ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS OGANICOS NO SOLO E CRITÉRIOS PARA O USO DE RESIDUOS ORGANICOS EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Aureliano Nogueira da Costa
Adelaide de Fátima Santana da Costa
Luiz Carlos Santos Caetano

INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos naturais advindos do crescimento e desenvolvimento da população resulta na geração de resíduos, que exigem soluções inteligentes para minimizar o impacto na disposição no solo.

A ampliação dos serviços de tratamento de esgotos urbanos oriundos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), contribuem de forma crescente para a geração de lodo de esgoto. Esse resíduo sólido é proveniente de processos biológicos do tratamento, onde parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana.

O lodo é composto principalmente de sólidos oriundos do processo de decomposição microbiológica razão pelo qual é também denominada de biossólido. O conhecimento das características químicas, físicas e biológicas são fundamentais para auxiliar no processo de tomada de decisão quanto à sua disposição como, por exemplo, uso na agricultura, e não uma utilização improdutiva como a destinação em aterros sanitários ou incineração.

Os estudos com o uso do lodo de ETE vem indicando o seu potencial como fonte alternativa de nutrientes para a fertilização das culturas, uma vez que os fertilizantes químicos são fontes finitas, não se enquadram nas premissas da produção orgânica de alimentos e são componentes significativos na composição dos custos de produção.
Com base nesses princípios os estudos sobre sua aplicação no solo, como fonte de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, e como fonte de matéria orgânica, tem mostrado efeitos benéficos ao crescimento e desenvolvimento das culturas.

A avaliação da aptidão agrícola e florestal bem como a avaliação das características, químicas, físicas e biológicas do solo devem ser realizadas considerando-se as restrições ambientais e pedológicas além das indicações das culturas a serem empregadas.

ASPECTOS TECNICOS DA DISPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO NO SOLO

A disposição do lodo de esgoto é considerada benéfica quando leva-se em consideração suas propriedades química, física e biológica , que serão aproveitadas como fertilizante e condicionador do solo envolvendo práticas de reciclagem agrícola, recuperação de áreas degradadas, substrato para a produção de mudas entre outras.

Processo de Higienização

A higienização do lodo é a primeira etapa no processo de tratamento. Utiliza-se a combinação do binomio pH e temperatura, em que a adição da cal virgem no lodo inicia-se a reação exotérmica com elevação da temperatura acima de 72ºC além da elveção do pH acima de 12. A combinação desses dois fatores promovem a higienização. A utilização desse processo é aceitável pela resolução CONAMA 375 de 2006.

O processo mais utilizado para higienização do lodo é a adição de cal virgem em quantidades que variam de 20 a 50% de seu peso seco. O processo é realizado pela combinação dos fatores temperatura e potencial hidrogeniônico (pH). A adição de cal virgem no lodo de ETE eleva a temperatura acima de 70ºC por um período de 24horas que, aliado ao efeito da elevação do pH, acima de 12, promove a higienização do lodo, deixando-o em condições de uso agrícola e florestal. A Tabela 1 apresenta os resultados de medição do pH a partir de 24 horas após a aplicação de diferentes quantidades de cal virgem.

CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A composição do solo envolve diversas caracteristicas que necessitam de estudos para o eficiente uso de lodo como fonte de matéria organica. A distrribuição percentual de areia silte e argila são influenciadas pelo processo de formação do solo e, invariavelmente apresentam diferentes resposta à adição de fontes de matéria organica por influenciar, diretamente, o processo de mineralização.

Estrutura do Solo

A estrutura do solo é o resultado da agregação entre partículas minerais e orgânicas, formando unidades maiores de solo denominados agregados. Este processo é altamente dependente das propriedades físicas e químicas da matéria orgânica (MO) e da atividade biológica, o que resulta na organização natural da matéria sólida constitutiva dos horizontes componentes do perfil de solo. De modo geral, os solos que apresentam maior quantidade de MO possuem uma melhor

estruturação.

TABELA 1 – Comportamento do pH do lodo de esgoto em função da aplicação de diferentes quantidades de cal virgem por um período de 72 horas

% de cal virgem	Tempo após a aplicação do tratamento		
(base seca)	24 horas	48 horas	72 horas
0	4,9	4,8	4,7
5	8,4	8,2	8,1
10	10,4	9,5	9,4
15	12,1	12,1	12,1
20	12,2	12,2	12,1
25	12,3	12,3	12,2
30	12,3	12,3	12,2
35	12,3	12,3	12,3
40	12,3	12,3	12,3
45	12,3	12,4	12,3
50	12,3	12,3	12,3

Porosidade e Retenção de Água no Solo

Os espaços porosos existentes entre os agregados do solo são classificados em função do tamanho, como macroporos (porosidade de aeração) e como microporos (porosidade de retenção de umidade). A água contida nos macroporos drena livremente, pela ação da força da gravidade, o que reduz a sua disponibilidade para absorção pelos vegetais. Por outro lado, a água contida nos microporos é considerada disponível para as plantas e outros organismos vivos, devido à ação das forças capilares que retêm a água nos microporos evitando que a mesma seja drenada pela força da gravidade, o que a deslocaria para longe da área explorada pelo sistema radicular das plantas.

Água no Solo

A água no sistema solo contém substâncias orgânicas e minerais em formas que podem ser, ou não, absorvíveis pelas plantas. Por essa razão, a água do solo é denominada de solução do solo que é extremamente importante para a nutrição das plantas, pois é nela que ocorre o deslocamento de íons até a superfície das raízes, condição necessária para que ocorra a absorção de nutrientes pelos vegetais.

Densidade do Solo

Os solos apresentam dois tipos distintos de densidade: a densidade de partículas e a densidade do solo propriamente dita.

A densidade de partículas depende da composição química e da estrutura cristalográfica da partícula mineral, sendo calculada pela relação entre a massa e a unidade de volume dos sólidos do solo. A densidade do solo envolve a massa das partículas e o espaço poroso, sendo calculada pela relação entre a massa de solo seca pelo volume total do solo (sólidos mais espaços porosos).

Os solos com elevada proporção de espaços porosos em relação aos sólidos, apresentam densidades menores. Solos argilosos e siltosos possuem, via de regra, densidades menores do que solos arenosos. Para um mesmo tipo de solo quanto maior for o teor de matéria orgânica, menor será a sua densidade, ou seja, apresentará maior porosidade, fato este que favorece o desenvolvimento radicular e, consequentemente, a absorção de água e nutrientes pelas plantas. A densidade do solo é fortemente influenciada pelas práticas de manejo do solo. Assim, um manejo inadequado poderá levar à compactação do solo ocasionando redução da produtividade das culturas. Por outro lado, a utilização de práticas de manejo adequadas associadas à adição de matéria orgânica ao solo como, por exemplo, o lodo de ETE, poderá favorecer a produtividade.

Portanto, o uso de biossólidos deve ser avaliado pelo comportamento do solo quanto à erodibilidade, à drenagem interna e, também a impedimentos à motomecanização, fatores que interferem na aplicação e incorporação adequada do resíduo sólido.

Solos mais profundos, com alta capacidade de infiltração e percolação, de textura mais fina, boa drenagem e aeração, com pH inferior a 6,5 terá uma maior resposta à aplicação do lodo de esgoto tratado com cal virgem. O lodo compostado pode ser utilizado em solos com qualquer faixa de pH.

Matéria Orgânica do Solo

A fração orgânica do solo, embora ocorra em proporções relativamente pequenas (2 a 5% da fração sólida dos solos) na maioria dos solos, assume papel qualitativo importante nas propriedades físicas dos mesmos, agindo como condicionador do solo exercendo forte influência na porosidade, retenção de água, densidade, e nas propriedades químicas, sendo também, a principal fonte de energia para os microrganismos do solo. De maneira geral a matéria orgânica se destaca como boa fonte de fósforo e enxofre e, excelente fonte de nitrogênio (N) para os vegetais que não possuem a capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico.

A matéria orgânica apresenta grande capacidade de retenção de cátions devido às suas propriedades coloidais com a presença de cargas negativas em seus sítios de troca iônica. As superfícies de troca da fração sólida do solo (mineral ou orgânica) funcionam como reservatório de nutrientes para as plantas. Os cátions retidos pelas cargas negativas da superfície dos coloides

podem ser trocados por outros cátions que se encontram na solução do solo, os quais podem ser absorvidos pelas plantas. À medida que os cátions da solução são retirados das superfícies de troca por absorção pelas plantas ou por lixiviação, estabelece-se um novo equilíbrio, através da liberação de íons da superfície de adsorção para a solução. Da mesma forma, quando os nutrientes são adicionados ao solo, como, por exemplo, pela adição de fertilizantes, parte é absorvida pelas plantas e parte fica armazenada como reserva nos sítios de troca.

A resposta das plantas à adição de nutrientes depende das condições do clima, da umidade do solo, das características físicas e químicas do solo e do tipo de práticas agrícolas adotadas. A matéria orgânica se destaca pela sua capacidade tampão no solo, o que evita as bruscas variações na disponibilidade dos nutrientes, sendo responsável por mais de 50% do valor da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo.

Altos teores de MO, valores acima de 25 $g.dm^{-3}$ (>2,5%) indicam que o solo possui alta capacidade de retenção de cátions; maior poder tampão à variação do pH, maior resistência a insolubilização de micronutrientes devido à aplicação de elevadas doses de calcário; altos teores de nitrogênio, maior disponibilidade de nutrientes e menor fixação do fósforo aplicado; elevada capacidade de formação de complexos com metais presentes na solução do solo, que normalmente são tóxicos às plantas quando em quantidades excessivas (Al, Mn e Fe). Valores entre 15 e 25 $g.dm^{-3}$ (1,5 a 2,5%) são considerados intermediários. Por outro lado, baixos teores de MO, valores inferiores a 15 $g.dm^{-3}$ (<1,5%) são frequentes em solos que apresentam baixas CTCtotal e CTCefetiva, que possibilitam elevada lixiviação de bases (Ca, Mg e K), baixo poder tampão, fato este que eleva o risco de efeitos tóxicos de adubos com alto poder salino, elevando a probabilidade de ocorrência de deficiência de macro e micronutrientes que possuem como principal fonte, a mineralização da matéria orgânica.

Relação Carbono/Nitrogênio

A decomposição da matéria orgânica, no solo, é um processo relativamente lento, dependente da relação Carbono/Nitrogênio (relação C/N) do material em decomposição que deve estar próxima de 20. Relação C/N **<** 20 promove elevada mineralização do nitrogênio orgânico, com alta temperatura na decomposição podendo causar lixiviação do nitrogênio, enquanto em relação C/N **>** 20 ocorre a sequestro ou imobilização de N do solo pelos microorganismos resultando na deficiência de N no solo e baixa disponibilidade para a planta. Assim sendo, a disposição de lodo de esgoto nos solos irá promover, além do aumento dos teores de matéria orgânica, a elevação da CTC e o aumento da atividade biológica do solo.

FONTE DE MACRO E MICRONUTRIENTESNO LODO DE ETE

Os nutrientes encontrados em maior quantidade no lodo de esgoto são o nitrogênio, elemento de maior valor econômico no lodo de esgoto e de grande exigência pelas plantas, e o fósforo. O cálcio e o magnésio são encontrados em menor quantidade no lodo bruto, porém quando a higienização é feita por adição de cal virgem o nível de cálcio se eleva. O potássio está presente em quantidades pequenas.

A velocidade de mineralização do N orgânico é variável, principalmente, em função da temperatura, umidade no solo e atividade microbiana. A fração de volatilização do N amoniacal também é variável, principalmente em função da exposição ao ar. Essas perdas podem ser minimizadas com a incorporação do biossólido ao solo, onde grande parte da amônia que volatiliza será retida pelas partículas do solo e convertidas a nitrato, permanecendo o N disponível para as plantas.

Com o objetivo de avaliar a influência da aplicação de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), higienizado com cal virgem, como fonte de Nitrogênio, nas características químicas do solo, em área de plantio de Café arábica, instalada no Centro Regional de Desenvolvimento Rural Centro Serrano, base física do INCAPER, utilizou-se quantidades crescentes de lodo de esgoto com 0,7% N e 48% de umidade (22,4; 44,6; 66,7; 89,2; 111,3 e 133, 5 t /ha), que correspondem, respectivamente, a 82, 162, 242, 322, 402 e 482 kg/ha de N. Essas quantidades foram divididas em três aplicações de 4 em 4 meses. Foi realizada a adubação complementar com cloreto de potássio (283 kg/ha) e superfosfato simples (126 kg/ha) em todos os tratamentos aplicados experimentalmente. As amostras de solo para análises foram coletadas na profundidade de 0 - 20 cm e de 20 - 40 cm.

Observou-se que houve uma tendência de aumento dos teores de nutrientes, em praticamente todos os tratamentos, para as variáveis avaliadas, com uma relação direta e crescente em função do aumento da dose de lodo, com exceção do Alumínio que apresenta uma relação inversa. A aplicação do lodo de ETE higienizado com cal virgem foi responsável pela elevação do pH e CTC do solo e pelo aumento do teor de cálcio. Houve uma resposta significativa para a disponibilidade de micronutrientes, tais como boro, cobre, Manganês e Zinco. A aplicação dos tratamentos com maiores quantidades de lodo higienizado com cal virgem proporcionou uma redução progressiva nos teores de alumínio do solo, até valores próximos de zero.

O estudo realizado com base nos critérios para identificação das áreas aptas para a disposição de lodo de ETE na agricultura, no estado do Espírito Santo, identificou que a maior expressividade em áreas com alta aptidão para o uso do lodo de esgoto está nas microrregiões Extremo Norte (84,34%), seguida pela microrregião Litoral Norte (68,22%) e pela microrregião Noroeste-2

(61,12%). Nessas microrregiões com um maior potencial de áreas com alta aptidão para disposição do lodo de esgoto, o relevo varia de plano a suave ondulado, predomina solos de baixa fertilidade, pobres em matéria orgânica e acentuada coesão do subsolo.

As demais microrregiões apresentaram um percentual inferior a 60%, chegando a atingir 15,51% na microrregião Caparaó. A região do Caparaó, apresenta o mais baixo percentual de áreas com alta aptidão para a disposição do lodo de esgoto do Estado, entretanto, apresentam também solos com baixo teor de matéria orgânica e deficiências nutricionais.

Com base nessas constatações pode-se afirmar que o lodo de esgoto, em cultivos agrícola e florestal, contribuirá para a melhoria do manejo cultural nas propriedades agrícolas de base familiar, principalmente para as que estão inseridas em microrregiões com alto potencial de uso, sendo uma fonte de matéria orgânica e nutrientes alternativa, segura e de baixo custo.

DINÂMICA DA DECOMPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO E PRODUÇÃO DE CO_2

Nos trabalhos desenvolvidos no Espírito Santo, no “Projeto Lodo”, para a avaliação do potencial de utilização do lodo de esgoto na agricultura foram avaliados os efeitos de doses de lodo aplicadas e a sua relação com a produção de CO2 e com a eficiência do processo de decomposição. Para isso foi desenvolvido um equipamento de respirometria baseado na medição da condutividade para a leitura e quantificação do volume de CO2 produzido.

A dinâmica da decomposição do carbono orgânico adicionado ao solo, via matéria orgânica, também foi avaliada, relacionando a produção total da CO2 com o carbono total adicionado, em que foi verificada uma relação direta entre a quantidade de lodo aplicado no solo e a emissão de CO2. Foram verificadas três fases distintas, a inicial, que apresenta leve decaimento, as intermediárias, que apresentam decaimento acentuado, e a final, de saturação da solução de NaOH, que apresenta também leve decaimento.

USO DE RESIDUOS ORGANICOS EM SISTEMAS PRODUTIVOS

Atendendo às exigências da resolução CONAMA nº 375 de agosto de 2006, quanto à proibição da utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, tem sido realizadas, no Estado do Espírito Santo, pesquisas que possibilitam a aplicação do biossólido em diferentes culturas, seguindo-se critérios técnicos seguros que permitam sua aplicação em condições adequadas quanto à preservação do meio ambiente e da saúde da população.

Os resultados que subsidiaram as recomendações foram obtidos em experimentos conduzidos,

em nível de campo, utilizando-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com nove tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de esterco de boi ou esterco proveniente de cama de frango, com doses crescentes de lodo de esgoto higienizado com cal virgem e uma parcela com adubação química convencional. Utilizou-se também um tratamento sem aplicação de Nitrogênio (N).

As quantidades aplicadas nas parcelas experimentais, para cada cultura, foram variáveis em função dos resultados das análises dos teores de N e da umidade dos materiais utilizados como fonte de nutrientes.

Os experimentos foram realizados em bases físicas do INCAPER, localizadas em três regiões representativas do Espírito Santo, levando-se em consideração, além das condições de solo, as aptidões de cultivo e a adaptação às condições climáticas de cada uma delas.

Em função das características desse resíduo orgânico, a recomendação do lodo de ETE como fertilizante se baseia, principalmente, nas exigências de nitrogênio pelas culturas, utilizando-o como substituição da adubação nitrogenada.

A seguir é apresentada a indicação de uso do lodo de ETE como fertilizante, para fins agrícola e florestal para cada cultura avaliada. Nos trabalhos desenvolvidos com as diferentes culturas foram utilizadas adubações químicas tradicionais, conforme as exigências nutricionais de fósforo e potássio.

Uso de resíduo orgânico no mamoeiro

O mamoeiro, cultura comercial de grande expressão no Estado do Espírito Santo, é cultivado, tradicionalmente, em solos conhecidos como tabuleiros costeiros, de superfície arenosa, com baixos teores de matéria orgânica e pobres em nutrientes, com subsolo argiloso e adensado, sendo fundamental importância a adição de matéria orgânica para a promoção de altas produtividades. Por essa razão, o primeiro estudo de viabilidade técnica do uso de lodo de esgoto realizado em campo, foi com a cultura do mamoeiro, onde as unidades experimentais foram implantadas seguindo os princípios utilizados para o cultivo comercial na região produtora do estado do Espírito Santo.

O cálculo para a utilização do esterco de boi foi realizado com base na aplicação de 54g de nitrogênio por planta. Para adubação química utilizou-se um formulado comercial que contém uma proporção de N semelhante a do Tratamento1. As doses de N equivalentes para cada tratamento com o uso do lodo de ETE higienizado com cal virgem, para a cultura do mamoeiro no Estado do Espírito Santo são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 - Composição dos tratamentos com o uso do lodo no cultivo do mamoeiro

Trat.	Nitrogênio	Esterco	Lodo com cal	Químico
	g	----------kg cova $^{-1}$----------		
1	54	5	–	–
2	54	–	23	–
3	80	–	34	–
4	108	–	45	–
5	135	–	57	–
6	160	–	68	–
7	187	–	80	–
8	54	–	–	0,25
9	0	–	–	–

O efeito do lodo de esgoto no pH do solo e o teor de nitrogênio disponível no lodo de esgoto é fundamental para sua recomendação na agricultura. Deste modo, a base de cálculo para a avaliação da necessidade de aplicação de lodo, em toneladas por hectare, na cultura do mamoeiro foi a quantidade de nitrogênio recomendada, expressa em kg ha^{-1}, e o teor de nitrogênio disponível no lodo. A quantidade de lodo de esgoto a ser aplicada é expressa em t ha^{-1} (T/ha), de acordo com a Equação 1.

$$T/ha = N_{recomendado}\ (kg\ ha^{-1}) / N_{disponível}\ (kg\ t^{-1}) \quad (1)$$

A determinação da quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura do mamoeiro seguiu as recomendações técnicas para cada cultura, estabelecidas no Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo, publicado pelo INCAPER. A quantidade de nitrogênio no lodo de esgoto, que estará disponível às plantas, pode ser estimada através da Equação 2.

$$N_{disponível} = 0{,}01FM\ (N_K - N_{am}) + (N_{nitra} = N_{nitri}) \quad (2)$$

onde:

$N_{disponível}$ - nitrogênio do lodo que permanecerá no solo, disponível às plantas, no primeiro ano após a aplicação.
FM - % do nitrogênio total do lodo que será mineralizado no solo (estimativa realizada pelo método proposto por Beauchamp et al. (1986).
N_k - teor nitrogênio do lodo, determinado pelo método de Kjeldahl.
N_{am} - teor de nitrogênio amoniacal no lodo de esgoto.
N_{nitra} - teor de nitrogênio, na forma de nitrato, contido no lodo de esgoto.
N_{nitri} - teor de nitrogênio, na forma de nitrito, contido no lodo de esgoto.

A velocidade de mineralização do nitrogênio orgânico é variável, principalmente, em função da temperatura, umidade no solo e atividade microbiana. A fração de volatilização do N amoniacal

também é variável, principalmente em função da exposição ao ar. Essas perdas podem ser minimizadas com a incorporação do biossólido ao solo, onde grande parte da amônia que volatiliza será retida pelas partículas do solo. O lodo de esgoto aplicado nas parcelas experimentais foi incorporado ao solo, por ocasião do preparo das covas de plantio, visando otimizar a disponibilidade e o aproveitamento pelas plantas.

As análises do lodo higienizado com cal, quando comparadas com o lodo bruto, mostraram que a adição de cal virgem promoveu o aumento do teor de Cálcio, como também uma redução nos teores de Nitrogênio(N) e Fósforo(P), ocasionado pelo aumento de volume, devido à diluição ocorrida. A redução do N pode ainda ser atribuída à sua perda por volatilização ocasionada pela elevação da temperatura promovida pela adição de cal virgem.

O efeito do uso do lodo higienizado com cal tem um diferencial em razão da alteração do pH, da saturação de bases (V) e do teor de Al trocável. Nas condições experimentais houve uma elevação do pH para 12,2 valor esse que limita a atividade microbiana. Com a elevação do pH, há uma limitação da atividade microbiana e o processo de mineralização da matéria orgânica torna-se mais lento, contribuindo, desse modo, para a manutenção da matéria orgânica no solo por maior tempo quando comparada com o tratamento que utilizou o esterco bovino como a adubação orgânica.

Houve um aumento da produção do mamoeiro em função das doses crescentes de lodo higienizado com cal virgem, conforme pode ser observado na Figura 1.

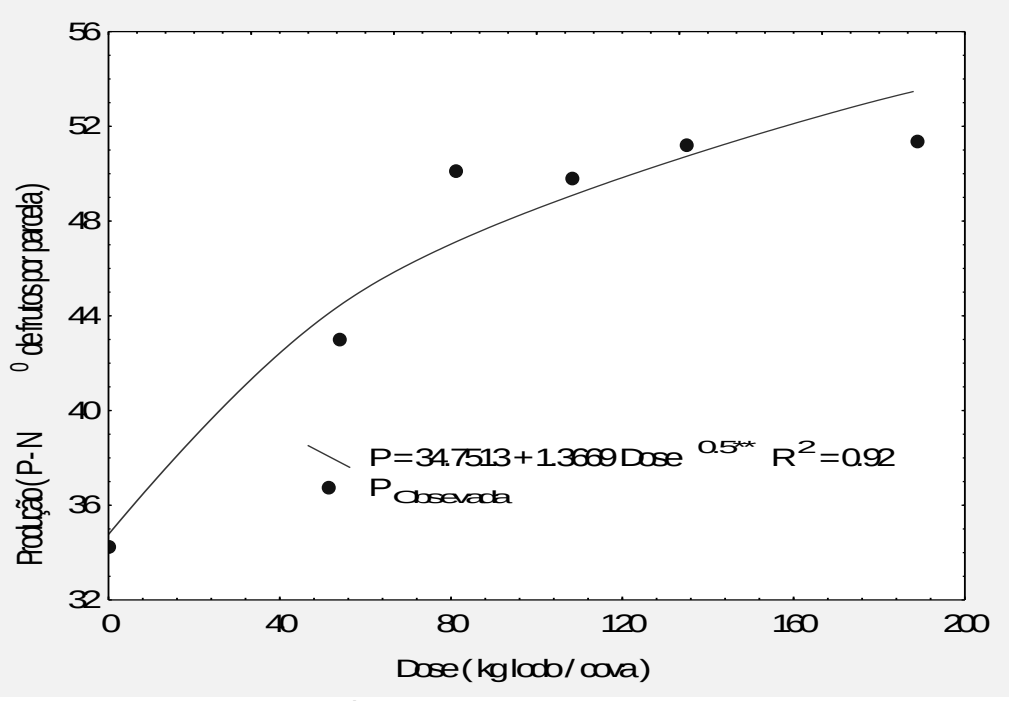


FIGURA 1 - Representação gráfica do modelo de regressão para a produção do mamoeiro em função da dose de lodo higienizado com cal virgem. ** significativo a 1% de probabilidade.

O modelo de regressão quadrática foi o que melhor se ajustou para a estimativa da produção do mamoeiro em função da dose de lodo higienizado (Equação 3), com um coeficiente de determinação ajustado (R^2) de 0,92.

Produção = 34,7513 + 1,3669 $Dose^{0.5**}$ R^2 = 0,92 (3)
** significativo a 1% de probabilidade

O modelo observado para a produção, em função da dose de lodo de ETE, permite estimar as dosagens do lodo de esgoto para sua disposição final na cultura do mamoeiro.
Mesmo com a elevação do pH para valores acima de 7,0, o que pode ocasionar a lixiviação dos micronutrientes, além de limitar o desenvolvimento da planta pelo desequilíbrio entre os nutrientes no solo, para as condições experimentais, houve uma resposta crescente de produtividade em função do aumento das doses de lodo. Esse fato pode ser atribuído, provavelmente, ao efeito da cal virgem no deslocamento do Al trocável, que, na análise inicial do solo para definição das dosagens de matéria orgânica a serem utilizadas nas parcelas experimentais foi constatado problemas com a presença do Alumínio.

Nove meses após o plantio, com a aplicação do lodo o pH se aproximou do valor anterior à aplicação do lodo, permanecendo a partir daí em torno de 5,5.

Os procedimentos experimentais utilizados para as culturas apresentadas a seguir foram os mesmos princípios utilizados para o cultivo do mamoeiro. As adequações das recomendações foram em função da fonte e umidade do lodo de esgoto utilizado, das características do solo e das exigências de nutrientes de cada cultura.

Uso de resíduo orgânico na bananeira

A pesquisa experimental foi conduzida no período de 2009 a 2011, com o cultivo da bananeira, avaliando-se cultivar Japira. Avaliou-se o desenvolvimento vegetativo e a produção ao longo de duas colheitas. As doses de lodo foram fracionadas, sendo aplicado um terço na cova, antecedendo o plantio e as outras duas doses parceladas a cada quatro meses após o plantio.

Para o desenvolvimento inicial das plantas o lodo de esgoto teve uma influencia positiva na altura da planta, com um crescimento 10% maior que o equivalente químico e 15% maior que o esterco de cama de frango. O diâmetro médio das plantas, aos três meses de idade, no tratamento com 80 kg de lodo de esgoto/ha (equivalente a aplicação de 480 kg de N/ha) foi de 9,13cm, e quando submetido ao tratamento com o do esterco de cama de galinha e ao sulfato de amônia, foi de 7,58cm e 7,92cm, respectivamente, porém, mesmo apresentando os maiores valores absolutos, não houve diferença estatística das quantidades de 60 kg de lodo de esgoto/ha (equivalente a aplicação de 360 kg de N/ha) e 40 kg de lodo de esgoto/ha (equivalente a aplicação

de 240 kg de N/ha). Por ocasião da avaliação da produção observou-se que a quantidade de 40t de lodo de esgoto/ha (equivalente a aplicação de 240 kg de N/ha) proporcionou uma maior resposta quanto à produtividade, com melhor resposta também quando comparada com a a adubação química equivalente.

Uso de resíduo orgânico no Café Conilon

No experimento com a cultura do cafeeiro Conilon, em condições de campo, foram utilizadas, entre os anos de 2009 e 2011, diferentes quantidades de lodo de esgoto higienizado. Nas parcelas experimentais foi utilizado como plantas úteis o clone 02, pertencente a variedade clonal 'Emcapa 8114 – Robustão Capixaba', variedade indicada para as condições climáticas do norte do Espírito Santo e outros clones da mesma variedade como bordadura para garantia da polinização eficiente entre plantas úteis. Foram feitas três aplicações do lodo de ETE, sendo a primeira antes do plantio e duas, em cobertura, quatro e oito meses após o plantio. Durante o experimento foram feitas análises do desenvolvimento vegetativo além da avaliação de uma colheita. A cultura se desenvolveu plenamente com a aplicação de lodo de esgoto, tendo melhores resultados com a aplicação de 7,2 kg por planta. Essa aplicação correspondeu a 20 gramas de N por planta. Após esse período recomenda-se que sejam feitas as adubações respeitando-se a estimativa de produtividade da área de acordo com o Manual de recomendação de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo.

Uso de resíduo orgânico no Café arábica

O experimento foi conduzido em área de plantio de café arábica, com a cultivar IAPAR 59, com 9 anos de idade. Os tratamentos foram constituídos por 36,8 t/ha de esterco bovino, com 1,2 % N e 51% de umidade; 932,90 kg/ha de ureia para adubação mineral, apresentando 33% N, um tratamento sem adição de adubo nitrogenado e doses crescentes de lodo de esgoto, com 0,7 % N e 48% de umidade: 22,4; 44,6; 66,7; 89,2; 111,3 e 133,5 t /ha , que correspondem a 82, 162, 242, 322, 402 e 482 kg/ha de nitrogênio (N). Essas doses foram divididas em três aplicações de 4 em 4meses.

Os resultados obtidos indicam uma tendência de aumento, em praticamente todos os tratamentos para as variáveis avaliadas, com uma relação direta e crescente em função do aumento da dose de lodo, com exceção do Alumínio que apresenta uma relação inversa.

O café arábica respondeu de maneira positiva ao aumento da quantidade de lodo aplicada, alcançando as maiores produtividades nos tratamento que foram submetidos às maiores quantidades de lodo. Portanto, a quantidade de lodo de esgoto que proporcionou a melhor resposta foi a de 482 kg de N/ha de nitrogênio ou seja, 133,5 t/ha de lodo de esgoto higienizado.

Uso de resíduo orgânico no Eucalipto

Em experimentos conduzidos com a cultura do Eucalipto, por três anos consecutivos (2009 a 2011), avaliou o uso do lodo de ETE como fertilizante. A aplicação foi feita na cova, com aproximadamente uma semana de antecedência ao plantio, e duas aplicações em cobertura aos quatro e oito meses após o plantio. Foram feitas análises do desenvolvimento vegetativo, medindo a altura da planta e diâmetro do caule, bem como a percentagem de replantio na implantação do ensaio. Os resultados da avaliação do desenvolvimento vegetativo até três anos de cultivo mostram uma resposta positiva à aplicação do lodo de ETE. Nas condições experimentais as maiores respostas foram observadas com a aplicação de 8 kg de lodo de esgoto higienizado por planta ou aproximadamente 9 toneladas/ha. Essa aplicação correspondeu a 25 gramas de N por planta.

Uso de resíduo orgânico na Seringueira

Em um experimento com o clone de seringueira FX 3864 avaliou-se o desenvolvimento vegetativo inicial por meio da medição da altura de plantas e diâmetro do caule ao longo de três anos consecutivos (2009 a 2011). As aplicações de lodo de ETE higienizado foram feitas em quantidades crescentes, variando entre 0 a 21,6kg do biossólido por cova. A quantidade de 7,2 kg parcelada em 3 aplicações, um na cova de plantio e duas em cobertura) proporcionou as melhores respostas para o desenvolvimento no campo, durante o período avaliado. Essa aplicação correspondeu a 20 gramas de N por planta.

Uso de resíduo orgânico na Palmeira Real

Foi também conduzido um experimento, com aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto higienizado, para avaliação do desenvolvimento vegetativo da Palmeira Real. As avaliações foram realizadas ao longo de três anos consecutivos. Foram usadas quantidades crescentes variando entre 0 e 12 kg de lodo de ETE por planta (50% na cova e 50% em cobertura). Com os resultados alcançados após 28 meses do transplantio das mudas no campo, para para altura de plantas e diâmetro de tronco, observou-se que o tratamento com aplicação da quantidade de 2 kg de lodo de esgoto por planta (equivalente a aplicação de 5g de N/planta) promoveu uma melhor resposta entre as quantidades utilizadas e também em relação à adubação orgânica com esterco proveniente de cama de frango. Como ocorre uma decomposição mais lenta da matéria orgânica proveniente do lodo higienizado com cal virgem comparativamente ao material orgânico convencional, a disponibilidade de N permanece por um período mais prolongado. Esse fator aliado ao maior tempo necessário para que a cultura começasse a se desenvolver, devido às condições climáticas locais, propiciou um melhor aproveitamento dos nutrientes disponibilizados pelo biossólido, o que ocasionou um maior desenvolvimento das plantas, quando submetidas ao lodo de esgoto.

Uso de resíduo orgânico no Açaí

Foi conduzido um experimento, com aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto higienizado, para avaliação do desenvolvimento vegetativo do açaizeiro, no período de 2009 a 2011. As avaliações foram realizadas ao longo de três anos consecutivos. Foram usadas quantidades crescentes variando entre 0 e 12 kg de lodo de ETE por planta. O comportamento do açaizeiro, nas condições climáticas locais, foi semelhante ao da Palmeira Real, com um crescimento inicial lento, apresentando resultados similares ao experimento com a Palmeira real, entretanto a quantidade de lodo de esgoto que promoveu a melhor resposta quanto a altura de plantas e diâmetro de tronco aos 28 meses após o transplantio em nível de campo foi o tratamento com aplicação da quantidade de 6 kg de lodo de esgoto por planta (50% na cova e 50% em cobertura), o que equivale a aplicação de 15g de N/planta).

Uso de resíduo orgânico no Milho

Vários trabalhos de pesquisa tem sido realizados com o objetivo de avaliar o efeito de lodo de esgoto higienizado no desenvolvimento e produtividade da cultura do milho. Os resultados, de maneira geral, tem mostrado um efeito positivo da aplicação do lodo de esgoto no desenvolvimento vegetativo, com aumento da produção de matéria seca e da produtividade. Esse efeito foi também observado em Unidades de Referência implantadas com a cultura do milho, na Fazenda Experimental de Sooretama, pertencente ao INCAPER, onde utilizou-se 30 e 50t/ha, no plantio. A produção de grãos e massa seca de milho aumentou com a adição de lodo de esgoto, mostrando que a cultura respondeu favoravelmente às doses crescentes de lodo de esgoto com aumentos de produtividade.

Uso de resíduo orgânico no cultivo da Goiaba

Avaliou-se por dois anos consecutivos (2008 e 2009) o uso do lodo de ETE como fertilizante em quantidade variando de 10 a 60 t/ha na cultura da goiabeira 'Paluma'. Os resultados mostraram que o material orgânico apresentou efeito positivo sobre a produtividade da cultura. A aplicação de 30 t/ha (equivalente a aplicação de 227 kg de N/ha) foi o melhor tratamento, em ambos os ano, com produtividade média de frutos de 20 t/ha, equivalendo às adubações com esterco bovino na dose de 7,9 t/ha e a adubação química com 150 kg de N/ha/ano. O número de frutos produzidos foi influenciado na mesma proporção. No primeiro ano de aplicação do lodo na cultura da goiabeira, a Acidez Titulável Total (ATT) dos frutos foi reduzida com os tratamentos com lodo de ETE e o ^{o}Brix e o Ratio (^{o}Brix/ATT) se elevaram.

Uso de resíduo orgânico no cultivo do Abacaxi

Avaliou-se, nos anos de 2008 e 2009, o desenvolvimento vegetativo e a produtividade da cultura do abacaxizeiro, cultivar Vitória, submetidas à aplicação do lodo de ETE por ocasião do plantio e em cobertura, em quantidades variando de 19,2 a 57,6 t/ha. O peso médio de frutos atingiu o valor

máximo quando se procedeu à aplicação de 44 t de lodo de ETE/ha, equivalente a aplicação de 560 kg de N/ha. O uso do lodo de ETE como fertilizante na cultura do abacaxizeiro proporcionou resultado comparável à adubação com esterco bovino na dose de 30,6 t/ha e a adubação química, com nitrogênio, na dose de 320 kg /ha.

Uso de resíduo orgânico no cultivo da Cana de açúcar

No período de 2008 a 2010, foram conduzidos dois experimentos com cana de açúcar 'RB 867515', cana planta e primeira soca. Em razão das boas condições de fertilidade do solo da área experimental as doses de lodo variando de 6,4 a 19,2 t/ha foram semelhantes aos tratamentos com adubação química nitrogenada (80 kg de N/ha) e adubação com esterco bovino (7,7 t/ha) quanto a produção de colmos e às características tecnológicas ^{o}Brix, Pol, Pureza, Fibra, Açúcar teórico recuperável (ATR), em kg/t e em kg/ha. Os resultados mostraram que o lodo de ETE tem potencial para uso na cultura da cana de açúcar. Em trabalho realizado no estado de São Paulo avaliando-se a altura de plantas, com aplicação do lodo de esgoto higienizado, como fonte de matéria orgânica e nutrientes, obteve-se ganho de produtividade de biomassa de colmos da soqueira, com proporcional aumento da produtividade em açúcar por área.

Outros instituições do Estado têm iniciado estudos de viabilidade técnica da utilização de lodo de ETE na agricultura, como a Universidade Federal do Espírito Santo, que têm priorizado a avaliação da aplicação do lodo como componente de substratos para produção de mudas de espécies florestais, como a *Tectona grandis, Toona ciliata (*cedro-australiano*), Ateleia glazioveana, Tecoma stans, Murraya paniculata, Mimosa setosa,* encontrando resultados positivos para indicação com essa finalidade quando comparado com outros substratos utilizados comercialmente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem dos aspectos químicos e físicos da disposição do lodo de ETE na agricultura reafirma a importância do conhecimento técnico científico e sua interdisciplinaridade, em razão da alta complexidade e interação dos fatores envolvidos no processo que vão desde a geração do lodo, higienização com cal virgem, preparo do solo, formas e quantidades de aplicação, mineralização da matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes e resposta a aplicação de lodo em cultivos agrícolas.

A utilização do lodo de ETE, como fonte alternativa de matéria orgânica e nutrientes, se traduz na inovação tecnológica da disposição do lodo de ETE, dentro de critérios técnicos que, de forma segura, auxiliam no processo de tomada de decisão para o uso de um insumo agrícola de alto potencial, com indicações favoráveis na melhoria das características físicas e químicas do solo, atendendo às exigências legais para a preservação do meio ambiente.