

Avaliação do impacto ambiental da aplicação de composto de lixo e cinza resultante da queima de Biomassa nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo (Typic Haplorthox)

ENVIRONMENTAL IMPACT EVALUATION OF URBAN WASTE COMPOST AND BURNED BIOMASS ASH APPLICATION IN TYPIC HAPLORTHOX CHEMICAL ATTRIBUTES

Eliseu Lins de Medeiros
Serafim Daniel Ballesterio
Departamento de Agronomia da Universidade de Taubaté

RESUMO

Estudou-se o comportamento dos parâmetros edáficos e biométricos do milho com a aplicação de composto de lixo (CL) e cinza resultante da queima de biomassa em um solo do tipo Latossolo Vermelho Amarelo, utilizando um delineamento de blocos ao acaso num esquema fatorial 2^3 , com os tratamentos: T: Solo (Testemunha); T₂: Solo + 7,2Kg de CL; T₃: Solo + 0,6Kg de Cinza; T₄: Solo + 7,2Kg de CL + 0,6Kg de Cinza; T₅: Solo + Adubo Mineral; T₆: Solo + 7,2Kg de CL + Adubo Mineral; T₇: Solo + 0,6Kg de Cinza + Adubo Mineral; T₈: Solo + 7,2Kg de CL + 0,6Kg de Cinza + Adubo Mineral, conduzidos com três repetições. A análise estatística foi feita com a aplicação da análise de variância e teste Tukey de comparação de médias no nível de 5% probabilidade. Observou-se que a associação dos três fatores foi a que apresentou a melhor resposta, com os maiores valores. Quimicamente, para o composto de lixo, houve uma contribuição no acréscimo dos teores de matéria orgânica e fósforo; para a cinza houve aumento nos valores do pH, do cálcio, do magnésio e da porcentagem de saturação de bases e, para a adubação mineral, houve maior acréscimo nos valores da capacidade de troca catiônica, porcentagem de saturação de bases, níveis de cálcio, potássio e fósforo. Não se observou ação de impacto quanto à ocorrência de salinização ou alcalinização, tanto na aplicação do composto de lixo quanto na de cinza.

PALAVRAS-CHAVE

Composto de lixo. Cinza. Salinização. Parâmetros edáficos. Parâmetros biométricos do milho.

INTRODUÇÃO

Em âmbito mundial, observa-se que a grande quantidade de resíduo sólido urbano produzido pelas comunidades transformou-se num dos principais problemas ambientais, sendo uma questão de responsabilidade, não só de governantes, mas também de todos os cidadãos. Mais da metade do lixo domiciliar produzido no Brasil constitui-se de material orgânico, com boa parte oriunda de restos de alimentos ou de sobras de podas de árvores (jardinagem), que poderiam retornar ao solo na forma de adubo orgânico e promover a ciclagem dos nutrientes (MELLONI et al. 1998).

A gestão do controle de resíduos sólidos industriais também é um grande problema. Entretanto, com base nas legislações ambientais vigentes, torna-se possível a aplicação dos critérios de responsabilidade, uma vez que o gerador do resíduo é considerado o responsável direto pelo seu equacionamento e destinação final.

Nos últimos anos, devido ao alto nível de degradação ambiental, os novos modelos de gestão ambiental e gerenciamento de resíduos urbanos e industriais implantados têm privilegiado ações que caminham na direção do desenvolvimento sustentável. Assim, ações que propiciem a redução, a reutilização ou a reciclagem de matérias-primas em outros processos, antes de seu descarte, são hoje priorizadas, possibilitando solucionar possíveis impactos ambientais relativos ao esgotamento de recursos naturais finitos, despejos de resíduos não degradáveis ou cumulativos ao solo, visando também uma diminuição no volume de dejetos destinados aos aterros sanitários. Estes já estão limitados em sua capacidade de recepção e as áreas para constru-

ção de novos aterros estão cada vez mais distantes dos grandes centros.

Dentro do processamento industrial, as empresas responsáveis pela produção de papel e celulose são consideradas, atualmente, como sendo as que mais geram cinzas como resíduo industrial resultante do processo de queima de biomassa vegetal, para produção de vapor, utilizando cavacos, cascas ou carvão vegetal. O setor de manuseio e descascamento de madeira é a maior fonte individual de geração de cinza, correspondendo a 50% do total. Em função de suas características alcalinas e dos teores de nutrientes prontamente disponíveis, a cinza pode ser utilizada como corretivo da acidez do solo contribuindo também no aumento de sua fertilidade, diminuição da densidade, aumento na capacidade de retenção de água, na microporosidade, bem como, na biomassa microbiana.

Portanto, num contexto de elevada geração diária de resíduos por parte das populações urbanas e das enormes quantidades de cinzas produzidas pelas indústrias de celulose e papel, estabeleceu-se como assunto central de estudo a reutilização dos resíduos sólidos urbanos sob a forma de uma associação do composto de lixo (CL) e as cinzas industriais (CI), provenientes da queima de biomassa, na ciclagem dos nutrientes através da aplicação, como condicionadores do solo, utilizando-se o milho como cultura bio - indicadora.

Vários autores já demonstraram o efeito benéfico das cinzas na diminuição das perdas de nutrientes por lixiviação, quando da aplicação conjunta ao solo das cinzas com outros materiais orgânicos e, nesse sentido, a mistura de composto de lixo (material orgânico humificado) com cinza resultante da queima de biomassa seria uma forma de redirecionamento desses resíduos tanto para o aumento nos teores de nutrientes disponíveis ao solo para a produção vegetal, como também para a não utilização dos aterros sanitários ou industriais, devido ao escasso espaço físico de armazenamento existente nos grandes centros.

O principal objetivo deste trabalho está relacionado à reutilização do resíduo resultante da queima de biomassa, em caldeiras industriais, juntamente com o composto de lixo bio-estabilizado, no sentido de serem utilizados como condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos na produção vegetal.

REVISÃO DE LITERATURA

Resíduo industrial resultante da queima de biomassa.

O grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de celulose e papel, de acordo com Fernandes et al. (1997) era inicialmente disposto em aterros industriais. Porém, a crise energética, a partir da segunda metade desta década, obrigou as empresas a utilizá-lo como combustível em caldeiras de geração de energia, reduzindo seu volume como rejeito, mas gerando um apreciável volume de cinzas. Em estudos relacionados à geração de resíduos nas fábricas brasileiras de celulose *Kraft* branqueada e papel, no ano de 1995/1996, Fernandes et al. (1997) encontraram valores de 514 Mg/mês de cinzas de caldeiras, representando 11% do total de resíduos produzidos.

As cinzas geradas no processamento da biomassa pela combustão para a produção de energia são constituídas por pequenos cavacos de madeira e carvão não carbonizados totalmente e por cinzas propriamente ditas, com nutrientes totalmente disponíveis para as plantas. No ano de 1994, a produção na indústria Champion Papel e Celulose Ltda era, em média, de 80 Mg/dia, com uma umidade variando de 40 a 50%. A cinza queimada, também produzida pela mesma empresa, é obtida pela requeima dessa cinza, terminando de carbonizar o material celulósico que faltava, formando um pó amarelo muito fino. O objetivo dessa requeima é aumentar a concentração de nutrientes disponíveis para as plantas e, principalmente, reduzir o volume para transporte e aplicação ao solo. De acordo com Moro (1994), essa medida possibilita uma redução de 10 para 3,5 Mg/ha de cinza a ser aplicada nos plantios de eucalipto, pela mistura desses dois tipos de cinzas, diminuindo em 2,8 vezes os custos de aplicação por hectare.

A legislação estadual, com apoio da Cetesb - Órgão fiscalizador de atividades ambientais, determina que o gerador do resíduo é considerado o responsável direto pelo seu equacionamento e destinação final, ficando legalmente responsável pelos resíduos oriundos de suas atividades e pelos danos causados ao meio ambiente e a terceiros (LIMA et al., 1997).

Portanto, atendendo à consciência ambiental, para um prolongamento da vida útil dos aterros sanitários, estudos da aplicação agrícola de resíduos inertes não tóxicos, como as cinzas resultantes da queima de

biomassa vegetal, com o objetivo de ciclagem dos nutrientes disponíveis, foram realizados por vários autores. Observaram que tal prática promoveu acréscimos nos valores do pH do solo, CTC, V% e nos teores de P, K, Ca e Mg, com reduções na quantidade de alumínio trocável (BELLOTE et al., 1994; GUERRINI et al., 1994; GUERRINI; MORO, 1994). Estudos efetuados por Kiehl (1998) demonstraram incrementos nos teores de Cl, NO₃, SO₄ e Na dos solos, com altas doses de cinzas podendo elevar o teor de cloro a níveis tóxicos para algumas culturas anuais.

Em função de suas características alcalinas, a cinza é recomendada como corretivo da acidez do solo, com um potencial neutralizante que pode variar de 30 a 100% em relação ao calcário. Guerrini e Moro (1994) também demonstraram efeitos da aplicação desse material sobre a diminuição da densidade do solo, aumento na capacidade de retenção de água, na microporosidade, bem como na biomassa microbiana.

A aplicação de cinzas, juntamente com resíduo celulósico, em diversas combinações foi estudada por Guerrini et al. (1996). Esses autores observaram que o tratamento com adubação química é equivalente àqueles com as maiores doses de resíduo de cinza queimada, mantendo a mesma tendência de pesquisas anteriores realizadas por Guerrini e Moro (1994). Os tratamentos onde foram utilizadas as maiores doses desses resíduos industriais promoveram aumento na fertilidade do solo, principalmente quanto aos parâmetros pH, P, Ca, Mg, Zn, Mn, CTC e V%. As análises foliares também mostraram maiores teores para P, Ca e Mn com uso desses mesmos tratamentos. Em relação ao potássio, esses autores observaram que, até aos seis meses de idade, os teores de potássio nas plantas e também no solo eram semelhantes nos tratamentos em que foram aplicadas cinzas e naqueles de adubação mineral. Após esse período, os teores de potássio no solo e plantas foram inferiores nos tratamentos com cinza, com as plantas, inclusive demonstrando sintomas de deficiência desse nutriente.

Em estudos conduzidos em vasos, com a aplicação das doses de 0,67g; 1,33g e 2,00g do resíduo cinza por litro de solo, correspondentes a 2,01Mg/ha; 3,99 Mg/ha e 6,00 Mg/ha (base seca), com a cultura de feijão, cultivar carioca 80, Sicolin e Ballesterro (2002) observaram que a adição de cinza estimulou o desenvolvimento vegetativo, principalmente do sistema radicular, mesmo para a maior dose. Porém, quando utilizada como a única fonte de nutrientes verificou-se deficiência de nitrogênio e aumento da quantidade de cátions bási-

cos do solo, com reflexos na diminuição da acidez e do teor de alumínio.

A aplicação agrícola de resíduos industriais não tóxicos pode ser uma prática recomendável, como uma forma de retornar ao solo os elementos nutritivos indispensáveis ao desenvolvimento vegetal, porém deve ser feito com cautela, alicerçada em dados de pesquisa, que possibilitem o estabelecimento da quantidade possível de ser aplicada, sem causar danos ambientais que comprometam a saúde humana, o equilíbrio iônico dos solos e a produção vegetal.

Compostagem dos resíduos sólidos urbanos.

A gestão do lixo urbano é uma obrigação e uma questão de Política Pública, devendo ser conduzida pelas Unidades de Reciclagem e Compostagem, nas quais o tratamento racional do lixo urbano é feito com a separação das frações: Recicláveis - materiais inertes, tais como vidro, papel, papelão, material ferroso e plástico; e a fração Orgânica tratada por meio da compostagem, tendo como produto final um resíduo orgânico humificado, com potencial para ser usado na agricultura. A qualidade da separação da fração inerte do lixo urbano é etapa essencial e imprescindível para a obtenção de composto com características agrônômicas desejáveis, dependendo, também, de um efetivo programa de educação ambiental e monitoramento da qualidade, através de análises freqüentes (CRAVO; MURAOKA; GINE-ROSAS, 1998).

Poucas são as usinas municipais de compostagem que produzem adubos pelo processo de digestão aeróbia, gerando um material coloidal conhecido como húmus, ideal para aplicação direta no solo por trazer grandes benefícios às plantas (KIEHL, 1979).

Atualmente a URBAM é a única empresa nacional que possui registro de seu composto de lixo autorizado a ser utilizado como fertilizante orgânico, junto ao Ministério de Agricultura e Abastecimento sob o n°. SP-08005 00001-1 (BALLESTERO; FORTES NETO, 1996).

Antes do composto de lixo ser utilizado como condicionador de solos ou fertilizante orgânico na agricultura, deve-se fazer um estudo do resultado analítico do material para verificar se não há, em sua composição, substâncias e microrganismos tóxicos em concentração elevada e incorrer no risco de contaminar os recursos naturais e/ou a saúde pública. É de suma importância ressaltar que as características desse produto refletem os conteúdos dos componentes do lixo urbano que o originou, o seu grau de segregação e a qualidade do processo de compostagem. O lixo urbano, englobando o resi-

dencial e o comercial, excluindo-se aqueles dos serviços de saúde, possui composição muito variada, pois depende diretamente das características sociais, econômicas e culturais da população que habita as cidades nas quais o lixo é produzido. Além disso, há também variação dentro de uma mesma cidade, de acordo com o poder aquisitivo da população de cada bairro e do tempo em anos, em função da mudança na disponibilidade dos produtos alimentícios e hábitos da população (GODOI, 1997).

O composto de lixo urbano, quando obtido de modo adequado com redução de microrganismos patogênicos (CRAVO; MURAOKA; GINE-ROSIAS, 1998) e metais pesados, é viável de ser utilizado como fertilizante orgânico devido à sua riqueza em matéria orgânica e nutrientes, melhorando as condições de cultivo e proporcionando aos solos um aumento no teor de matéria orgânica, elevação do pH, redução da acidez potencial, au-

mento da disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio”, contribuindo para uma melhor nutrição e produção de vegetais (ABREU JR. et al., 2000; BENGSTON; CORNETTE, 1973; CRAVO, 1995; FERRO NETO, 1994; HORTENSTINE, ROTHWELL, 1972; LIMA et al., 1999; MAZUR; VELLOSO; SANTOS, 1983; OLIVEIRA, 2000).

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo foi utilizado o composto de lixo bioestabilizado “curado” na fertilização do solo em conjunto com a cinza gerada no processo industrial de produção de celulose e papel, observando o desenvolvimento vegetativo da cultura do milho e a variação dos parâmetros químicos do solo relacionados à fertilidade e à salinização. O experimento foi desenvolvido na Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté em um solo Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd) de médias fertilidade e textura.

Tabela 1- Caracterização química do composto de lixo da URBAM - ADURBAM

Variáveis	Média*	Limites
Carbono orgânico (g/kg)	145,20	-
Matéria Orgânica (g/kg)	343,90	360 a 400
Cálcio (g/kg)	15,30	15 a 30
Enxofre (g/kg)	1,35	2 a 5
Fósforo (g/kg)	2,26	5 a 15
Magnésio (g/kg)	3,61	6 a 12
Nitrogênio (g/kg)	8,60	9 a 10
Potássio (g/kg)	5,00	5 a 15
pH	7,70	6 a 8
Umidade (%)	36,85	40 a 44
C/N	16,00	18 a 21
Densidade (g/cm ³)	0,40	-
Alumínio (mg/kg)	12.877,96	
Arsênio (mg/kg)	3,07	75(d)
Bário (mg/kg)	72,85	20.000(e)
Boro (mg/kg)	48,66	
Chumbo (mg/kg)	284,15	(900 (a); 150 (b); 150 (c) 840(d)
Cobre (mg/kg)	42,31	(1.000 (a); 150 (b); 100 (c) e 4.300 (d)
Crômio (mg/kg)	54,64	300 (a) e 100 (c)
Estanho (mg/kg)	236,79	
Ferro (mg/kg)	18.700	
Manganês (mg/kg)	397	
Mercúrio (mg/kg)	0,23	4 (a); 3 (b); 1 (c) e 57 (d)
Níquel (mg/kg)	29,87	200 9a); 50 (c) e 420 (d)
Prata (mg/kg)	0,91	1.000 (e)
Selênio (mg/kg)	0,36	100 (d) e 100 (d)
Zinco (mg/kg)	260,30	1.500 (a); 500 (b); 400 (c) e 7.500 (d)

* Valores expressos em base seca
 Legislação sobre composto de lixo urbano: (a) Austrália; (b) Suíça e (c) Alemanha.
 Norma para o uso agrícola de lodo de esgoto CETESB 4.230; (d) São Paulo
 Norma para caracterização de resíduos PN 1: 603.06-008 (ABNT); (e) Brasil

Utilizaram-se, para a instalação do experimento, três fatores:

A = Composto de lixo - Proveniente da URBAM

B = Cinza de Caldeira - Proveniente da indústria de celulose NOBRECEL

C = Adubação Química - Fertilizante mineral sob a formulação 4-14-08.

Como cultura teste foi utilizada o milho - Cultivar - Híbrido duplo - "Top Cross": IAC Hmd 8222.

Composição química do Composto de Lixo.

O composto de lixo utilizado com 60 dias de maturação, foi produzido com material orgânico obtido através da coleta orgânica residencial e apresentou as características físicas, químicas e biológicas constantes das Tabelas 1 e 2.

Composição química da Cinza de Caldeira.

A cinza de caldeira utilizada corresponde ao produto resultante da queima de biomassa florestal e apresenta as características físicas e químicas constantes na Tabela 3.

Tabela 2- Presença de microrganismos patogênicos no composto de lixo urbano da Urbam

Variáveis	Valores
Escherichia coli	1,7 x 10 ⁵ NMP/100g
Pseudomonas aeruginosa	8 x 10 ⁷ NMP/100g
Salmonella spp	Ausente
Staphylococcus aureus	Ausente

Tabela 3 - Dados químicos médios da cinza de caldeira do processo industrial.

Determinação	Extrator Digestor	Téc. Analítica	Resultado	Unidade
pH	Sem extrator	Potenciometria	11,74	-
Matéria Orgânica	Sem extrator	Calcinação	84,20	%
Nitrogênio (N)	Sem extrator	Titulometria	0,16	%
Fósforo (P ₂ O ₅)	Nitroperclórico	Gravimetria	0,32	%
Potássio (K ₂ O)	Nitroperclórico	Espect.A.A.	0,65	%
Cálcio (Ca)	Nitroperclórico	Espect.A.A.	2,3	%
Magnésio (Mg)	Nitroperclórico	Espect.A.A.	0,19	%
Sódio (Na)	Nitroperclórico	Espect.A.A.	0,14	%
Cobre (Cu)	Nitroperclórico	Espect.A.A.	23,00	mg/Kg
Manganês (Mn)	Nitroperclórico	Espect.A.A.	865,00	-
Ferro (Fe)	Nitroperclórico	Espect.A.A.	0,17	%
Zinco (Zn)	Nitroperclórico	Espect.A.A.	33,00	mg/Kg
Boro (B)	Sem extrator	Colorimetria	7,29	mg/Kg
Enxofre (S)	Nitroperclórico	Colorimetria	81,00	mg/Kg
Cinzas	Sem extrator	Gravimetria	15,80	%
Umidade	Sem extrator	Desidratação	4,97	%
Densidade	Sem extrator	Gravimetria	0,21	g/cm ³

Fonte: IBRA- Análises Químicas Ind. E Com. Ltda., 14/03/2002

Método e cálculo utilizado para o plantio experimental

Com base nos dados de literatura referentes às características químicas do composto de lixo e da cinza de caldeira, foram calculadas as recomendações das

doses a serem utilizadas para o plantio do milho em condições de campo, em sulcos com uma profundidade de 30cm onde foi feita a aplicação dos resíduos. Estes ficaram em repouso por um período de trinta dias sob irrigação semanal para que ocorresse mineralização

parcial dos materiais orgânicos e início do processo de humificação. A semeadura foi feita à profundidade de 15 cm, com 10 sementes por metro linear e espaçamento entre linhas de 100cm. A aplicação do adubo mineral foi feita na operação de semeadura com a utilização de uma semeadeira-adubadeira.

Cálculo para composto de lixo:

Valores na Literatura = 30, 60, 90, 120 Mg/ ha

Valor médio = 70 Mg/ha = 7 Kg/m²

Área 5 x 5 = 25m²

$$\begin{array}{rcl} 7 \text{ Kg} & \text{---} & \text{m}^2 \\ X & \text{---} & 25\text{m}^2 \\ X & = & 175\text{Kg} \end{array}$$

175 Kg / 5linhas = 35 Kg/Linhas

35 / 5 m linear = 7,0 Kg/Linear

Dose calculada para composto de lixo = 7,2 Kg/ m. linear

Cálculo para cinza:

Valor obtido em pesquisas realizadas na Universidade de Taubaté - Vale do Paraíba/SP, por Sicolin e Ballesterio (2002), correspondentes a 2,01Mg/ha; 3,99 Mg/ha e 6,00 Mg/ha (Dose calculada para Cinza de biomassa).

Cálculo para N - P - K:

Adubação Química. A determinação com base na recomendação do Boletim 200 IAC/ Análise foi de 500 Kg/ha da formulação 4-14-8, correspondendo a 1.250 g/parcela de 5x5 m², que totalizou 250 g por linha e 50 g/m linear de sulco.

Foi utilizada para o delineamento experimental deste trabalho a análise exploratória da quimiometria, que é uma ferramenta imprescindível no estudo conceitual para definição de tratamentos com experimento científico por meio da matriz experimental modelo que serviu de orientação na obtenção dos cálculos para os efeitos principais e na interação dos fatores, proporcionando um modelo matemático para o número de tratamentos e suportes necessários ao desenvolvimento deles.

As parcelas experimentais foram de 5x5m² com cinco linhas cada e a coleta de dados foi feita desprezando-se as linhas da bordadura considerando-se somente as linhas do interior.

A distribuição dos tratamentos foi feita por sorteio e para maior precisão estatística, no ensaio fatorial, foi utilizada a distribuição dos tratamentos em blocos ao

acaso com três repetições, de acordo com Gomes (1987).

Com base na matriz experimental estabelecida (Tabelas 4, 5) e nos materiais orgânico e mineral utilizados na adubação, definiram-se os tratamentos a serem utilizados no experimento de campo.

Tratamentos:

T₁ - Solo = Testemunha.

T₂ - Solo + 7,2Kg/ m. linear de CL* (*Composto de Lixo).

T₃ - Solo + 0,6Kg/ m. linear de Cinza.

T₄ - Solo + 7,2Kg/ m. linear de CL + 0,6Kg/ m. linear de Cinza.

T₅ - Solo + 50 g/m. linear de Adubo Mineral 4-14-8.

T₆ - Solo + 7,2Kg/ m. linear de CL + 50 g/m. linear de Adubo Mineral 4-14-8.

T₇ - Solo + 0,6Kg/ m. linear de Cinza + 50 g/m. linear de Adubo Mineral 4-14-8.

T₈ - Solo + 7,2Kg/ m. linear de CL + 0,6Kg/ m. linear de Cinza + 50 g/m. linear de Adubo Mineral 4-14-8.

Na colheita foram analisados os dados de desenvolvimento vegetativo referentes à altura de plantas, comprimento do sistema radicular e os dados de produção do peso verde da plantas, peso verde do sistema radicular e peso verde dos grãos. Para a coleta dos dados biométricos e de produção foi considerado um período de desenvolvimento de cinco meses e selecionadas cinco plantas/linha de três linhas centrais das parcelas.

Atributos químicos do solo e biométricos da cultura de milho analisados

Após colheita, foram feitas as análises padrão de fertilidade de cada parcela, além de dados dos teores de sódio e condutividade elétrica, segundo Vieira (1983) para determinar os índices de salinidade: Porcentagem de Sódio Total (P.S.T.), Relação de Adsorção de Sódio (R.A.S.) e Condutividade Elétrica (C.E.)

A análise estatística dos resultados foi realizada com a aplicação da análise de variância e teste Tukey de comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade segundo Gomes (1987), em complementação à metodologia da análise quimiométrica dos parâmetros edáficos e biométricos da cultura do milho, dentro de um sistema comparativo proposto por Taguchi (1995).

Tabela 4- Relação dos adubos e doses utilizadas na adubação da cultura de milho.

Fatores	Nível (+)	Nível (-)
A = Composto de lixo	7,2 Kg/m linear de sulco	Sem CL
B = Cinza de Caldeira	0,6 Kg/m linear de sulco	Sem Cinza
C = Adubação Mineral	50 g/m linear de sulco	Sem Adubação

Tabela 5 - Modelo de matriz experimental.

Tratamentos	Fatores			Parâmetros
Exp.	A	B	C	Dv1
1	-	-	-	M1
2	+	-	-	M2
3	-	+	-	M3
4	+	+	-	M4
5	-	-	+	M5
6	+	-	+	M6
7	-	+	+	M7
8	+	+	+	M8

Tabela 6 - Resultados da caracterização química do solo.

g/dm ³			mg /dm ³	mmol /dm ³							
M.O.	pH (CaCl ₂)		P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CTC
23	5,5		20	3,0	26	13	0,9	0	24	42	66
%	mg/dm ³				Relações Numéricas						
V	Cu	Fe	Mn	Zn	H/CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Mg/Ca		
64	1,1	4	9	1,2	0,4	2,0	8,7	4,3	0,5		

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matriz experimental da quimiometria e aplicação do teste Tukey de comparação de médias para os atributos biométricos relacionados ao desenvolvimento vegetativo

Os dados referentes ao comportamento estatístico estão apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Na análise e discussão das variações obtidas nos atributos relacionados ao desenvolvimento vegetativo e produção da cultura de milho, observa-se que o solo apresentava boas condições de fertilidade com valor médio para acidez e alto para saturação por bases, segundo van Raij et al. (1996) e boas condições de disponibilidade de nutrientes (Tabela 6). Essas características do solo utilizado na pesquisa podem ter mascarado os resultados e também explicar a inexistência de variação estatística entre as variáveis altura de plantas, comprimento das raízes e peso verde de grãos.

Devido às condições iniciais de fertilidade do solo, na aplicação do teste Tukey de comparação de médias

(Tabela 8), para o parâmetro de desenvolvimento vegetativo e altura de plantas, observou-se que o tratamento testemunha foi o que apresentou o menor valor absoluto para a altura de plantas, porém sem diferir estatisticamente dos demais. Em função dos resultados obtidos nessa análise pode-se concluir que para o crescimento das plantas de milho, todos os adubos utilizados como fonte de nutrientes tiveram um comportamento semelhante, com a maior produção sendo obtida com a utilização de todos eles, sem, no entanto, atingir valores que o diferenciasse estatisticamente da aplicação dos adubos isoladamente ou nas diferentes combinações testadas.

A variável do comprimento do sistema radicular também não apresentou variações estatisticamente significativas entre os tratamentos, demonstrando efeito das condições iniciais de fertilidade do solo e também evidenciando que todos os materiais (orgânicos e minerais) utilizados na adubação da cultura de milho tiveram ação semelhante no desenvolvimento do sistema radicular.

Na aplicação do teste Tukey de comparação de

médias para a variável peso verde das plantas observou-se que o tratamento com a adubação mineral foi o que apresentou maior valor, diferindo estatisticamente somente da testemunha em nível de 1% de probabilidade. Esse resultado demonstra, para as condições iniciais de fertilidade do solo, que a utilização dos adubos orgânicos e mineral, tanto isoladamente, como em associações, contribuiu de forma semelhante no aumento do ganho de peso verde das plantas.

A aplicação do teste Tukey de comparação de médias para o parâmetro peso verde das raízes demonstrou grande variabilidade estatisticamente significativa entre os tratamentos. Observou-se que nos tratamentos em que foram utilizadas a cinza e a adubação mineral isoladamente (tratamentos 3 e 5) e nas associações da dose de cinza com a adubação mineral (tratamento 7) e com a dose de composto de lixo (tratamento 2), houve maior ganho de peso do sistema radicular. Esse efeito demonstra que a adição de cinza na complementação da adubação mineral para a cultura do milho foi benéfica, estimulando o desenvolvimento do sistema radicular. Os menores valores para o

peso do sistema radicular foram encontrados nos tratamentos em que foi utilizado somente o composto de lixo, associações do composto de lixo com cinza e adubação mineral e para a testemunha. Tal comportamento demonstra que a utilização do composto de lixo, em complementação à adubação mineral (tratamento 7) e com dose de composto de lixo (tratamento 2), proporciona maior ganho de peso do sistema radicular. Esse efeito comprova que a adição de cinza na complementação da adubação mineral para a cultura do milho foi benéfica estimulando o desenvolvimento do sistema radicular. Os menores valores para o peso do sistema radicular foram encontrados nos tratamentos em que foi utilizado somente o composto de lixo, associações do composto de lixo com cinza e adubação mineral e para a testemunha. Tal comportamento evidencia que a utilização do composto de lixo, em complementação à adubação mineral, teve um efeito menos positivo no desenvolvimento do sistema radicular para a cultura do milho, quando comparado às associações da cinza e da adubação mineral.

A aplicação do teste Tukey de comparação de mé

Tabela 7 - Matriz experimental dos dados referentes ao desenvolvimento vegetativo e produção.

Tratamentos	Fatores			Parâmetros vegetativos e de produção				
	A	B	C	DV1	DV2	DP1	DP2	DP3
1	-	-	-	2,62	35,50	1,26	213,27	208,50
2	+	-	-	3,10	34,25	1,45	201,37	180,50
3	-	+	-	2,92	39,75	1,66	235,03	235,75
4	+	+	-	3,01	35,75	1,12	163,03	164,50
5	-	-	+	3,04	40,25	2,10	242,18	234,66
6	+	-	+	3,26	38,00	1,58	186,43	186,00
7	-	+	+	2,98	36,60	1,55	213,48	208,70
8	+	+	+	2,81	36,75	1,65	219,53	231,50

Tabela 8 - Variação dos atributos biométricos e de produção de grãos nos tratamentos com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade. Letras iguais indicam ausência de diferença estatística.

Tratamentos	Altura da Planta (m)	Comprimento das Raízes (cm)	Peso Verde da Planta(kg)	Peso Verde das Raízes (g)	Peso Verde dos Grãos (g)/ Planta
1	2,57A	33,19A	1,20B	213,27ABC	248,14 A
2	3,16A	39,59A	1,71AB	201,37BC	180,61 A
3	2,93A	35,03A	1,88AB	235,03A	256,87 A
4	3,07A	36,22A	1,21AB	163,03D	171,39 A
5	3,13A	37,16A	1,93A	242,18A	245,24 A
6	3,19A	39,88A	1,48AB	186,43CD	183,51 A
7	3,01A	35,15A	1,50AB	213,48ABC	206,29 A
8	2,80A	37,64A	1,87AB	219,53AB	218,46 A

dias para o parâmetro de produção, peso verde de grãos, não apresentou variação estatisticamente significativa entre os tratamentos, demonstrando a não existência do efeito da utilização da adubação mineral e das doses de cinza e de composto de lixo, isoladamente ou em associações, na produção de grãos. Esse resultado pode ser devido também à existência do efeito oculto das boas condições iniciais de fertilidade do solo.

Matriz experimental da quimiometria e aplicação do teste Tukey de comparação de médias para os atributos químicos do solo

Os dados referentes ao comportamento estatístico estão apresentados nas Tabelas 9 e 10.

Os teores de matéria orgânica tiveram variação, entre os tratamentos, estatisticamente significativa em nível de 5% de probabilidade (Tabela 10). Nos tratamentos em que foi feita aplicação de composto de lixo, os valores foram bem maiores, seguidos dos tratamentos em que se adicionou cinza. Esse efeito está relacionado às maiores quantidades de matéria orgânica existente no composto de lixo e, em menor valor, na cinza.

A análise dos teores de fósforo demonstrou maiores quantidades desse nutriente, estatisticamente significativo, para os tratamentos em que foi aplicado o composto de lixo. Os tratamentos em que se utilizou a cinza tiveram pequeno aumento na quantidade desse nutriente, porém não diferindo estatisticamente dos demais.

Em relação ao potássio, observou-se a não existência de variação estatisticamente significativa entre os tratamentos. Esse comportamento evidencia a contribuição semelhante desses adubos no fornecimento de

potássio.

Em relação à disponibilidade dos nutrientes cálcio e magnésio, observou-se que o tratamento testemunha, ou seja, aquele em que se utilizou somente o solo, apresentou o maior valor, diferindo estatisticamente dos demais, no nível de 5% de probabilidade. Esse efeito pode estar relacionado à baixa quantidade desses nutrientes nos materiais orgânicos e minerais utilizados na adubação.

Em relação à variação do pH, observou-se que os tratamentos em que se utilizou cinza na adubação apresentaram os maiores valores, diferindo estatisticamente dos demais. Esse comportamento ocorreu por ter esse material orgânico altos teores de cátions alcalinos e, em função disso, apresentar valores de pH na faixa neutra. Ao se adicionar ao solo produz um efeito também aumentando os valores do pH.

O comportamento dos cátions ácidos H+Al demonstrou incrementos com a adição do composto de lixo e da adubação mineral. Esse efeito ocorreu porque na adubação com o composto de lixo foram adicionadas altas quantidades de matéria orgânica bioestabilizada ao solo, que no seu processo final de humificação libera pequena quantidade de hidrogênio na forma iônica (H⁺) aumentando a quantidade de H+Al. Nas reações químicas que promovem a liberação dos nutrientes da adubação mineral também pode ocorrer a liberação de hidrogênio na forma iônica contribuindo também para o aumento do H+Al.

A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou aumento, porém não estatisticamente significativo, nos tratamentos em que se adicionou o composto de lixo na adubação. Esse efeito é benéfico e se justifica pelos altos valores de CTC que a matéria orgânica

Tabela 9 - Matriz experimental - Atributos químicos do solo em função da aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Fatores			Variação dos parâmetros químicos do solo									
	A	B	C	V.N.	g/dm ³		mmol/dm ³					%	
				pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
1	-	-	-	6,0	20,0	15,0	3,0	38,0	17,0	17,0	58,0	75,0	77,3
2	+	-	-	6,0	21,0	17,0	3,4	40,0	17,0	17,0	60,4	77,4	78,0
3	-	+	-	6,0	20,0	18,0	5,5	39,0	19,0	18,0	63,5	81,5	77,9
4	+	+	-	5,3	20,0	40,0	3,5	32,0	11,0	28,0	56,5	84,5	66,9
5	-	-	+	5,4	21,0	50,0	5,4	34,0	12,0	26,0	100,0	126,0	79,4
6	+	-	+	5,3	20,0	84,0	2,3	38,0	12,0	28,0	52,3	80,3	65,1
7	-	+	+	6,4	20,0	15,0	2,6	42,0	17,0	14,0	61,6	75,6	81,5
8	+	+	+	6,3	21,0	14,0	2,9	42,0	17,0	15,0	61,9	76,9	80,5

humificada possui.

Quanto às variações da Porcentagem de Saturação de Bases e Soma de Bases, observou-se que houve pequeno aumento, porém também não estatisticamen-

te significativo, para os tratamentos em que se aplicou composto de lixo e cinza na adubação. Esse resultado se justifica pela quantidade de cátions básicos existentes nesses materiais.

Tabela 10 - Atributos químicos do solo nos tratamentos com a aplicação do teste Tukey de comparação de médias ao nível de 5% de probabilidade. Letras iguais indicam ausência de diferença estatística.

Tratamentos	g/dcm ³		mmol _c /dm ³		
	M.O.	P	K	Ca	Mg
1	2,03AB	16,67B	3,97A	53,00A	17,67A
2	2,17A	58,00A	3,02A	42,61ABC	11,67CD
3	2,00AB	14,33B	2,80A	40,32BC	17,00A
4	2,23A	16,67B	2,53A	33,31C	14,00BC
5	1,67C	26,39B	2,57A	34,65C	10,58D
6	2,03AB	23,33B	3,42A	48,00AB	16,00AB
7	2,17A	42,00AB	2,74A	39,00BC	14,33B
8	1,83BC	14,33B	3,10A	48,69ABC	14,00BC

Tratamentos	CaCl ₂	mmol _c /dm ³			%
	pH	H+Al	CTC	SB	V
1	6,00BC	17,33BC	78,00A	60,67A	77,67A
2	5,33D	27,33A	97,00A	69,67A	70,33AB
3	6,33A	14,67C	77,33A	62,67A	80,53A
4	5,87C	19,00B	78,67A	59,67A	75,47A
5	5,03E	31,00A	77,67A	46,67A	60,00B
6	6,23AB	17,33BC	85,00A	67,67A	79,33A
7	6,03BC	18,33BC	88,67A	70,33A	79,33A
8	5,83C	19,67B	77,00A	57,67A	74,61A

Tabela 11 - Variação dos atributos químicos relacionados à salinização do solo. Letras iguais indicam ausência de diferença estatística.

Tratamentos	mmol _c /dm ³	%	ms/cm
	Na	PST	C.E.
1	0,20C	0,17C	0,09B
2	0,30C	0,37BC	0,14AB
3	0,60BC	0,81BC	0,13AB
4	0,90B	1,14B	0,14AB
5	0,46B	0,59BC	0,21A
6	2,10A	2,56A	0,18AB
7	0,50B	0,63BC	0,19A
8	0,60BC	0,86BC	0,15AB

Aplicação de teste Tukey de comparação de médias para os atributos químicos do solo relacionados à salinidade

Em relação à avaliação das condições químicas de salinização e alcalinização do solo, resultantes da aplicação do composto de lixo, cinza e adubação mineral, com base na avaliação dos índices de pH, C.E, PST (Tabela 11), segundo Vieira e Vieira (1983), observou-se que não houve nenhuma ação de impacto quanto á

ocorrência de salinização ou alcalinização devido ao acréscimo dos teores de cátions que atuam nesse processo, tanto na aplicação do composto de lixo como cinza.

CONCLUSÃO

Tanto em relação à ação isolada dos adubos como em suas interações, houve uniformidade nos valores das variáveis relacionadas ao desenvolvimento

vegetativo, não apresentando, em geral, variação estatisticamente significativa, em função das boas condições iniciais de fertilidade do solo.

Quanto ao comportamento dos atributos químicos do solo, observou-se na aplicação dos adubos isoladamente, que para o composto de lixo houve uma contribuição estatisticamente significativa no acréscimo dos teores de fósforo. Para a cinza houve variação significativa na elevação do pH e para adubação mineral, decréscimo. As demais variáveis químicas não apresentaram variações estatisticamente significativas.

Considerando a interação dos fatores, para avaliação do comportamento dos atributos químicos do solo, observou-se que houve efeito positivo na correção da acidez e aumento nos teores de nutrientes, porém sem diferirem estatisticamente entre si.

A aplicação de cinza e composto de lixo não causa dano ao solo e pode contribuir para a diminuição do volume de lixo dos aterros sanitários bem como promover uma utilização ambientalmente correta para as cinzas geradas nas indústrias de celulose e papel.

ABSTRACT

It was studied the behavior of the soil attributes and maize biometric parameters with urban compost (CW) and burned biomass ash application in Typic Haplortox soil utilizing randomized blocks experiment in factorial design 2³ with the treatments: T₁ - Soil (check treatment); T₂ - Soil + 7.2 kg of C; T₃ - Soil + 0.6 kg of Ash; T₄ - Soil + 7.2 kg of Cw + 0.6 kg de Ash; T₅ - Soil + Mineral Fertilizer; T₆ - Soil + 7.2 kg de CW - Mineral Fertilizer; T₇ - Soil + 0.6 Kg de Ash + Mineral Fertilizer; T₈ - Soil + 7.2 kg of C + 0.6 kg of Ash + Mineral Fertilizer, carried with three repetitions. The statistical analysis was done with application the ANOVA and Turkey test (5% of probability). It was observed that the association of the 3 factors evidenced the best response, with the highest values. For the chemical parameters, with the waste compost application, there was a contribution to the increase of organic matter and phosphorus. The ash increased pH, Calcium, Magnesium and base saturation percentage and the mineral fertilizer increased the cationic changing capacity, base saturation, calcium, potassium and phosphorus levels. It was not observed the impact action in salinity or alkalinity occurrence for both waste compost and ash application.

KEY- WORDS

Soil Chemical attributes. Urban waste compost. Ash. Salinity. Maize production.

REFERÊNCIAS

ABREU JR., C.H. et al. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto lixo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.635-647, 2000.

BALLESTERO, S.D.; FORTES NETO, P. *Uso agrícola do composto de lixo produzido na usina de reciclagem da URBAM - SJC* - São José dos Campos, 1996. 85p. Relatório técnico não publicado.

BELLOTE, A.F.J. et al. Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J.; BÜLL, L.T. *Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas*. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994. p. 167-187.

BENGSTON, G.W.; CORNETTE, J.J. Disposal of composted municipal waste in a plantation of young slash pine: effects on soil and trees. *Journal of Environmental Quality*, v.2, p.441-444, 1973.

CRAVO, M.S. *Composto de lixo urbano como fonte de nutrientes e metais pesados para alface*. 1995. 148f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1995.

CRAVO, M.S. et al. Caracterização química de compostos de lixo urbano de algumas usinas brasileiras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.547-553, 1998.

FERNANDES, F.M. et al. Resíduos sólidos diretamente dos processos industriais. In: Congresso Anual da Celulose e Papel, 30., 1997. *Anais...* São Paulo: ABTCP, 1997. p. 152-163.

FERRO NETO, A. Produção racional de composto de lixo urbano. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. *Trabalhos apresentados...* Botucatu: UNESP, 1994. p.1-14.

GODOI, M.O. *Origem e destino dos resíduos sólidos domiciliares em São Paulo*. 1997. 223f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

GOMES, F.P. A estatística moderna na pesquisa

agropecuária. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e Fosfato (POTAFOS), 1987, p.31-44.

GUERRINI, I.A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J.; BÜLL, L.T. *Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas*. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994. p. 189-215.

GUERRINI, I.A., et al. Influência do resíduo celulósico e cinza provenientes de fábrica de celulose e papel sobre algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, em condições de vaso. *Científica*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 43-51, 1994.

GUERRINI, I.A. et al. *Doses crescentes de resíduo celulósico e cinza queimada em plantios de Eucalyptus grandis*. Resultados Preliminares. Mogi Guaçu: Champion Papel e Celulose Ltda., 1996.

HORTENSTINE, C.C.; ROTHWELL, D.F. Use of municipal compost in reclamation of phosphate - mining sand tailings. *Journal of Environmental Quality*, v.1, p.415-418, 1972.

KIEHL, E.J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. Piracicaba, 1998. 171p. Edição pessoal.

KIEHL, J.K. Cinquenta perguntas e respostas sobre composto orgânico. *Boletim Técnico*: Prefeitura do Município de São Paulo. 1979. 17p.

LIMA, J. S. et al. Hortaliças cultivadas com composto orgânico de lixo urbano não apresentam contaminação com metais pesados. *Revista Ceres*, v.46, p.571-585, 1999.

LIMA, R.N. et al. *Resíduos sólidos diretamente dos processos industriais*. In: Congresso Anual da Celulose e Papel. 30., 1997. *Anais...* São Paulo: ABTCP, 1997. p. 152-163.

MAZUR, N.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A. Efeito do composto de resíduo urbano no pH e alumínio trocável em solos ácidos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, p.157-159, 1983.

MELLONI, R. et al. *Manual de compostagem de resíduos orgânicos domésticos*. *Boletim técnico*: Universidade Federal de Lavras. Pró-Reitoria de Extensão. Ano VII, n.29, 1998, 20p.

MORO, L. *Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda*. In: GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J.; BÜLL, L.T. *Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestas*. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994. p. 155-166.

OLIVEIRA, F.C. *Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar*. 2000. 247f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2000.

SICOLIN, A.; BALLESTERO, S.D. *Uso agrícola de cinza proveniente da queima de biomassa na geração de energia*. 2002. 25f. Trabalho de conclusão de Curso (Especialização)- Departamento de Ciências Agrárias, Universidade de Taubaté, 2002.

TAGUCHI, G. Quality Engineering (Taguchi Methods) for the development of electronic circuit technology. *IEE Transactions on Reliability*, v. 44, n. 2, p. 225-229, 1985.

VAN RAIJ, B. et al. Recomendação de adubação e colagem para o estado de São Paulo. *Boletim Técnico 100*: Instituto Agrônomo de Campinas. p. 9-13, 1996.

VIEIRA, L.S.; VIEIRA, M.N.F. *Manual de morfologia e classificação dos solos*. 2.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1983. 309p.

Eliseu Lins de Medeiros

Prof. Dr. Departamento de Agronomia da Universidade de Taubaté

Estrada municipal Dr. José Luís Cembraneli, 5000- Itaim -Taubaté- SP

CEP: 12081-010

e-mail: eliseumedeiros@directnet.com.br

TRAMITAÇÃO

Artigo recebido em: 24/10/2004

Aceito para publicação em: 06/02/2006