicação de escória de aciaria e de siderurgia, respectivamente.

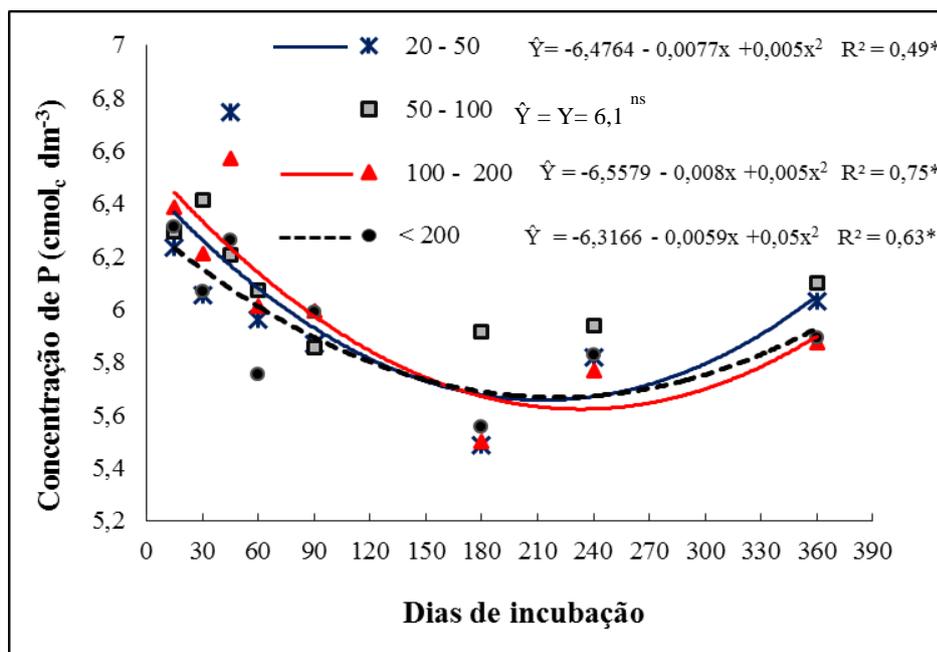


Figura 9. Concentrações de fósforo de um Latossolo Amarelo distrófico em função de frações granulométricas da escória em diferentes tempos de incubação.

Ressalte-se que os valores de P do solo variaram de 5,50 mg dm⁻³ a 6,74 mg dm⁻³ em função dos tratamentos, sendo classificados como de nível baixo (Tomé Jr., 1997). Em pesquisa com arroz, Vidal & Prado (2011) também encontraram pequenos

acréscimos de P disponível no solo com o uso da escória, que variaram de $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$ para $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ no final do experimento. Esses autores justificaram tal resultado baseados na somatória de dois fatores: o poder corretivo alcalinizante dos silicatos constituintes da escória, e a competição entre Si x P pelos mesmos sítios de adsorção nos solos, interação, esta, que não ocorre quando se utiliza somente o calcário.

2.3.6 Concentração de potássio (K)

A concentração do K no solo sofreu efeito significativo da interação entre a diferença das médias obtidas nos tratamentos com a escória e as médias dos tratamentos adicionais (Tabela 3).

As diferenças verificadas entre os tratamentos do fatorial (doses e granulometria da escória) e os tratamentos adicionais, calcário e testemunha absoluta (Figura 10) mostram a superioridade da escória no aumento da concentração do K no solo. É possível que esse resultado tenha ocorrido devido à escória apresentar este nutriente em sua composição (Carvalho-Pupatto et al., 2004). Vale et al. (2010) reportam que o uso da escória de siderurgia proporcionou aumento significativo da concentração do K no solo.

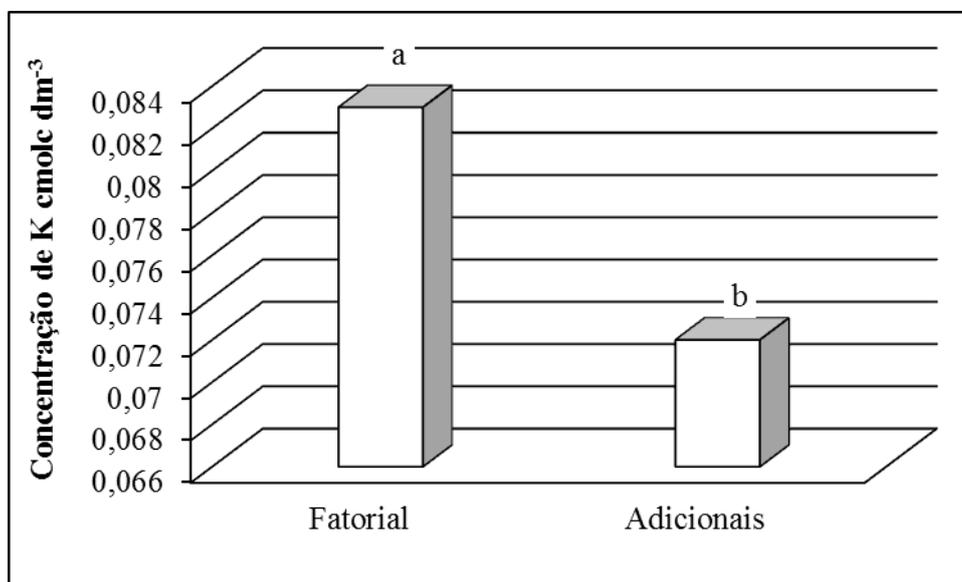


Figura 10. Concentrações de potássio de um Latossolo Amarelo distrófico em função da comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

2.4 CONCLUSÕES

As frações granulométricas mais finas (peneiras ABNT n^o 100 - 200 e <200) foram as que proporcionaram o maior efeito na redução da acidez do solo;

A dose de 5,98 t ha⁻¹, correspondente à porcentagem de bases estimada de 100%, foi considerada a mais eficiente na melhoria dos atributos químicos do solo.

Os tratamentos fatoriais (escória) foram melhores no controle da acidez do solo em comparação aos tratamentos com adicionais (calcário + testemunha).

REFERÊNCIAS

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

BASTOS, T.X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE (Belém, PA). **Zoneamento agrícola da Amazônia**. 1^a aproximação. Belém, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).

BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C.; SOUZA, E.C.A. **Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliada em laboratório**. Anais da ESALQ, Piracicaba, v.46, p.303-317, 1989.

BOHNEN, H. Acidez do solo: Origem e correção. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul, 2000. p.9-19. (Boletim Técnico, 4).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes**: métodos oficiais. Brasília: Lanarv, 1983. 104 p.

CAMPOS, A. X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura do milho em um solo do Cerrado de Brasília sob pastagem de Brachiaria decumbens**. 2004. 119 f.

Tese (doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARVALHO-PUPATTO J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1213-1218, dez. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, Produção de Informação, 2006. 306p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 275-280, 1998.

FERREIRA, D.F. Sisvar versão 4.2. DEX/UFLA, 2003.

FONSECA, I.M. et al. Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção de capim marandu. **Bragantia**, v.68, p.53-61, 2009.

FORTES, J. L. 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. 1993.

GAMA, J. R.F.N.; CARVALHO, E.J.M.; RODRIGUES, T.E.; VALENTE, M.A. **Solos do Estado do Pará, Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**, pag.19-29. EMBRAPA 2007.

GAMA, J.R.N.F.; RODRIGUES, T.E.; CARDOSO JÚNIOR, E.Q. **Levantamento dos solos e uso atual do Campo Experimental de Terra Alta, Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 30p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 45).

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; LOURENÇO, S. Nutrient use efficiency in Brazilian acid soils: Nutrient management and plant efficiency. In: MONIZ, A.C.; FURLANI,

A.M.C.; SCHAFFERT, R.E. et al. **Plant-soil interactions at low pH**: sustainable agriculture and forestry production. Campinas: Brazilian Soil Science Society, 1997. p. 97-104.

GOOGLE EARTH-MAPS <https://maps.google.com> consulta realizada em 15/12/2012.

HACLIN, J.L. et al. **Soil fertility and fertilizers**: an introduction to nutrient management. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

LANGE, A. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 460-467, 2006.

MAPA-SDA **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília:, 2007. 141 p.

MAPA-SDA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução normativa SDA nº 27**, 05 de junho de 2006. (Publicada no D.O.U do dia 09/06/2006, nº 110, seção 1, páginas 15 e 16).

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, UFLA, 2006.

NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA. 3. Uberlândia, 2004. Palestras. **Anais...** Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM.

PIAU, W. C. **Efeito de escória de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L)**. 1995. 124 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

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

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. 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 alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e na Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 74, n. 2, p. 235-242, 1999.

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

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 739-744, 2000.

PRADO, R.M; KORNDORFER, G.A. Effect of steel metallurgy basic slag on corn (*Zea mays*, L.) cultivated in yellow red dystrophic latosol, **Científica**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.9-17, 2003.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 140-144, 2004.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; CORRÊA, M.C.M.; SILVA, J.A.A. Liming and portharvest quality of carambola fruits. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.48, n.5, p.689-696, 2005.

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 de Ciência do Solo**, v.28, p.197-205, 2004.

PRIMAVESI, A. C. et al. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coast cross adubado com ureia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 3, p. 247-253, 2005.

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.

RAMOS, L.A.; NOIL, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em aolunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.849-857, 2006

ROCHA, L.C.M.; PRADO, R.M.; ALMEIDA T.B.F. Efeito residual da escória de siderurgia como fonte de silício para a cultura do sorgo. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.18, n.2, p. 101-115, 2001.

SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.44, p.500-505, 1980.

TESCARO, M. D. Eficiência do método da saturação por base para a correção da acidez de um solo Álico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., 1998 Caxambu. **Resumos...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1998. p.103.

TOMÉ Jr., J.B. **Manual para a interpretação de análise do solo**. Ed. Agropecuária, Guaíba, 1997, 247p.

VALE, W. do D.; Prado, R.M.; BASTO, J. C. H. A. da. G; CAZETTA, J. O. Nitrogênio e escória de siderurgia nos atributos químicos do solo e na nutrição da cana-de-açúcar. *Revista da FZVA. Uruguaiana*, v.17, n.2, p. 199-220. 2010.

VIDAL, A.A.; PRADO, R.M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e ureia em Latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p.264-272, 2011.

3 EFEITOS DA APLICAÇÃO DE ESCÓRIA DE SIDERURGIA EM DIFERENTES DOSES E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS NOS TEORES E ACÚMULOS DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE MILHO

RESUMO: As necessidades nutricionais do milho, assim como qualquer planta, são determinadas pelas quantidades totais de nutrientes absorvidos. O conhecimento dessas quantidades permite estimar as proporções que serão exportadas através da colheita dos grãos e as que poderão ser restituídas ao solo através de restos culturais. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da escória de siderurgia em diferentes doses e granulometrias nos teores e acúmulo dos nutrientes em plantas de milho. O trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, município de Terra Alta - PA, em um Latossolo Amarelo distrófico, textura média. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4x3+2, sendo quatro frações granulométricas da escória (material retido entre as peneiras ABNT 20 - 50, 50 - 100, 100 - 200 e < 200), três doses da escória (1,65; 3,81 e 5,98t ha⁻¹) necessárias para elevar a porcentagem inicial do solo para 40, 70 e 100%, e um tratamento adicional com calcário e outro sem calcário e escória (testemunha). Após 30 dias da aplicação dos tratamentos realizou-se a semeadura do híbrido de milho (BRS 1030) da Embrapa no espaçamento 0,8m x 0,2m, em parcelas com área de 28 m² (5,6m x 5m), com oito linhas de plantio com 25 plantas, totalizando 200 plantas por parcelas. Aos 120 dias da semeadura efetuou-se a colheita de oito plantas de milho por parcela, sendo duas plantas de cada uma das quatro linhas centrais das parcelas. As plantas foram coletadas de forma aleatória procurando-se amostras de plantas normais e representativas de cada parcela. Após a coleta, as plantas foram separadas em folha + colmo e espiga, que foi separada em (palha, grãos e sabugo). As amostras foram moídas e submetidas às análises químicas para determinação dos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn). Não houve efeito significativo das doses e das frações granulométricas e nem nos níveis de saturação por bases nos teores dos nutrientes. Observou-se efeito significativo apenas nas diferentes partes das plantas nos teores dos nutrientes. O requerimento nutricional da cultura obedeceu a seguinte ordem decrescente: N > K > Ca > P > Mg e Fe > Mn > Zn > Cu.

Palavras Chaves: Corretivo; Macronutrientes; Micronutrientes; Mobilidade; Extração.

ABSTRACT The nutritional needs of corn, like any plant, are determined by the total quantity of nutrients absorbed. The knowledge of these quantities allows us to estimate the proportions that are exported by the grain harvest and which could be returned to the soil through crop residues. The aim of this study was to evaluate the effect of the slag at different doses and grainy content and accumulation of nutrients in corn. The study was conducted at the Experimental Farm of Embrapa Amazônia Oriental, city of Terra Alta - PA, in a dystrophic Oxisol, medium texture. We used a randomized complete block design with three replications in a factorial 4x3 +2, four size fractions of the slag (material retained between sieves ABNT 20-50, 50-100, 100-200 and <200) slag three doses (1.65, 3.81 and 5.98 t ha⁻¹) required to raise the percentage of initial soil for 40, 70 and 100%, and an additional treatment with lime and limestone and slag other without (control .) After 30 days of treatment application was held sowing hybrid corn (BRS 1030) Embrapa spaced at 0.8 m x 0.2 m in plots with an area of 28 m² (5m x 5.6m) with eight lines planting with 25 plants, totaling 200 plants per plot. After 120 days from sowing to harvesting made eight corn plants per plot, two plants of each of

the four central rows of plots. The plants were collected randomly looking up samples of normal plants and representative of each plot. After collection, the plants were separated into leaf and stem + spike, which was separated into (straw, grain and cob). The samples were ground and subjected to chemical analysis to determine the levels of macronutrients (N, P, K, Ca and Mg) and micronutrients (Cu, Mn, Fe and Zn). There was no significant effect of dose and particle size fractions nor in the levels of base saturation in nutrient content. We observed a significant effect only in different parts of the plants in nutrient content. The nutritional requirement of the crop obeyed the following order: N > K > Ca > P > Mg and Fe > Mn > Zn > Cu.

Key Words: Corrective; Macronutrients, Micronutrients; Mobility; Extraction.

3.1 INTRODUÇÃO

Em solos ácidos, decorrentes do elevado processo de intemperismo e lixiviação de bases trocáveis, a toxidez por alumínio e/ou manganês e os baixos níveis de cálcio e magnésio, são fatores limitantes do crescimento e aprofundamento do sistema radicular, da disponibilidade de nutrientes e da atividade biológica, afetando o estabelecimento como o desenvolvimento das culturas (PAIVA et al., 1996; ERNANI et al., 2000).

A aplicação de corretivos em solos ácidos eleva o pH, aumenta as cargas negativas no complexo de troca e diminui a solubilidade do alumínio e do ferro, aumentando, por isso, a disponibilidade de fósforo na solução do solo e a retenção de cátions (ERNANI et al., 2000). Deste modo, a calagem é uma prática necessária na maior parte dos solos brasileiros, uma vez que a grande maioria deles se caracteriza como ácidos. No Brasil, as rochas carbonatadas moídas, genericamente denominados calcários, são os materiais predominantemente empregados na agricultura como corretivo da acidez do solo. Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, sendo o mais promissor as escórias de siderurgias (PRADO, 2000), que apesar de estarem disponíveis no mercado brasileiro, têm sido pouco comercializadas para uso na agricultura (QUAGGIO, 2000).

Tem-se desenvolvido estudos com intuito de se constatar os benefícios da aplicação da escória de siderurgia em algumas culturas, constituída basicamente por silicato de cálcio e magnésio, é considerada como material corretivo da acidez do solo sendo ainda fonte de nutrientes e de silício. Entretanto, alguns experimentos mostram que os efeitos deste resíduo, na reação do solo, são diferentes daqueles correspondentes

ao calcário, ou seja, apresentam reação mais lenta em doses equivalentes em carbonato de cálcio (FÁZIO & GUTIERREZ, 1989; FORTES, 1993).

Na agricultura o milho vem aumentando sua capacidade de utilização, uma vez que apresenta grande variedade de formas de aproveitamento, tanto na alimentação animal, como componente de rações, quanto na alimentação humana, principalmente por ser de baixo custo. A experiência tem mostrado que solos ácidos são limitantes à capacidade produtiva do milho. De modo geral, a correção da acidez através da utilização de corretivos, pode chegar a dobrar a produção de grãos.

Segundo BULL (1993), as necessidades nutricionais do milho, assim como qualquer planta, são determinadas pelas quantidades totais de nutrientes absorvidos. O conhecimento dessas quantidades permite estimar as proporções que serão exportadas através da colheita dos grãos e as que poderão ser restituídas ao solo através de restos culturais. As quantidades de nutrientes exportadas estão na dependência do fim a que se destina a cultura. No caso de se visar unicamente à produção de grãos, a exportação de nutrientes será menor do que quando a cultura se destina a silagem, em razão de que no primeiro caso há reposição parcial dos nutrientes extraídos através dos resíduos remanescentes da colheita.

As necessidades nutricionais de plantas de milho podem definir a quantidade total de nutrientes extraídas durante todo o ciclo da cultura, fornecidos pelo solo seja das concentrações encontradas naturalmente ou mesmo disponibilizadas através de fertilizantes (COELHO; FRANCA, 1995). Estes autores definiram, de um modo geral, a ordem de extração dos nutrientes pelas culturas: $N = K > Mg > Ca = P > S > Fe > Zn = Mn > B > Cu > Mo$ e, de exportação: $N > K > P > S = Mg > Ca > Zn > Fe > Mn > B > Cu > Mo$, além disso o incremento na produção pode influenciar no aumento da extração de alguns elementos, principalmente nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Pauletti (2004) determinou a média da extração e a exportação de macro e micronutrientes em planta de milho na fase de maturação, com os resultados encontrados por diversos autores, este estudo possibilita comparar dados futuros quanto à capacidade de exportação de nutrientes para os grãos, assim a capacidade de

exportação de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio está na média de 78%, 88% e 28% respectivamente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses e granulometrias de escória de siderurgia nos teores e acúmulos de nutrientes em plantas de milho.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, localizado no município de Terra Alta, distante cerca de 100 km de Belém, no km 33 da Rodovia Castanhal/Curuçá, que faz parte da Microrregião do Salgado nas seguintes coordenadas geográficas, latitude $-01^{\circ}01'7,72''$ Sul e a uma longitude $-47^{\circ}53'29,19''$ Oeste. Essa área está sob a influência climática do tipo Ami, da classificação de Köppen, caracterizado por apresentar um índice pluviométrico elevado, com total anual de 2.000mm aproximadamente e temperatura média de 26°C (BASTOS, 1972, citado por Gama et. al, (2000).

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura média (Embrapa, 2006), Antes da instalação do experimento foi coletada amostras na camada superficial (0-20 cm), para caracterização química e física do solo. As análises foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (1997), apresentando as seguintes características químicas e físicas: pH em água (1:2,5) = 4,9; Ca (cmolc dm^{-3}) = 0,6; Mg (cmolc dm^{-3}) = 0,3; K (cmolc dm^{-3}) = 0,06; H + Al (cmolc dm^{-3}) = 4,38; P (mg dm^{-3}) = 2,0; CTC a pH 7 = 5,34; V% = 17,09. Argila (g kg^{-1}) = 149; Areia (g kg^{-1}) = 736 e Silte (g kg^{-1}) = 115.

Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial $4 \times 3 + 2$, sendo quatro frações granulométricas da escória (material retido entre as peneiras ABNT n^o 20-50, 50 -100, 50 - 100 e <200), três diferentes doses da escória equivalentes a 1,65; 3,81 e 5,98 t h^{-1} , necessárias para elevar a saturação por bases para 40, 70 e 100% e um tratamento adicional com calcário e outro sem calcário e escória (testemunha), em três blocos, totalizando 42 parcelas com dimensões de 28 m^2 (5,6mm X 5,0 m).

Para definir as doses de escória e de calcário, com 74% e 96% de PRNT, respectivamente, foi adotado o método de saturação por bases (RAIJ et al., 2001) a partir dos dados de saturação por base inicial e capacidade catiônica do solo a pH 7,0. Os níveis de saturação por base foram definidos apenas para possibilitar níveis crescentes, sem a pretensão de atingir níveis de correção predeterminados.

Foi utilizada a granulometria ABNT < 50 para o calcário, pelo fato de ser essa fração utilizada para o calcário com RE = 100 %, conforme a legislação brasileira (Brasil, 1983). A quantidade de calcário aplicada foi correspondente ao V=70%, ou seja, 2,93 t ha⁻¹ (10,46 kg parcela⁻¹).

A escória utilizada foi coletada em vazamentos de um alto forno da Usina Siderúrgica do Pará (Usipar), localizada em Barcarena, Estado do Pará. O resíduo passou pelo processo de secagem e posterior moagem em um triturador. Depois de triturada a escória passou pelo processo de peneiramento utilizando as peneiras 0,850mm (ABNT N° 20), 0,300mm (ABNT N° 50), 0,150mm (ABNT N° 100) e 0,075mm (ABNT N° 200), obtendo-se as quatro granulometrias usadas no experimento.

Foi retirada uma amostra do resíduo e enviada para realização de análise no Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental (FULLIN), localizado em Linhares - ES e apresentou as seguintes características químicas: CaO (dag kg⁻¹) = 24,85; MgO (dag kg⁻¹) = 12,49; PN(%) = 75; PRNT(%) = 74; Si (mg kg⁻¹) = 6,34; Cd (mg kg⁻¹) 10,5; Cr (mg kg⁻¹) = 42,1; Ni (mg kg⁻¹) = 40,0 e Pb (mg kg⁻¹) = 24,1 . A metodologia empregada pela FULLIN na realização das análises de corretivo agrícola, na qual se inclui a escória, segue o protocolo do MAPA (2007). A escória apresentou resultados dentro dos limites máximos de contaminantes admitidos em corretivos de acidez (MAPA 2006).

Os corretivos foram aplicados manualmente a lança em cada parcela, colocando-se metade das quantidades estimadas, antes da aração e a outra metade, antes da gradagem. Todas as parcelas receberam o equivalente a 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples e 40 kg ha⁻¹ de FTE BR-12, aplicados a lança em área total juntamente com a aplicação dos tratamentos.

Após 30 dias da aplicação dos tratamentos realizou-se a semeadura do híbrido de milho (BRS 1030) da Embrapa, no espaçamento 0,8m x 0,2m, em parcelas com área de 28 m² (5,6m x 5m), com oito linhas de plantio com 25 plantas, totalizando 200 plantas por parcela. Efetuou-se, também, uma adubação de 120 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação foi parcelada em duas vezes, aos 15 e 45 dias após a emergência do milho. No primeiro parcelamento, aplicaram-se 50 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente, em sulcos na linha de plantio, enquanto no segundo foram aplicados 70 kg ha⁻¹ de N e 30 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente, em cobertura na linha de plantio.

Aos 120 dias da semeadura coletou-se duas plantas de milho de cada uma das quatro linhas centrais das parcelas (stand), totalizando oito plantas por parcela. As plantas foram coletadas de forma aleatória procurando-se amostras de plantas normais e representativas de cada parcela.

Após a coleta, as plantas foram separadas em: folha + colmo e espiga que foi separada em (palha, grãos e sabugo). Em seguida, as diferentes partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa, com circulação de ar forçado, mantendo-se a temperatura na faixa de 65°C–70°C. Após a secagem, as amostras foram moídas e submetidas às análises químicas no Laboratório de Análise de Solo e Plantas, da Embrapa Amazônia Oriental, para as determinações dos teores de macro e microminerais no tecido vegetal realizada conforme metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974).

Determinou-se os teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn). O N total foi determinado de acordo com o método de Kjeldhal. Os nutrientes P, K, Ca e Mg foram determinados após a digestão com solução nitro-perclórica 2:1. O P foi quantificado por colorimetria, o K por fotometria de chama e Ca, Mg e micronutrientes, por espectrofotometria de absorção atômica.

O valor do acúmulo de N, P, K, Ca e Mg, Zn Cu Fe e Mn nas partes da planta de milho foram obtidos multiplicando-se sua concentração no tecido pela produção de matéria seca das referentes partes.

Os dados foram analisados estatisticamente através da análise de variância, utilizando-se o teste de Skott-Knott, a 5% de significância utilizando-se o programa

Sisvar v.4.2 (FERREIRA, 2003). Foram feitas análises de contrastes das médias dos tratamentos fatoriais versus as médias dos adicionais, e depois, foram agrupadas em um único quadro de análise de variância.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

houve efeito significativo das diferentes partes da planta sobre as quantidades de nutrientes absorvidas. De modo geral, as diferentes frações e doses da escória não provocaram efeito significativo nos teores de macro e micronutrientes absorvidos pelas plantas de milho, exceção para magnésio e cobre que sofreram efeito significativo das diferentes partes da planta em interação com as doses da escória. Também, os teores de nitrogênio, magnésio e cobre foram influenciados significativamente pela interação entre partes da planta e a diferença entre as médias desse nutriente nos tratamentos com a escória e as médias obtidas nos tratamentos adicionais (Tabela 5).

Tabela 5: Resumo da análise de variância dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe e Mn em plantas de milho.

FV	GL	QM								
		N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn
Bloco	2	1,097	1,2013	4,0028	0,0285	0,0505	3,769	6,9523	8346,6692	0,0739
Granulometria (G)	3	0,3101	0,0500	0,4248	0,0157	0,0346	81,70	1,0090	1877,5606	0,1331
Doses (D)	2	1,0762	0,1527	0,2892	0,0019	0,3382	74,8813	3,9952	939,4452	0,1207
G * D	6	2,245	0,0988	0,7545	0,0047	0,0372	43,4352	1,0587	945,9575	0,0495
Ad1 vs Ad2 ⁽¹⁾	1	11,2066	0,0247	1,5251	0,0001	0,2926	141,6204	0,5704	10756,9004	0,0301
Escória (E) - Ad1Ad2 ⁽²⁾	1	2,8289	0,3122	0,165	0,0132	0,1656*	161,6001	0,1032	42073,4635	0,1044
Erro 1	26	1,2832	0,2027	1,0345	0,0098	0,0385	45,369	3,8518	3506,0302	0,0451
Parte da Planta (P)	3	727,922*	80,2648*	10,4722*	3,337*	4,2297*	2567,3767*	100,7972*	138846,3296*	5,7915*
Erro 2	6	5,9982	1,0406	1,5027	0,0067	0,0691	23,5176	14,4073	4373,6203	0,1216
P * G	9	2,5521	0,2371	0,3613	0,0073	0,0911	12,912	0,5397	2848,5415	0,0387
P * D	6	2,6715	0,0991	1,0016	0,0129	0,1613	66,2675	7,2743*	2741,7351	0,062
P * G * D	18	0,9936	0,321	0,5804	0,0046	0,0105	7,7309	1,5269	2954,6462	0,0541
P * Ad1 vs Ad2	3	2,7014	0,0337	0,7085	0,0017	0,1436	16,6459	0,53615	12141,3515	0,0065
P * E - Ad1Ad2	3	7,7,0677	0,1262	1,9936	0,0041	0,076	4,3266	8,3828*	14877,5239	0,0502
Erro 3	78	1,8006	0,202	1,0166	0,0071	0,0583	38,1031	2,5887	3289,6546	0,0453
CV 1 (%)		13,78	10,14	11,32	17,74	27,34	36,41	18,64	21,66	9,01
CV 2 (%)		29,79	28,28	25,7	21,25	36,62	26,22	24,07	27,7	14,78
CV 3 (%)		16,32	20,09	11,14	12,01	33,65	33,38	19,87	20,05	9,03
Média Geral		8,22	1,49	4,77	0,263	0,72	18,49	4,03	114,607	2,35

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott. ⁽¹⁾ média entre resultados de calcário e testemunha; ⁽²⁾ diferença entre a média dos resultados da escória (doses e granulometrias) e a média entre os tratamentos adicionais (calcário e testemunha).

3.3.1 Teor, acúmulo e extração de nitrogênio (N)

A Tabela 6 mostra que os maiores teores de N foram encontradas nos grãos (14,82 g kg⁻¹). No sabugo e na parte aérea os teores de N equivalentes a 6,37 e 6,53 g kg⁻¹, respectivamente, podem ser consideradas estatisticamente iguais, sendo inferiores às quantidades dos grãos e superiores aos teores da palha (4,93 g kg⁻¹). Os resultados para teores de N nos grãos estão dentro da faixa de teores máximos (15,0 g kg⁻¹) e mínimos (10,2 g kg⁻¹) definidos por Heckman et al. (2003) com grãos em fase de maturação em dez diferentes híbridos de milho durante 23anos. Esses resultados podem estar relacionados à alta mobilidade do nitrogênio dentro da planta (Marschner, 1995).

Tabela 6: Teores de macronutrientes e micronutrientes em diferentes partes da planta de milho.

Partes da Planta	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
g.kg ⁻¹mg.kg ⁻¹			
Palha	4,93 c	0,44 c	4,37 b	1,61 b	0,71 b	72,65 b	10,17 d	34,43 b	1,67 c
Sabugo	6,37 b	0,86 b	4,22 b	1,08 c	0,29 c	87,27 b	13,25 c	13,46 c	5,62 a
Grãos	14,82 a	3,69 a	5,3 a	0,99 d	0,77 b	71,95 b	29,3 a	16,06 c	4,27 b
Folha+colmo	6,53 b	0,9 b	5,12 a	4,17 a	1,13 a	201 a	19,64 b	63,18 a	4,51 b

Letras iguais podem ser consideradas estatisticamente iguais entre si, na comparação das médias pelo teste de Scott Knott (P<0,05).

Com relação à extração de N pelas plantas de milho observou-se a extração total de 372,79 kg ha⁻¹, sendo as maiores quantidades acumuladas na espiga, (grãos, sabugo e palha), com valores de 169,21, 72,73 e 56,29 kg ha⁻¹, respectivamente, enquanto na folha + colmo foi de 74,56 kg ha⁻¹ (Tabela 7). Como o milho foi colhido ao final de seu ciclo, 80% do N extraído foram redistribuídos para espiga (palha, sabugo e grãos) e 20% permaneceram na planta. O resultado do acúmulo total de N foi bem próximo ao obtido por Maggio (2006), de 395,47 kg ha⁻¹.

Tabela 7: Acúmulo de macronutrientes e micronutrientes em diferentes partes da planta de milho.

Partes da Planta	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
kg.ha ⁻¹g.ha ⁻¹			
Palha	56,29	5,02	49,90	18,38	8,11	829,50	8,22	393,12	19,07
Sabugo	72,73	9,82	48,18	12,33	3,31	996,43	15,71	153,68	64,17
Grãos	169,21	42,13	60,51	11,30	8,79	821,51	160,40	183,37	48,75
Folha+colmo	74,56	10,28	58,46	47,61	12,90	2294,98	77,56	721,38	51,49
Total	372,79	67,25	217,05	89,63	33,11	4942,43	261,89	1451,55	183,48

A ordem decrescente de acúmulo de N nas partes da planta foi: grãos > folha+colmo > sabugo > palha.

Observa-se na Figura 11, que em relação às diferentes partes da planta, somente nos grãos ocorreram diferença significativa entre os teores de N em função da diferença entre as médias do nutriente obtidas nos tratamentos com a escória e as médias ocorridas nos tratamentos adicionais, que são testemunha e calcário, com as menores quantidades de N sendo observada com a aplicação da escória isso pode ser atribuído ao efeito diluição provocado pelo menor e maior produção de grãos.

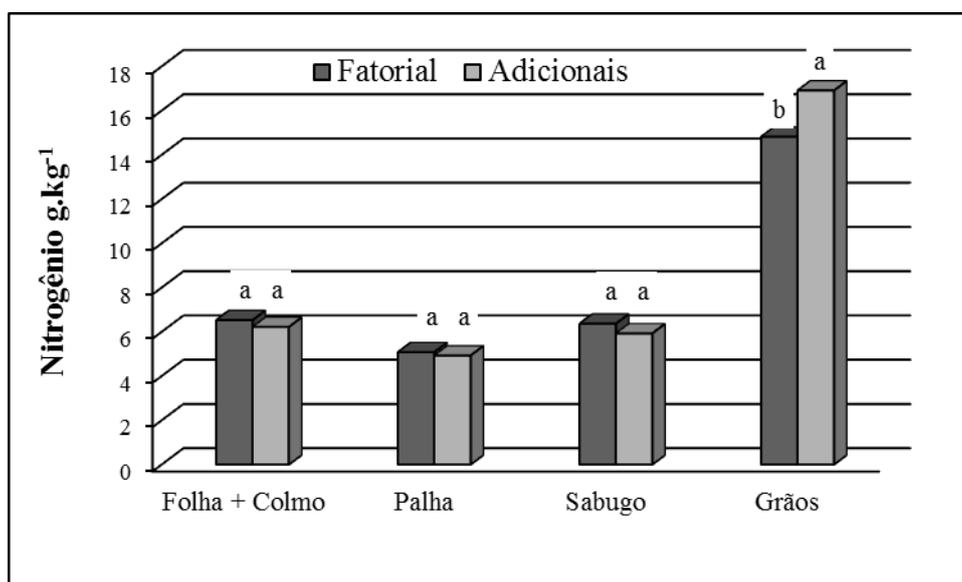


Figura 11. Teores de nitrogênio em diferentes partes da planta de milho, em função da comparação das médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

Na demonstração do acúmulo relativo de N nas partes da planta, os grãos, sabugo e palha, correspondentes à parte reprodutiva da planta, apresentaram as maiores quantidades acumuladas de N, 46%, 19% e 15%, respectivamente, em comparação à folha + colmo com 20% (Figura 12). Esses resultados corroboram com Coelho & Gonçalo (2004), que afirmam que cerca de 70% a 77% do N são redistribuídos para os grãos. E isso ocorre porque a formação dos grãos está diretamente relacionada com a translocação de açúcares e de N de órgãos vegetativos, sobretudo das folhas para os grãos (Borin, 2010).

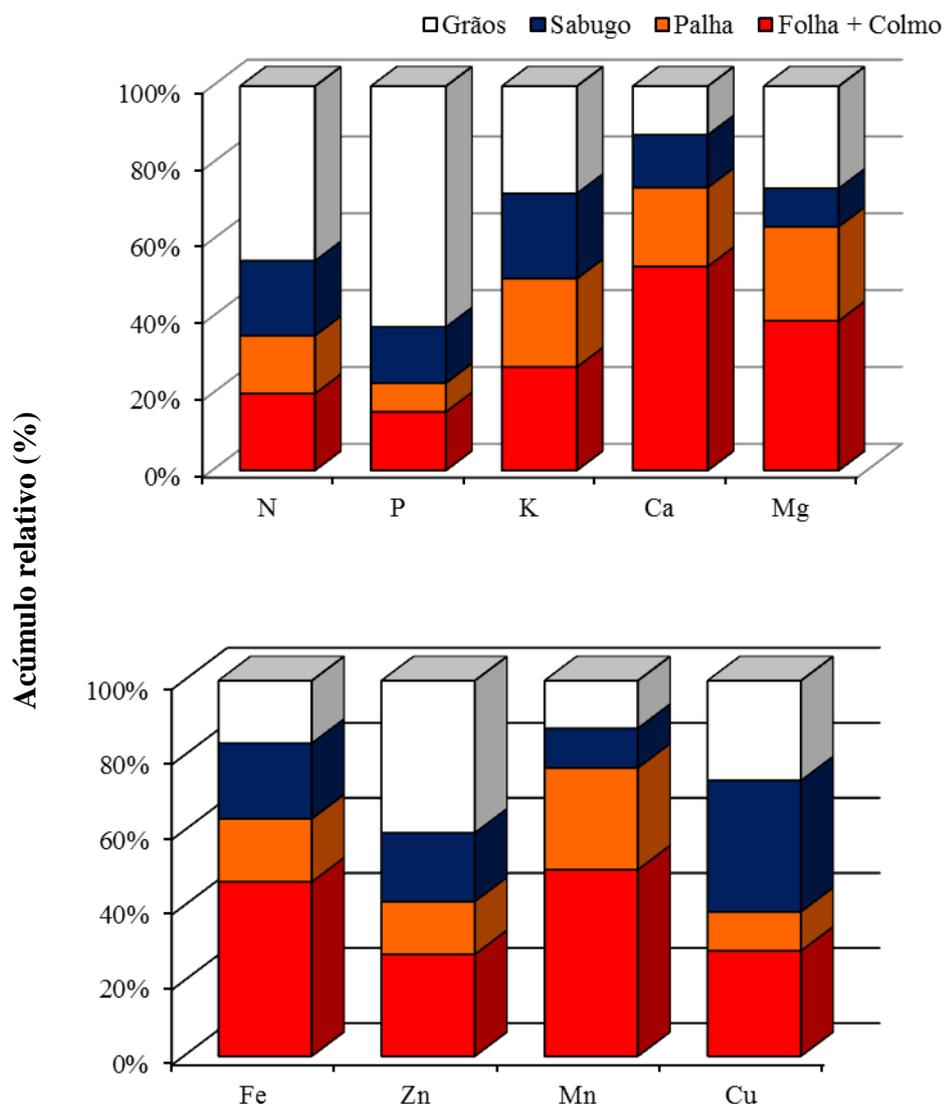


Figura 12: Acúmulo relativo de macronutrientes e micronutrientes nas partes das plantas de milho (folha + colmo, palha, sabugo e grãos).

3.3.2 Teores, acúmulos e extração de fósforo (P)

Os maiores teores de P foram encontrados nos grãos $3,69 \text{ g.kg}^{-1}$. No sabugo e na folha + colmo os teores de P foram de $0,86$ e $0,90 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, e não diferiram significativamente entre si, os teores da palha foram de $0,44 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 6). Os teores de P observados nos grãos estão entre os valores mínimo e máximo obtidos por Heckman et al. (2003), de $2,2$ e $5,4 \text{ g kg}^{-1}$. Esses resultados podem estar relacionado ao fato do P ser considerado um nutriente móvel na planta (Marschner, 1995). Além disso, deve-se ressaltar que o P participa de todos os processos metabólicos que

envolvam gasto de energia, desde a absorção de nutrientes até a formação dos diferentes órgãos (Cruz et al., 1996).

Os Grãos, sabugo e palha, apresentaram acúmulos relativos de P iguais a 62,64%, 14,60% e 7,48%, respectivamente, com valores superiores à quantidade acumulada na parte na folha + colmo, correspondente a 15,28% (Figura 12). Esses resultados corroboram com Coelho & Gonçalo (2004), que afirmam que cerca de 80% a 90% do P são redistribuídos para as espigas de milho.

A extração total de P pelas plantas de milho correspondeu a 67,25 kg ha⁻¹ sendo que as maiores quantidades acumuladas foram obtidas na espiga, (grãos, sabugo e palha), com valores de 42,13, 9,82 e 5,02 kg ha⁻¹, respectivamente, seguido da parte aérea com 10,28 kg ha⁻¹ (Tabela 7). O resultado do acúmulo total de P foi bem próximo aos obtidos por Maggio (2006), igual a 74,86 kg ha⁻¹.

A ordem decrescente de acúmulo de P nas partes da planta foi: grãos > folha+colmo > sabugo > palha.

3.3.3 Teores, acúmulos e extração de potássio (K)

Na Tabela 6 observou-se que os maiores teores de K foram encontradas nos grãos e na folha + colmo, 5,3 e 5,12 g kg⁻¹, respectivamente, não apresentando diferenças significativas entre eles, sendo superiores às quantidades obtidas na palha e no sabugo, que foram de 4,37 e 4,22 g kg⁻¹, respectivamente. Nota-se que entre os macronutrientes o K foi o que melhor se redistribuiu dentro da planta, apresentando pequena diferença dos teores nas diferentes partes da planta (parte aérea, palha, sabugo e grãos). Segundo Borin (2010) a redistribuição de K nas plantas é facilitada, porque mais de 80% dele está presente nos tecidos vegetais em forma solúvel. Os teores de K observados nos grãos ficaram acima do máximo obtido por Heckman et al. (2003), que e de 4,8 g kg⁻¹. Esses resultados podem também, estar relacionado ao fato do K ser considerado um nutriente móvel na planta (MARSCHNER, 1995).

Os grãos, sabugo e palha, apresentaram acúmulos relativos de K, com valores iguais a 28%, 22,1% e 22,9%, respectivamente, com valores superiores à quantidade acumulada na parte na folha + colmo, que foi de 27% (Figura 12). Esses resultados estão de acordo com dados de Coelho & Gonçalo (2004), em que aproximadamente 20% a 30% do K da planta são redistribuídos para os grãos.

A extração total de K pelas plantas de milho foi de 217,05 kg ha⁻¹, sendo que as maiores quantidades acumuladas foram encontradas na espiga (grãos, sabugo e palha), com valores de 60,51, 48,18 e 49,9 kg ha⁻¹, respectivamente, seguido da folha + colmo com 58,46 kg ha⁻¹ (Tabela 7). O resultado do acúmulo total de K foi bem inferior aos observados por Maggio (2006), de 403,42 kg ha⁻¹, mas esteve um pouco acima dos observados por Ferreira (2009), que avaliando o estado nutricional de dez cultivares de milho de cinco diferentes níveis tecnológicos, obteve valores que variaram de 141 a 213,3 kg ha⁻¹.

O acúmulo de K nas partes da planta seguiu a seguinte ordem decrescente: grãos > folha+colmo > palha > sabugo.

3.3.4 Teores, acúmulos e extração de cálcio (Ca)

Os maiores teores de Ca foram encontrados na folha + colmo (4,17 g kg⁻¹), sendo superiores às quantidades do nutriente encontradas na palha (1,61 g kg⁻¹), sabugo (1,08 g.kg⁻¹), e nos grãos, igual a 0,99 g kg⁻¹ (Tabela 6). Os teores de Ca observados na folha + grãos ficaram próximos aos valores médios de 4,58 g kg⁻¹ observados por Ferreira (2009), ao avaliar o estado nutricional de dez cultivares de milho de cinco diferentes níveis tecnológicos. Nota-se que entre os macronutrientes, o Ca foi o que apresentou diferença significativa entre as diferentes partes da planta (folha + colmo, palha, sabugo e grãos).

Devido à baixa mobilidade do Ca no floema (Marschner, 1995), o milho exportou para os grãos apenas 12,6% do total absorvido, sendo o restante (87,4%) contido nos restos de cultura folhas + colmo, palha e sabugo podendo ser reincorporado ao sistema (Figura 12). Esses resultados corroboram com dados de Coelho & Gonçalves (2004), em que aproximadamente 10% a 50% do Ca da planta são exportados para os grãos.

Observou-se que a extração total de Ca pelas plantas de milho foi de 89,63 kg ha⁻¹, sendo que as maiores quantidades acumuladas foram na folha + colmo, igual a 47,61 kg ha⁻¹, superiores aos obtidos na espiga (palha, sabugo e grãos) com valores de 18,38, 12,33 e 11,30 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 7). A extração total de Ca foi bem superior aos encontrados por Maggio (2006), Ferreira (2009), e Duarte et al., (2003), que foram de 43,75, 13,7 e 19,1 kg ha⁻¹, respectivamente.

A ordem decrescente de acúmulo de Ca nas partes da planta foi a seguinte: folha+colmo > palha > sabugo > grãos.

3.3.5 Teores, acúmulos e extração de magnésio (Mg)

Os maiores teores de Mg foram encontrados na folha + colmo ($1,13 \text{ g kg}^{-1}$), sendo superiores aos obtidos na espiga (grãos, palha e sabugo), $0,77$, $0,71 \text{ g kg}^{-1}$ e $0,29 \text{ g kg}^{-1}$ respectivamente, (Tabela 6). Entre os macronutrientes, o Mg foi o que apresentou menores teores dentro da planta, com valor total de $2,9 \text{ g kg}^{-1}$, muito inferior aos teores de Ca que foi de $7,85 \text{ g kg}^{-1}$, e isso pode ter ocorrido porque trata-se de elementos antagônicos quanto a translocação nos tecidos e competem pelo mesmo sítio de absorção (FERREIRA 2009). Ambos os nutrientes devem estar em equilíbrio nas suas relações, tanto nos tecidos vegetais quanto no solo, para não ocorrer o desbalanço nutricional nas plantas (ROSOLEM et al., 1984). Os teores de Mg observados nos grãos ficaram abaixo do mínimo obtido por Heckman et al. (2003), que é de $0,88 \text{ g kg}^{-1}$.

As maiores quantidades exportadas de Mg, foram encontradas na espiga (grãos, palha e sabugo) com valores de 26,5%, 24,5% e 10%, respectivamente, foram superiores aos obtidos na folha + colmo que foi de 39% (Figura 12). Esses resultados estão acima dos conseguidos por Coelho & Gonçalo (2004), em que aproximadamente 50% do Mg da planta foram redistribuídos para as espigas.

A extração total de Mg pelas plantas de milho foi de $33,11 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo que as maiores quantidades acumuladas foram obtidas na espiga, correspondente aos grãos, sabugo e palha, com valores de $8,79$; $3,31$ e $8,11 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, que foram superiores aos da folha + colmo que foi de $12,9 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 7). O resultado do acúmulo total de Mg foi um pouco acima do apresentado por Maggio (2006), correspondente a $32,17 \text{ kg ha}^{-1}$ e bem superior aos encontrados por Ferreira (2009), que avaliando o estado nutricional de dez cultivares de milho de cinco diferentes níveis tecnológicos obteve valores que variaram de $3,9$ a $10,1 \text{ kg ha}^{-1}$.

A ordem decrescente de acúmulo de Mg nas partes da planta foi a seguinte: folha+colmo > grãos > palha > sabugo.

As maiores doses da escória ($3,81$ e $5,98 \text{ t ha}^{-1}$) proporcionaram, respectivamente, os maiores teores de magnésio na folha + colmo ($1,28$ e $1,23 \text{ g kg}^{-1}$), na palha ($0,83$ e $0,74 \text{ g kg}^{-1}$). No sabugo ($0,31$ e $0,30 \text{ g kg}^{-1}$) e nos grãos ($0,82$, $0,75 \text{ g kg}^{-1}$)

kg⁻¹), não apresentaram diferenças significativas nas doses com 1,65 (V= 40%); 3,81 (V= 70%) e 5,98 (V= 100%) t ha⁻¹. Independente das doses de escória os maiores teores foram observados na folha + colmos (Tabela 8).

Tabela 8: Teores de Mg (g kg⁻¹) em diferentes partes de plantas de milho em função de doses de escória de siderurgia.

Doses de escória t/ha	Partes da planta			
	Palha	Sabugo	Folha + colmo	Grãos
1,65	0,55 bB	0,27 bA	0,89 aB	0,82 aA
3,81	0,83 bA	0,31 cA	1,28 aA	0,75 bA
5,98	0,74 bA	0,30 cA	1,23 aA	0,76 bA

Médias seguidas por letras minúsculas na mesma linha e maiúscula na coluna diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott (P<0,05).

A superioridade da escória no aumento do teor de magnésio nas plantas de milho é comprovada por meio dos resultados apresentados na Figura 13, que mostra que os maiores teores foram verificados nos tratamentos do fatorial em comparação aos adicionais. É possível que esse resultado tenha ocorrido devido à escória apresentar este nutriente em maior quantidade em sua composição (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004).

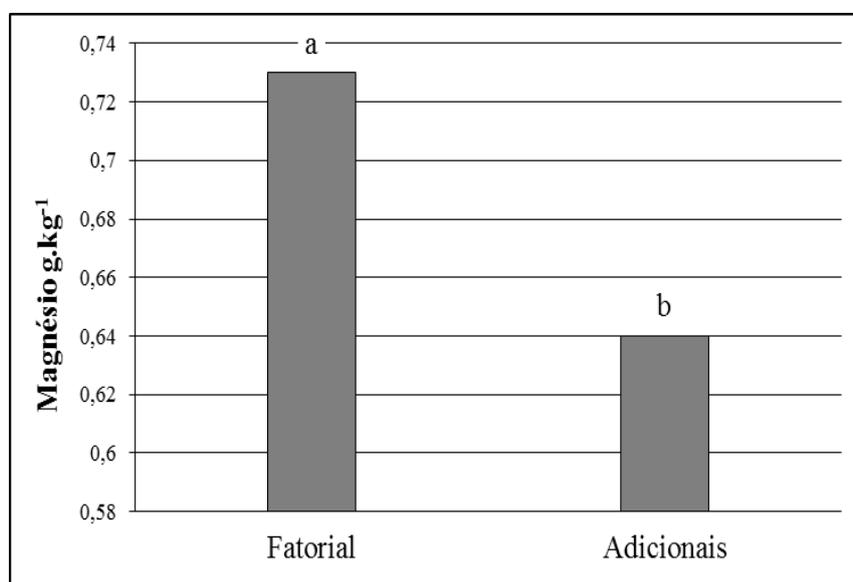


Figura 13: Teores de magnésio em plantas de milho, em função da comparação entre médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

3.3.6 Teores, acúmulos e extração de zinco (Zn)

Observou-se na Tabela 6 que os maiores teores de Zn foram encontrados nos grãos ($29,3 \text{ mg kg}^{-1}$), superiores aos obtidos na folha + colmo ($19,64 \text{ mg kg}^{-1}$), do sabugo ($13,25 \text{ mg kg}^{-1}$) e da palha ($10,17 \text{ mg kg}^{-1}$). Nota-se que entre os micronutrientes o Zn foi o que melhor se redistribuiu dentro da planta, evidenciando diferença significativa entre os teores nas diferentes partes da planta. Apesar da mobilidade do Zn na planta ser considerada intermediária na planta, em relação aos elementos altamente móveis, como nitrogênio, fósforo e potássio (MARSCHNER, 1995), neste experimento o nutriente mostrou uma boa mobilidade proporcionando nos grãos, o maior acúmulo.

Os teores de zinco observados nos grãos corroboram entre os valores mínimo e máximo obtido por Heckman et al. (2003), de 15 e $34,5 \text{ mg kg}^{-1}$, por Ferreira (2009) de 22,14 a $30,68 \text{ mg kg}^{-1}$, e superiores aos de Ferreira et al. (2003), que variaram de 21 a 25 mg kg^{-1} .

Observou-se que as maiores quantidades exportadas de Zn foram encontradas na espiga (grãos, sabugo e palha) com 40,5%, 18,3% e 14,0%, respectivamente, em comparação à folha + colmo que foi de 27,2% (Figura 12).

A extração total de Zn pelas plantas de milho foi de $261,89 \text{ g ha}^{-1}$, sendo que as maiores quantidades acumuladas do nutriente ocorreram na espiga (grãos, sabugo e palha), com valores de 160,4; 15,71 e $8,22 \text{ g ha}^{-1}$, respectivamente, sendo superiores aos da folha + colmo com $77,56 \text{ g ha}^{-1}$ (Tabela 7). O acúmulo total de Zn foi inferior ao alcançado por Maggio (2006), de $347,15 \text{ g ha}^{-1}$ e compatível com aqueles obtidos por Ferreira (2009), que variaram de 195,1 a $349,3 \text{ g ha}^{-1}$.

A ordem decrescente de acúmulo de Zn nas partes da planta foi: grãos > folha+colmo > sabugo > palha.

3.3.7 Teores, acúmulos e extração de cobre (Cu)

Os maiores teores de Cu foram encontradas no sabugo ($5,62 \text{ mg kg}^{-1}$), superiores aos da folha + colmo e dos grãos, com 4,51 e $4,27 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente, sem diferença significativa entre eles, e o menor teor foi encontrado na palha, igual a $1,67 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabela 6). Esses resultados demonstram uma boa redistribuição do Cu da

parte aérea para os grãos, apesar de a mobilidade deste nutriente dentro da planta ser considerada parcialmente móvel (MALAVOLTA 1980).

Observou-se que as maiores quantidades exportadas de Cu foram encontradas na espiga (grãos, sabugo e palha) com 26,97%, 34,97% e 10,39% respectivamente, em comparação à folha + colmo, com 28,07% (Figura 12).

A extração total de Cu pelas plantas de milho correspondeu a 183,48 g ha⁻¹, sendo que as maiores quantidades foram acumuladas na espiga (grãos, sabugo e palha) com valores iguais a 48,75; 64,17 e 19,07 g ha⁻¹, respectivamente, seguido da folha + colmo com 51,49 g ha⁻¹ (Tabela 7). O acúmulo total de Cu foi acima do alcançado por Maggio (2006), de 81,24 g ha⁻¹ e, também, daqueles alcançados por Ferreira (2009) ao avaliar o estado nutricional de dez cultivares de milho de cinco diferentes níveis tecnológicos, que variaram de 36,9 a 98,8 g ha⁻¹.

As ordens decrescentes de acúmulo de Cu nas partes da planta foram: sabugo > folha+colmo > grãos > palha.

De modo geral, as doses da escória não influenciaram significativamente os teores de Cu nas diferentes partes da planta. Entretanto, na maior dose (5,98 t ha⁻¹) ocorreu o menor teor do nutriente nos grãos (2,95 mg kg⁻¹), em relação às doses menores, 1,65 e 3,81 t ha⁻¹, que atingiram 4,55 e 5,32 mg kg⁻¹, sem diferenças significativas entre si (Tabela 9). Isso ocorreu porque com essa dosagem possivelmente houve uma diminuição da disponibilidade deste nutriente no solo e combinada com a mobilidade deste nutriente dentro da planta ser considerada parcialmente móvel (MALAVOLTA 1980). Com a dose da escória igual a 3,81 t ha⁻¹ ocorreu a melhor redistribuição do cobre da parte aérea para os grãos.

Tabela 9: Teores de Cu (g kg⁻¹) em diferentes partes de planta de milho em função de doses de escória de siderurgia.

Doses de escória t/há	Partes da planta			
	Palha	Sabugo	Folha + colmo	Grãos
1,65	1,58 bA	5,33 aA	4,35 aA	4,55 aA
3,81	1,55 cA	6,36 aA	4,12 bA	5,32 aA
5,98	1,89 bA	5,18 aA	5,07 aA	2,95 bB

Médias seguidas por letras minúsculas na mesma linha e maiúscula na coluna diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott (P<0,05).

Observa-se na Figura 14, que na parte aérea e nos grãos as médias dos teores de cobre verificadas nos tratamentos fatorial foram significativamente menores que aquelas médias obtidas nos tratamentos adicionais. Os teores de cobre nos tratamentos fatorial e nos tratamentos adicionais não apresentaram diferenças significativas entre si na palha e no sabugo do milho.

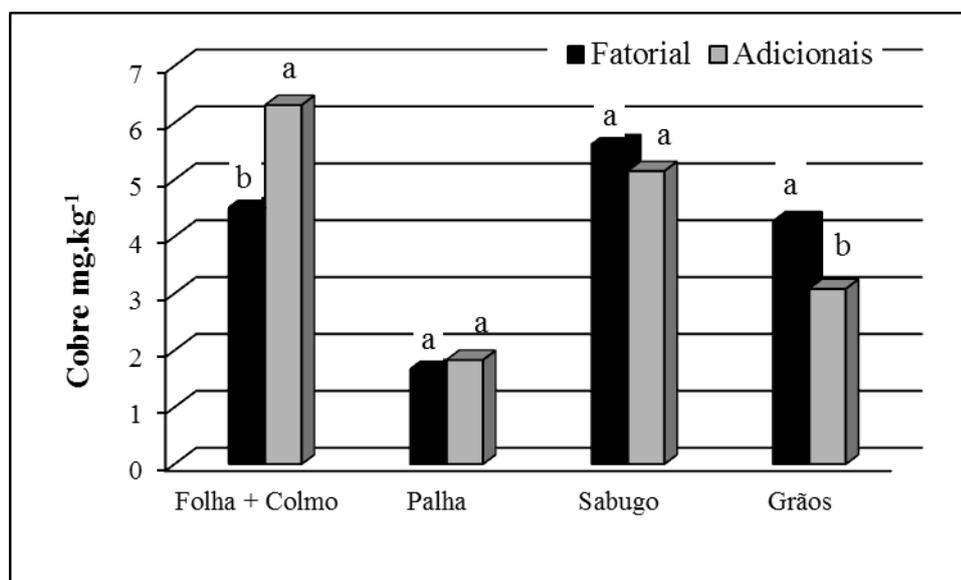


Figura 14. Teores de cobre em diferentes partes da planta de milho, em função da comparação entre médias dos tratamentos Fatorial (escória) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

3.3.8 Teores, acúmulos e extração de ferro (Fe)

O maior teor de Fe foi encontrado na folha + colmo (201 mg kg^{-1}), sendo superior às quantidades encontradas na espiga (sabugo, palha e grãos), $87,27$; $72,65$ e $71,95 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente (Tabela 6). As maiores quantidades de Fe ocorreram na folha + colmo devido à baixa mobilidade do Fe na planta (Malavolta 1980). Os teores de Fe observados na folha + colmo foram menores que os alcançados por Ferreira (2009), ao avaliar o estado nutricional de dez cultivares de milho de cinco diferentes níveis tecnológicos, correspondentes a valores médios de 219 a 438 mg kg^{-1} . Os teores de Fe observados nos grãos encontram-se na faixa de 9 a 89 mg kg^{-1} observado por Heckman et al. (2003). O milho exportou para os grãos apenas $16,62\%$ do total absorvido, sendo o restante ($83,38\%$) contido nos restos de cultura da parte aérea (folhas, colmo), palha e sabugo, que podem ser reincorporados ao sistema (Figura 12).

Com relação à extração de Fe pelas plantas de milho, observou-se que a extração total foi de 4.942,43 g ha⁻¹, sendo que as maiores quantidades acumuladas foram obtidas na folha + colmo, com 2.294,98 g ha⁻¹, sendo superiores aos da espiga (sabugo, palha e grãos), com valores de 996,43; 829,50 e 821,51 g ha⁻¹, respectivamente (Tabela 7). O resultado da extração total de Fe foram inferiores aos alcançados por Maggio (2006), que foi de 5.458,98 g ha⁻¹.

A ordem decrescente de acúmulo de Fe nas partes da planta foi: folha+colmo > sabugo > palha > grãos.

3.3.9 Teores, acúmulos e extração de manganês (Mn)

Os maiores teores de Mn foram encontrados na folha + colmo (63,18 mg kg⁻¹), seguido da palha com valores de 34,43 mg kg⁻¹. Nos grãos e no sabugo foram apresentados os menores teores que foram de 16,06 e 13,46 mg kg⁻¹, respectivamente, podendo ser considerados estatisticamente iguais (Tabela 6). Os maiores teores encontrados na folha + colmo, significou uma baixa redistribuição do nutriente para a espiga, isso pode ser devido a pouca mobilidade deste nutriente dentro da planta (MARSCHNER, 1995). Os teores de Mn observados nos grãos estão um pouco acima dos valores mínimo e máximo alcançados por Heckman et al. (2003), que é de 1,0 a 9,8 mg kg⁻¹.

O milho exportou para os grãos apenas 12,63% do total absorvido, sendo o restante (87,37%) contido nos restos de cultura da parte aérea (folhas, colmo), palha e sabugo, que pode ser reincorporado ao sistema (Figura 12).

A extração total de Fe pelas plantas de milho correspondeu a 1.451,55 g ha⁻¹, com as maiores quantidades acumuladas na folha + colmo (721,38 g ha⁻¹), seguido da palha, grãos e sabugo, com valores de 393,12; 183,37 e 153,68 g ha⁻¹ respectivamente (Tabela 7). O total extraído de Fe foi um pouco acima dos alcançados por Maggio (2006), igual a 1.332,02 g ha⁻¹.

A ordem decrescente de acúmulo de Mn nas partes da planta foi: folha+colmo > palha > grãos > sabugo.

A quantidade de nutrientes extraída pela cultura, quanto aos macronutrientes e micronutrientes, foram em ordem decrescente: N > K > Ca > P > Mg e Fe > Mn > Zn > Cu. Estes resultados para macronutrientes foram diferentes daqueles obtidos por Borin et al. (2010), trabalhando com absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho

doce, que seguiram a seguinte ordem: $K > N > Mg > P > Ca$. Quanto aos micronutrientes, os resultados corroboram aqueles obtidos por Maggio (2006), que obteve a mesma sequência da atual pesquisa: $Fe > Mn > Zn > Cu$.

3.4 CONCLUSÕES

Não houve efeito significativo das doses e frações granulométricas nos teores dos nutrientes. Observou-se efeito significativo apenas nas diferentes partes das plantas nos teores dos nutrientes.

As ordens decrescentes de acúmulo de macronutrientes nas partes das plantas foram: nitrogênio e fósforo: grãos > folha+colmo > sabugo > palha; potássio: grãos > folha+colmo > palha > sabugo; cálcio: folha+colmo > palha > sabugo > grãos; magnésio: folha+colmo > grãos > palha > sabugo.

Por sua vez, o acúmulo de micronutriente seguiu a seguinte ordem decrescente: zinco: grãos > folha+colmo > sabugo > palha; cobre: sabugo > folha+colmo > grãos > palha; ferro: folha+colmo > sabugo > palha > grãos; manganês: folha+colmo > palha > grãos > sabugo.

A quantidade de nutrientes extraída pela cultura, quanto aos macronutrientes e micronutrientes, foram em ordem decrescente: $N > K > Ca > P > Mg$ e $Fe > Mn > Zn > Cu$.

Os tratamentos com a escória apresentaram melhores resultados, em comparação aos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), nos teores do Mg e do Cu nos grãos e sabugo do milho, e foram inferiores nos teores de N acumulados nos grãos e nos teores de Cu na parte aérea das plantas.

REFERÊNCIAS

BASTOS, T.X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE (Belém, PA). **Zoneamento agrícola da Amazônia**. 1ª aproximação. Belém, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).

BULL, L. T. Nutrição mineral do milho In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, p. 63-145, 1993.

BORIN, A. L. D. C.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA, H. S. Absorção, acúmulo e exportação de macronutrientes no milho doce cultivado em condições de campo. **Ciênc. agrotec.** 2010, vol.34, n.spe, pp. 1591-1597.

CARVALHO-PUPATTO J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1213-1218, dez. 2004.

COELHO, A. M.; FRANCA, G.E. **Seja doutor do seu milho: nutrição e adubação**. Arquivo do agrônomo, Piracicaba, nº 2, 1995.

COELHO, A.M.; GONÇALO, E.F. de. Nutrição e adubação do milho. In: _____. **Cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. Disponível em:<<http://www.cnpms.embrapa.br/milho.html>>. Acesso em: 18 de dez. 2012.

CRUZ, J.C.; MONTEIRO, J.A.; SANTANA, D.P.; GARCIA, J.C.; BAHIA, F.G.F.T.C.; SANS, L.M.A.; PEREIRA FILHO, I.A. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. 2.ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 204p.

DUARTE, A.P.; KIEHL, J.C.; CAMARGO, M.A.F.; RECO, P.C. Acúmulo de matéria seca e nutriente em cultivares de milho originário de clima tropical e introduzido de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.2, n.3, p.1-19, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, Produção de Informação, 2006. 306p.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. Influencia da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p.537-544, 2000.

FÁZIO, P.I.; GUTIERREZ, A.S.D. **Uso de corretivos de acidez do solo comercializados no Estado do Espírito Santo**. Vitória: EMCAPA, 1989. 27p. (Boletim Técnico, 12).

FORTES, J.L.O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 66p. Dissertação de Mestrado.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A. alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduo de curtume e carbonífero. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.755-763, 2003.

FERREIRA, C. F. **Diagnose nutricional de cultivares de milho (*Zea mays* L.) de diferentes níveis tecnológicos**. Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009. 114 f.

FERREIRA, D.F. SisVar - programa estatístico. Versão 4.2 (Build 39). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999-2003.

GAMA, J.R.N.F.; RODRIGUES, T.E.; CARDOSO JÚNIOR, E.Q. **Levantamento dos solos e uso atual do Campo Experimental de Terra Alta, Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 30p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 45).

HECKMAN, J.R.; SIMS, J. T.; BEEGLE, D. B.; COALE, F. J.; HERBERT, S. J.; BRUULSEMA, T. W. e BAMKA, W. J. Nutrient removal by corn grain harvest. *Agronomy Journal*, vol. 95, p. 587-591, 2003.

MAGGIO, M. A. Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido “tropical”. CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL, INSTITUTO AGRONÔMICO. — Campinas, 2006. 41 f.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 1980. 215p.

MAPA-SDA. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília:, 2007. 141 p.

MAPA-SDA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa SDA nº 27, 05 DE JUNHO DE 2006. (Publicada no D.O.U do dia 09/06/2006, nº 110, seção 1, páginas 15 e 16).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

PAIVA, P.J.; VALE, F.R.; FURTINI NETO, A.E.; FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do Estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.1, p.71-75, 1996.

PRADO, R. M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo da acidez do solo**. 2000. 97f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

PRADO, R. M. et al. **Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alfaca**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

QUAGGIO, J. A. **A acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. 2ed. Castro: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica e Agropecuária, 2004. 86p.

RAIJ, B.Van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.12, p.1443-1448, dez. 1984.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, 1974. 56p.

EFEITO DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA EM DIFERENTES DOSES E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS NA PRODUTIVIDADE E ACÚMULO DE MATÉRIA SECA EM PLANTAS DE MILHO NO NORDESTE PARAENSE

RESUMO: A baixa produtividade do milho no Estado do Pará pode estar relacionada ao baixo nível tecnológico empregado na produção, tais como uso de sementes não melhoradas, baixo uso de defensivos agrícolas e principalmente o uso de uma adubação inadequada. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da ação da escória de siderurgia em diferentes doses e granulometrias na produção e no acúmulo de massa seca de plantas de milho. O trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, Terra Alta - PA, em solo classificado como Latossolo Amarelo, distrófico, textura média. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, em esquema fatorial 4x3+2, sendo quatro frações granulométricas da escória (material retido entre as peneiras ABNT Nº 20 - 50, 50 - 100, 100 - 200 e < 200), três doses da escória equivalentes a 1,65; 3,81 e 5,98 t ha⁻¹, necessárias para elevar a saturação por bases inicial do solo para 40, 70 e 100%, respectivamente, e um tratamento adicional com calcário e outro sem calcário e escória (testemunha). Após 30 dias da aplicação dos tratamentos realizou-se a semeadura do híbrido de milho (BRS 1030) da Embrapa no espaçamento 0,8m x 0,2m, em parcelas com área de 28 m² (5,6m x 5m), totalizando oito linhas de plantio com 25 plantas por parcelas. Aos 120 dias da semeadura efetuou-se a coleta de duas plantas de cada uma das quatro linhas centrais das parcelas, totalizando oito plantas por parcela. Após a coleta, as plantas foram medidas com auxílio de fita métrica para obtenção da altura de planta e colocadas em estufa até atingirem peso constante, quando foram pesadas para obtenção do peso de matéria seca da parte aérea. Para determinação do peso de espiga e da produção de grãos, palha e sabugo, foram colhidas manualmente todas as espigas contidas nas quatro linhas centrais de cada parcela do experimento. A aplicação da escória de siderurgia nas granulometrias mais finas 100 - 200 e <200 proporcionaram um bom crescimento e uma boa produção de grãos das plantas de milho. O tratamento fatorial (escória) foi mais efetivo que os adicionais (calcário + testemunha) no crescimento e produção de plantas de milho, sendo 9,56% na produção de massa seca e 26,31% na produção de grãos.

Palavras-chaves: Corretivo; Silicato; *Zea mays*; Matéria seca; Produtividade.

ABSTRACT: The low corn productivity in the State of Pará may be related to the low level of technology used in production, such as use of unimproved seeds, low use of pesticides and especially the use of an inadequate fertilization. The aim of this study was to evaluate the effect of the action of the slag at different doses and particle sizes in the production and dry matter accumulation of corn plants. The study was conducted at the Experimental Farm of Embrapa Amazônia Oriental, Terra Alta - PA, in soil classified as Oxisoil dystrophic medium texture. We used a randomized complete block design with three replications in a factorial 4x3 +2, four size fractions of the slag (material retained between sieves ABNT No. 20-50, 50-100, 100-200 and <200) three doses of the slag equivalent to 1.65, 3.81 and 5.98 t ha⁻¹ needed to raise the initial base saturation of the soil for 40, 70 and 100%, respectively, and an additional treatment with lime and another without lime and slag (control). After 30 days of treatment application

was held sowing hybrid corn (BRS 1030) Embrapa spaced at 0.8 m x 0.2 m in plots with an area of 28 m² (5m x 5.6m), totaling eight lines planting with 25 plants per plot. At 120 days after sowing performed the collection of two plants each of the four central lines of the parcels, totaling eight plants per plot. After collection, the plants were measured with the aid of tape to obtain the plant height and placed in the greenhouse until they reached constant weight, when they were weighed to obtain the dry weight of shoots. For determining ear weight and grain yield and cob were collected manually every spikes contained in the four central rows of each plot of the experiment. The application of basic slag in finer grain sizes 100-200 and <200 provided good growth and good grain yield of corn plants. The treatment factor (slag) was more effective than additional (limestone + control) on growth and yield of corn plants, being 9.56% in dry matter production and 26.31% in grain production.

Keywords: Corrective; silicate; *Zea mays*; Dry matter; Productivity.

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) e considerada uma das principais espécies de cereais utilizadas no mundo. Anualmente são cultivados cerca de 140 milhões de hectares, os quais contribuem para a produção de, aproximadamente, 668 milhões de toneladas de grãos (AGRIANUAL, 2006). Ao milho deve-se o aumento da produção de animais que dele se alimentam, como aves e suínos, sendo cerca de 70% de sua produção mundial destinada a esse fim (EMBRAPA, 2006). É fonte principalmente de carboidratos e lipídeos, sendo considerado um alimento energético, muito consumido na zona rural do Brasil, sendo também utilizado em uma ampla variedade de pratos (NAVES et. al., 2004). O milho assume importância ainda maior na contextualização da agricultura familiar, sendo um dos pilares do cultivo de subsistência e da alimentação das famílias, fortalecendo a economia solidária.

A área cultivada com milho no estado do Pará não pode ser considerada expressiva, se forem levadas em conta as condições de solo, topografia e clima para desenvolvimento da cultura. No estado do Pará a área cultivada com milho em 2011, foi de 210.634 ha e uma produção da ordem de 541.128 t e um rendimento médio de 2.570 kg ha⁻¹, números esses considerados baixo se comparados à média brasileira que foi de 4.210 kg ha⁻¹ e as médias obtidas pelas principais regiões produtoras no país sul, sudeste e centro-oeste que foram de 5.405 kg ha⁻¹, 4.995 kg ha⁻¹ e 4.485 kg ha⁻¹ respectivamente (IBGE 2011).

A baixa produtividade do milho no estado do Pará pode estar relacionada ao baixo nível tecnológico empregado na produção, tais como uso de sementes de espécies não melhoradas, baixo uso de defensivos agrícolas e principalmente o uso de uma adubação inadequada e a cultura ser implantada em sua grande maioria em Latossolos caracterizados pela elevada acidez e baixa saturação por bases (VELOSO et al., 2001).

No Brasil, as rochas carbonatadas moídas, genericamente denominadas calcárias, são os materiais predominantemente empregados na agricultura como corretivo da acidez do solo. Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, sendo o mais promissor as escórias de siderurgias (PRADO, 2000), que apesar de estarem disponíveis no mercado brasileiro, têm sido pouco comercializadas para uso na agricultura (QUAGGIO, 2000). Segundo Korndörfer et al. (2004), a aplicação de escórias silicatadas de cálcio e magnésio (CaSiO_3 e MgSiO_3) promove benefícios ao solo. Esses silicatos estão associados ao aumento na disponibilidade de Si, elevação do pH e aumento do Ca e Mg trocável do solo, indiretamente propiciando incremento na disponibilidade de fósforo e podendo, ainda, atuar na redução da toxicidade de Fe, Mn e Al para as plantas (Prado et al. 2002).

A maioria das pesquisas desenvolvidas no Brasil com escória avaliou, predominantemente, seu efeito corretivo e como fonte de alguns nutrientes presentes na sua composição (PIAU, 1995). Assim, pesquisas realizadas nas culturas do milho e sorgo (PIAU, 1995), cana-de-açúcar (PRADO & FERNANDES, 2001) e maracujá (PRADO & NATALE, 2004), procuraram verificar a resposta de sua aplicação dentro de cada cultura proporcionando aumentos significativos nos valores de pH, Ca, Mg e Si e redução na acidez potencial (H^+Al) e conseqüentemente melhorias em seu desenvolvimento e suas produções.

Com isso objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de diferentes doses escória de siderúrgicas em diferentes granulometrias na produção e no acúmulo de massa seca de plantas de milho.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, localizado no município de Terra Alta, distante cerca de 100 km de Belém, no km 33 da Rodovia Castanhal/Curuçá, que faz parte da Microrregião do Salgado nas

seguintes coordenadas geográficas, latitude 01°01'7,72" Sul e a uma longitude 47°53'29,19" Oeste. Essa área está sob a influência climática do tipo Ami, da classificação de Köppen, caracterizado por apresentar um índice pluviométrico elevado, com total anual de 2.000mm aproximadamente e temperatura média de 26 °C.

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico, textura média (Embrapa, 2006), Antes da instalação do experimento foi coletada amostras na camada superficial (0-20 cm), para caracterização química e física do solo. As análises foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (1997), apresentando as seguintes características químicas e físicas: pH em água (1:2,5) = 4,9; Ca (cmolc dm⁻³) = 0,6; Mg (cmolc dm⁻³) = 0,3; K (cmolc dm⁻³) = 0,06; H + Al (cmolc dm⁻³) = 4,38; P (mg dm⁻³) = 2,0; CTC a pH 7 = 5,34; V% = 17,09. Argila (g kg⁻¹) = 149; Areia (g kg⁻¹) = 736 e Silte (g kg⁻¹) = 115.

Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3+2, sendo quatro frações granulométricas da escória (material retido entre as peneiras ABNT 20-50, 50-100, 100-200 e <200), três doses da escória equivalentes a 1,65; 3,81 e 5,98 t ha⁻¹, necessárias para elevar a saturação por bases inicial do solo para 40, 70 e 100%, respectivamente, e um tratamento adicional com calcário e outro sem calcário e escória (testemunha) em três blocos, totalizando 42 parcelas com dimensões de 28 m² (5,6m X 5,0m). Para definir as doses de escória e de calcário, foi adotado o método de saturação por bases (Raij et al., 2001) a partir dos dados obtidos de análise química inicial do solo. Foi utilizada a granulometria ABNT < 50 para o calcário, pelo fato de ser essa fração utilizada para o calcário com RE = 100%, conforme a legislação brasileira (Brasil, 1983). A quantidade de calcário aplicada para atingir a saturação por bases a 70% foi de 10,46 kg/ parcela.

A escória utilizada foi coletada em vazamentos de um alto forno da Usina Siderúrgica do Pará (Usipar), localizada em Barcarena, Estado do Pará. O resíduo passou pelo processo de secagem e posterior moagem em um triturador. Depois de triturada a escória passou pelo processo de peneiramento utilizando as peneiras 0,850 mm (ABNT N° 20), 0,300 mm (ABNT N° 50), 0,150 mm (ABNT N° 100) e 0,075 mm (ABNT N° 200), obtendo-se as quatro granulometrias usadas no experimento.

Foi retirada uma amostra do resíduo e enviada para realização de análise no Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental (FULLIN), localizado em Linhares -

ES e apresentou as seguintes características químicas: CaO (dag kg^{-1}) = 24,85; MgO (dag kg^{-1}) = 12,49; PN(%) = 75; PRNT(%) = 74; Si (mg kg^{-1}) = 6,34; Cd (mg kg^{-1}) 10,5; Cr (mg kg^{-1}) = 42,1; Ni (mg kg^{-1}) = 40,0 e Pb (mg kg^{-1}) = 24,1. A metodologia empregada pela FULLIN na realização das análises de corretivo agrícola, na qual se inclui a escória, segue o protocolo do MAPA (2007). A escória apresentou resultados dentro dos limites máximos de contaminantes admitidos em corretivos de acidez (MAPA 2006).

Os corretivos foram aplicados manualmente a lanço em cada parcela, colocando-se metade das quantidades estimadas antes da aração e a outra metade, antes da gradagem. Todas as parcelas receberam o equivalente a 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato simples e 40 kg ha^{-1} de FTE BR-12, aplicados a lanço em área total junto com os tratamentos.

Após 30 dias da aplicação dos tratamentos realizou-se a semeadura do híbrido de milho (BRS 1030) da Embrapa no espaçamento $0,8 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$, em parcelas com área de 28 m^2 ($5,6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$), com oito linhas de plantio com 25 plantas, totalizando 200 plantas por parcela. Efetuou-se também uma adubação de 120 kg ha^{-1} de N e 60 kg ha^{-1} de K_2O . A adubação foi parcelada em duas vezes aos 15 e 45 dias após a emergência do milho. No primeiro parcelamento, aplicaram-se 50 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de sulfato de amônio e cloreto de potássio, respectivamente, em sulcos na linha de plantio, enquanto no segundo parcelamento foram aplicados 70 kg ha^{-1} de N e 30 kg ha^{-1} de K_2O na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente, em cobertura na linha de plantio.

Avaliaram-se as seguintes características agronômicas: Altura da planta; Peso de matéria seca da parte aérea; Peso de espiga; Peso de grãos, Peso de sabugo e Peso de palha.

Aos 120 dias da semeadura efetuou-se a colheita de plantas de milho, coletando-se duas plantas de cada uma das quatro linhas centrais das parcelas totalizando oito plantas por parcelas. As plantas foram coletadas de forma aleatória procurando-se amostras de plantas normais e representativas de cada parcela. Após a coleta das plantas estas foram medidas com auxílio de uma fita métrica para obtenção da altura de planta (AP) e foram acondicionadas em sacos de papéis e colocadas para secar em estufa com circulação de ar forçado mantendo-se a temperatura na faixa de 65

°C–70 °C. Após atingirem o peso constante as plantas foram pesadas em balança digital para obtenção do Massa seca da parte aérea (MSPA) que foi estimada em $t \cdot ha^{-1}$.

Para determinação do Peso de espiga, da produção de grãos, palha e sabugo foram colhidas manualmente todas as espigas contidas nas quatro linhas centrais de todas as parcelas do experimento (Stand) em uma área de 4,6 m X 2,4 m um total de aproximadamente 84 plantas. As espigas foram despalhadas e debulhadas manualmente e separada em palha, grãos e sabugo. Depois de separadas as três partes foram pesadas em balança digital para obtenção do peso de palha (PP), peso de sabugo (PS) e peso de grão (PG). O peso de espiga (PE) foi à somatória dos pesos citados e foram estimadas em $t \cdot ha^{-1}$. No peso de grãos foram feitas as correções de umidade a 13% pela fórmula

$$U: P_f = P_i \times \{(100 - U_i) / (100 - 13)\}$$
, onde f = peso corrigido a 13%; P_i = peso do grão na colheita; U_i = umidade na colheita.

Os dados foram analisados estatisticamente através da análise de variância, utilizando-se o teste de Skott-knott, a 5% de significância utilizando-se o programa Sisvar v.4.2 (FERREIRA, 2003). Foram feitas análises de contrastes das médias dos tratamentos fatoriais versus as médias dos adicionais, e depois, foram agrupadas em um único quadro de análise de variância.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que houve efeito significativo de dose e granulometria e suas interações, na massa seca da parte aérea (MSPA) e produção de grãos (PG) (Tabela 10). À exceção da produção de palha (PP), todas as outras variáveis estudadas, altura de plantas (AP), massa seca da parte aérea (MSPA), produção de grão (PG), produção de espiga (PE) e peso de sabugo (PS), sofreram efeito significativo da diferença entre as médias obtidas nos tratamentos fatoriais (escória) e as médias observadas nos tratamentos adicionais (calcário + testemunha). A produção de palha não foi influenciada significativamente por nenhum dos tratamentos (Tabela 10).

Tabela 10: Resumo da análise de variância da altura de planta (AP), massa seca da parte aérea (MSPA), produção de grãos (PG), produção de espigas (PE), peso de palha (PP) e peso de sabugo de milho.

FV	GL	QM					
		AP	MSPA	PG	PE	PP	PS
Bloco	2	0,0886	8,3711	3,22	6,224	0,0291	0,2832
Gran	3	0,0139	13,9639*	0,8627*	0,5594	0,0743	0,0233
Doses	2	0,0256	15,4346*	0,1124*	0,1462	0,0196	0,0011
Gran * Doses	6	0,0025	15,5748*	9,3912*	0,792	0,0248	0,0784
Ad1 vs Ad2	1	0,0066	3,0537	0,933	8,616	0,129	0,0216
Fat vs Ad1Ad2	1	0,1429*	12,3645*	12,5647*	13,1063*	0,0821	0,1293*
Erro	26	0,0087	0,6005	0,563	0,7108	0,028	0,0281
CV (%)		4,36	6,79	13,13	10,94	20,73	14,15
Média Geral		2,14	11,41	5,71	7,7	0,8	1,18

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

4.3.1 Altura de Plantas (AP)

Observou-se que a média das alturas encontradas nas plantas que tiveram o solo dos tratamentos fatoriais foram maiores que as médias das plantas dos adicionais (Figura 15). A média da altura encontrada nos tratamentos com aplicação de escória (2,15 m) está dentro dos valores alcançados por Santos et al. (2010) que avaliaram a características agrônômicas de variedades de milho para produção de silagem de seis variedades em que as alturas variaram de 2,0 a 2,4 m.

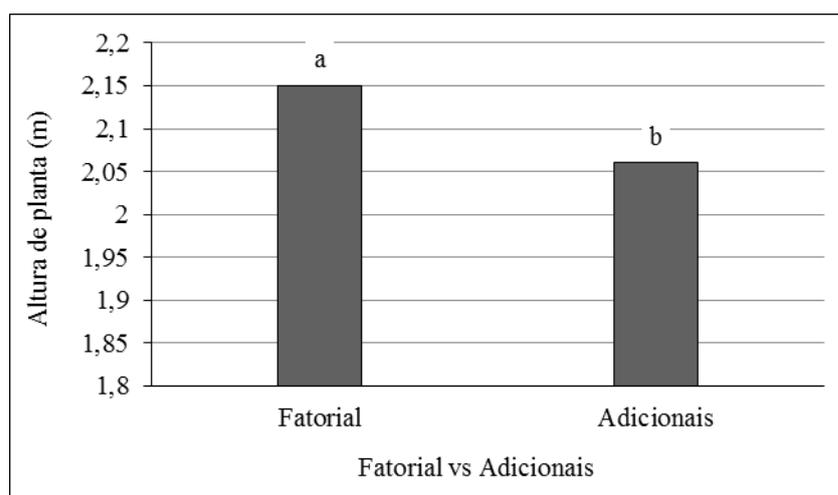


Figura 15: Altura de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

4.3.2 Massa Seca da Parte Aérea (MSPA)

A Tabela 11 mostra que com a menor dose da escória (1,65 t ha⁻¹) foram obtidos os menores valores para MSPA, em todas as granulometrias, que variaram entre 9,11 t ha⁻¹ (ABNT 20-50) a 11,47 t ha⁻¹ (ABNT < 200), sem diferenças significativas entre as frações granulométricas. As maiores doses da escória 3,81 e 5,98 t ha⁻¹, em interação com as frações granulométricas mais finas 100-200 e <200, proporcionaram os maiores pesos de matéria seca da parte aérea, que não diferiram significativamente entre si. Nas granulometrias 100-200 e < 200, quando a dose da escória foram iguais a 3,81 t ha⁻¹, os valores de MSPA corresponderam a 12,38 t ha⁻¹ e 13,36 t ha⁻¹, enquanto que com 5,98 t ha⁻¹ de escória, os valores foram iguais a 13,31 t ha⁻¹ e 14,90 t ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 11: Peso da matéria seca da parte aérea (PMSPA) de plantas de milho em função de diferentes doses e frações granulométricas de escória de siderurgia.

Doses de escória t/ha	Frações granulométricas (ABNT n°)			
	20 - 50	50 - 100	100 - 200	< 200
t ha ⁻¹			
1,65	9,11 aB	10,73 aB	10,90 aB	11,47 aB
3,81	9,66 bB	10,77 bB	12,38 aA	13,36 aA
5,98	11,45 bA	12,40 bA	13,31 aA	14,90 aA

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha e maiúscula na coluna diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott (P<0,05).

Os valores encontrados de MSPA nas frações granulométricas mais finas, entre 10,90 a 14,9 t ha⁻¹, estão dentro da faixa de valores alcançados por Santos et al. (2010), que variaram entre 10,7 a 16,0 t ha⁻¹, ao avaliarem características agrônômicas de seis variedades de milho para produção de silagem, enquanto o máximo valor obtido de 14,9 t ha⁻¹ foi superior ao alcançado por Maggio (2006), que foi de 13,57 t ha⁻¹.

A média de produção de massa seca em solo tratado com a escória (fatorial), representada pelo valor de 11,5 t ha⁻¹ superou significativamente a média observada nos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), correspondente a 10,4 t ha⁻¹ (Figura 16). Isto mostra que os corretivos estudados apresentam comportamento distinto quanto à eficiência na modificação dos atributos químicos do solo, tendo em vista as diferenças de natureza química dos agentes neutralizantes (silicato e carbonato) e sua granulometria, com superioridade da escória sobre o calcário.

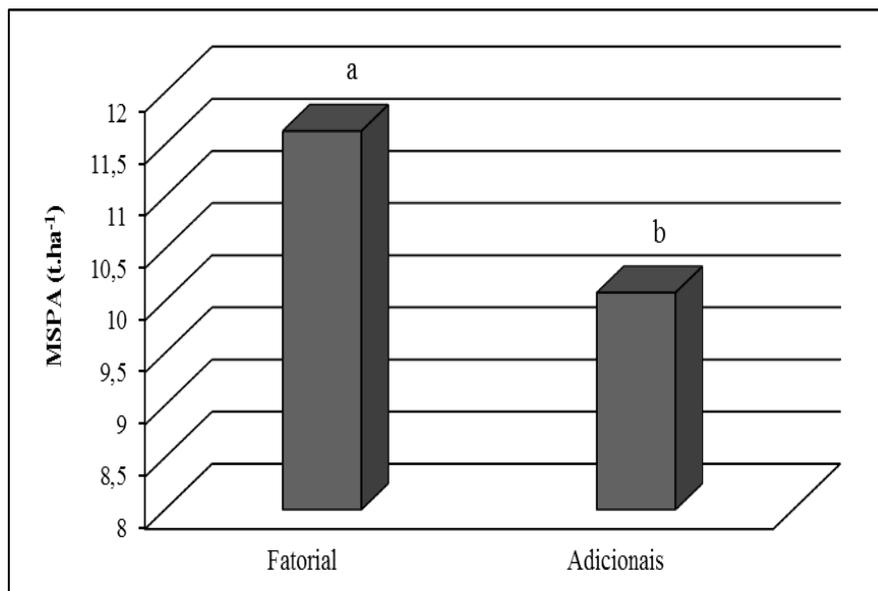


Figura 16: Massa seca da parte aérea de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

O maior peso de massa seca da parte aérea, obtido com a escória, pode ser atribuído à ação eficiente da escória na neutralização da acidez do solo, promovendo o aumento do pH, maior disponibilidade de bases trocáveis, maior disponibilidade de P e redução do teor de Al, uma vez que as plantas têm seu crescimento reduzido em subsolos ácidos (Pavan et al., 1982), o que interfere na absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, na produtividade das culturas. Idêntica analogia foi utilizada por Carvalho-Pupatto et al. (2004), ao justificar o efeito da escória na maior produção de massa seca de plantas de arroz.

4.3.3 Produção de Grãos (PG)

Independente das dosagens as maiores produções de grãos de milho foram obtidas na granulometria mais fina <200 com valores de 6,49 t ha⁻¹, 6,21 t ha⁻¹ e 6,35 t ha⁻¹ nas doses 1,65, 3,81 e 5,98 t ha⁻¹ respectivamente, não apresentando diferenças significativas entre si (Tabela 12). No geral a dose 1,65 t ha⁻¹ apresentou maiores produções de grãos nas frações 50-100; 100-200 e <200 que as demais doses.

Tabela 12: Produção de grãos de plantas de milho em função de diferentes doses e frações granulométricas de escória de siderurgia.

Doses de escória t/ha	Frações granulométricas (ABNT nº)			
	20 - 50	50 - 100	100 - 200	< 200
t ha ⁻¹			
1,65	5,14 cA	5,86 bA	6,23 aA	6,49 aA
3,81	5,57 bA	5,66 bA	5,85 aB	6,21 aA
5,98	5,88 bA	5,72 bA	6,04 bB	6,35 aA

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha e maiúscula na coluna diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Os valores de produção de grãos encontrados em função da interação doses e granulometria da escória variaram entre 5,14 a 6,49 t ha⁻¹ e estão dentro da média de produção de milho do município de Paragominas – PA, de 5,34 t ha⁻¹ principal polo graneleiro do Estado do Pará que se faz o uso do calcário como corretivo de acidez, obtida no ano de 2010 (SAGRI 2010), e dos conseguidos por Câmara (2007) que estudando rendimento de grãos verdes e secos de cultivares de milho, obteve valores na ordem de 4,2 a 6,31 t ha⁻¹. Os referidos valores encontram-se acima da média do estado do Pará que foi de 2,57 t ha⁻¹ no ano de 2011 (IBGE, 2011) e muito superiores aos alcançados no município de Terra Alta – PA, que foram de 0,6 t ha⁻¹ obtida no ano de 2010 (SAGRI 2010) e inferiores aos alcançados por Turco (2011), que variou de 6,99 a 9,5 t ha⁻¹, trabalhando com produção e composição física da planta de milho para silagem.

A produção média de grãos de milho em solo tratado com a escória foi equivalente a 5,7 t ha⁻¹, superior significativamente à média observada nos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), de 4,2 t ha⁻¹ (Figura 17). Corrêa et al. (2008) relatam que a produção de grãos e a massa seca da parte aérea da aveia preta foi incrementada com a aplicação de escória, o que poderia ser justificado pela melhoria dos atributos químicos do solo, fato que favorece a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Semelhante justificativa foi usada por Carvalho-Pupatto et al. (2004), ao encontrarem aumento da produtividade de grãos de arroz pelo uso da escória. Fortes (2006), Ramos et al. (2008), Souza et al. (2008) e Vidal & Prado (2011), relatam que a escória é capaz de diminuir a acidez dos solos tropicais altamente intemperizados, com caráter ácido, e fornecer elementos como Ca e Mg, além de ser fonte de Si, que pode favorecer o

desenvolvimento e aumentar a produção da cultura do arroz.

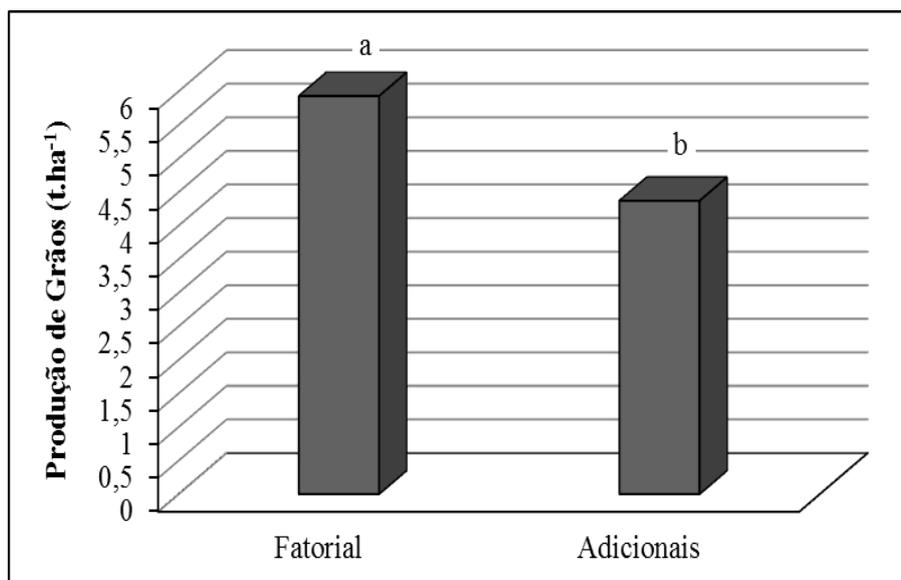


Figura 17: Produção de grãos de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

4.3.4 Peso de espigas (PE)

A média do peso de espigas de milho cultivado em solo tratado com a escória, equivalente a $7,39 \text{ t ha}^{-1}$, mostrou diferença significativa em comparação à média observada nos tratamentos adicionais (calcário + testemunha), de $6,26 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 18). A média da produção de espiga encontrada nos tratamentos com aplicação de escória ($7,39 \text{ t ha}^{-1}$) foi bem superior àquela obtida por Santos et al. (2009), de $2,4 \text{ t ha}^{-1}$, trabalhando com adubação orgânica na cultura do milho no Brejo Paraibano e, superior, também, aos valores obtidos por Santos et al.(2012), na ordem de $2,88$ a $4,11 \text{ t ha}^{-1}$, estudando avaliação de cultivares e híbridos de milho.

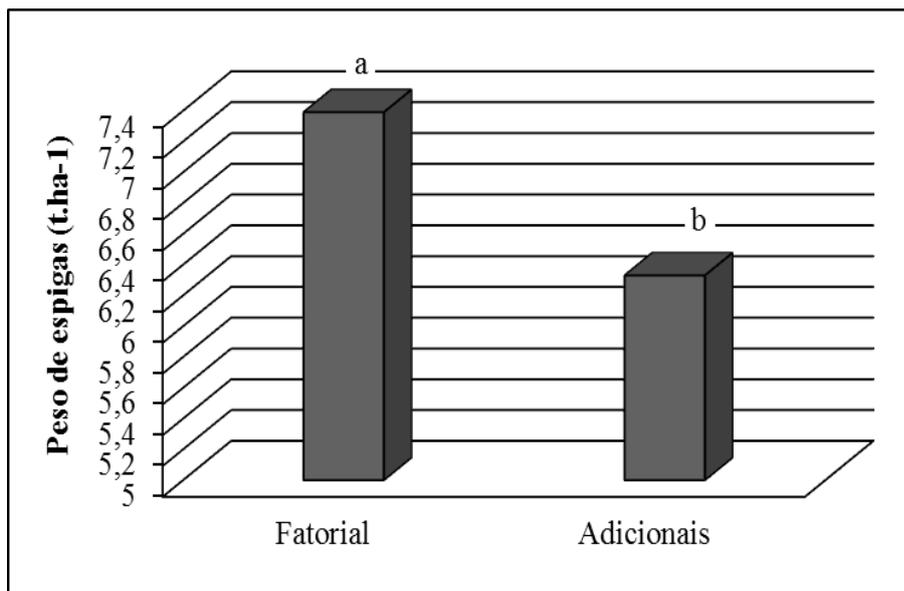


Figura 18: Produção de espigas de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

4.3.5 Produção de Palha (PP)

A produção de palha de milho não sofreu efeito significativo dos tratamentos estabelecidos. Considerando os diferentes tratamentos, as médias de produção de palha variaram de 0,795 a 1,01 t ha⁻¹.

4.3.6 Peso de sabugo (PS)

Observaram-se na Figura 19 que as médias dos pesos de sabugo encontradas nas plantas que tiveram o solo tratado com escória foram maiores que as médias observadas nas plantas submetidas aos dois tratamentos adicionais (testemunha e calcário). As médias para produção de sabugo dos tratamentos com a escória e tratamentos adicionais, 1,18 e 1,08 t ha⁻¹ respectivamente, foram superiores aos alcançado por Santos et al.,(2012) ao avaliarem cultivares e híbridos de milho na ordem de 0,43 a 0,48 t ha⁻¹.

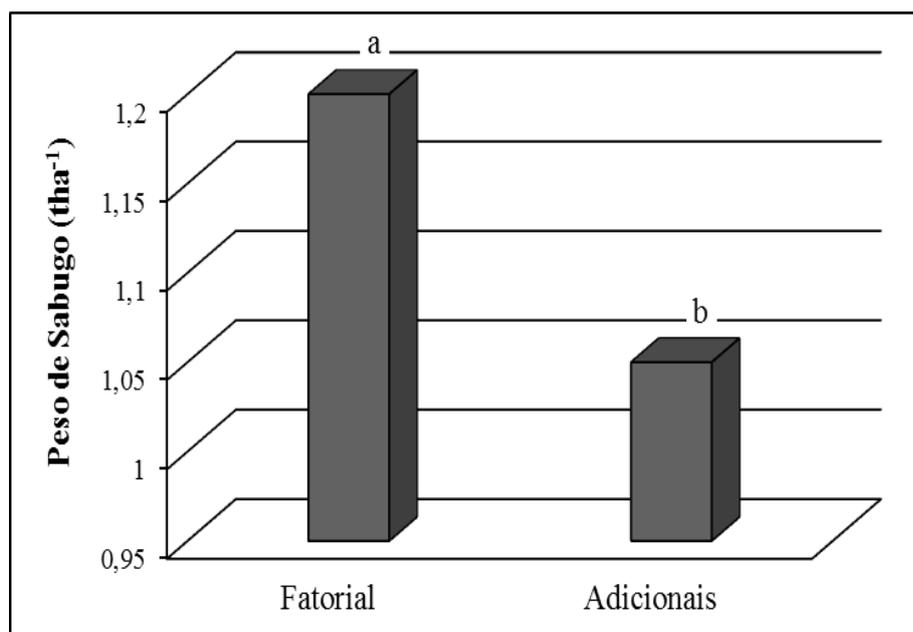


Figura 19: Peso de sabugo de plantas de milho em função da comparação entre as médias dos tratamentos com a escória (Fatorial) versus médias dos tratamentos adicionais (calcário + testemunha).

4.4 CONCLUSÕES

A aplicação da escória de siderurgia nas granulometrias mais finas 100 – 200 e <200 proporcionaram um bom crescimento e uma boa produção de grãos das plantas de milho.

O tratamento fatorial (escória) foi mais efetivo que os adicionais (calcário + testemunha) no crescimento e produção de plantas de milho, sendo 9,56% na produção de massa seca e 26,31% na produção de grãos.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL – **Anuário da Agricultura Brasileira** – 2006, Instituto FNP, 504 p, 2006.

BASTOS, T.X. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE (Belém, PA). **Zoneamento agrícola da Amazônia**. 1ª aproximação. Belém, 1972. p.68-122. (IPEAN. Boletim Técnico, 54).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília: Lanarv, 1983. 104 p.

CÂMARA T. M. M., Rendimento de grãos verdes e secos de cultivares de milho. **Revista Ceres**, v.54, n.311, p.87-92, 2007.

CARVALHO-PUPATTO J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1213-1218, dez. 2004.

CORRÊA, J.C. et al. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade de aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1583-1590, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. EMBRAPA Milho e Sorgo. Sete Lagoas, Circular Técnica 75, 2006. 6p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, Produção de Informação, 2006. 306p.

FERREIRA, D.F. SisVar - programa estatístico. Versão 4.2 (Build 39). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999-2003.

FORTES, C.A. **Correção do solo como silicato de cálcio e magnésio para a produção de gramíneas**. 2006. 137 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

GAMA, J.R.N.F.; RODRIGUES, T.E.; CARDOSO JÚNIOR, E.Q. **Levantamento dos solos e uso atual do Campo Experimental de Terra Alta, Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 30p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 45).

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Produção Agrícola/Producao Agricola Municipal \[anual\]/2011/tabelas_pdf/tabela01.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Produção_Agrícola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2011/tabelas_pdf/tabela01.pdf) Acesso em 4 de Jan. 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e estatística, disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao Agrícola/Producao Agricola Municipal \[anual\]/2011/tabelas_pdf/tabela02.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Producao_Agricola_Municipal_[anual]/2011/tabelas_pdf/tabela02.pdf) Acesso em 4 de Jan. 2013.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 635-641, 1999.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. & CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004b. 28p. (Boletim Técnico, 1)

MAGGIO, M. A. **Acúmulo de massa seca e extração de nutrientes por plantas de milho doce híbrido “tropical”**. CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL, INSTITUTO AGRONÔMICO. — Campinas, 2006. 41 f.

NAVES, M. M. V.; SILVA, M. S.; CERQUEIRA, F. M.; PAES, M. C. D. Avaliação química e biológica da proteína do grão em cultivares de milho de alta qualidade proteica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.34, n.1, p.1-8, 2004.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee (*Coffea arabica* L.) in Ultisols and Oxisols amended with amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 46:1201-1207, 1982.

PRADO, R. M. et al. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, 2001.

PRADO, R. M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo da acidez do solo**. 2000. 97f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 140-144, 2004.

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

QUAGGIO, J. A. **A acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.

RAIJ, B.van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade do solo** Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.

SAGRI, Secretaria de Agricultura do Estado do Pará, disponível em: <http://www.sagri.pa.gov.br/pagina/agricultura>, Acesso em 4 de Jan. 2013.

SANTOS et al., Características agronômicas de variedades de milho para produção de silagem. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 367-373, 2010.

SANTOS, J.F.; GRANGEIRO, J.I.T.; OLIVEIRA, M.E.C. et al. Avaliação de cultivares e híbridos de milho para a microrregião de Campina Grande, PB. **Tecnol. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.6, n.2, p.29-33, jun. 2012.

SANTOS, J.F.; GRANGEIRO, J.I.T.; OLIVEIRA, M.E.C. et al. Adubação orgânica na cultura do milho no Brejo Paraibano. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 209-216, mai /ago 2009.

SOUZA, R.F. et al. Atributos químicos de solos influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1563-1572, 2008.

TURCO, G. M. S., **Produção e composição física da planta de milho para silagem, cultivado em dois níveis de adubação associado a dois espaçamentos entre linhas e duas densidades de plantio**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2011 65 f.

VELOSO C. A. C.; SOUZA F. R. S. de; PEREIRA W. L. M.; TENÓRIO A. R. M., Relações cálcio, magnésio e potássio sobre a produção de matéria seca de milho. **Acta Amazônica**. V. 31(2), p 193-204 2001.

VIDAL, A.A.; PRADO, R.M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e ureia em Latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p.264-272, 2011.