



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**EFEITO DO LODO DE ESGOTO E DE PLANTAS DE COBERTURA NA
RECUPERAÇÃO DE UMA ÁREA DEGRADADA EM BRASÍLIA-DF**

DAIANA NARA SANTOS DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

FEVEREIRO DE 2015



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**EFEITO DO LODO DE ESGOTO E DE PLANTAS DE COBERTURA NA
RECUPERAÇÃO DE UMA ÁREA DEGRADADA EM BRASÍLIA-DF**

DAIANA NARA SANTOS DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: EIYTI KATO
CO-ORIENTADORA: MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 90/2015

BRASÍLIA/DF
FEVEREIRO DE 2015

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**EFEITO DO LODO DE ESGOTO E DE PLANTAS DE COBERTURA NA
RECUPERAÇÃO DE UMA ÁREA DEGRADADA EM BRASÍLIA-DF**

DAIANA NARA SANTOS DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

Eiyti Kato
Professor Doutor, Universidade de Brasília – UnB
Orientador / email: kato@unb.br

Cícero Célio de Figueiredo
Professor Doutor, Universidade de Brasília – UnB
email: cicerocf@unb.br

Arminda Moreira de Carvalho
Pesquisadora Doutora, Embrapa Cerrados, DF
Examinadora/email: Arminda.carvalho@embrapa.br

BRASÍLIA/DF
FEVEREIRO DE 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, Daiana Nara Santos de. Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF /orientação de Eiyti Kato, Co-orientadora Maria Lucrecia Gerosa Ramos. – Brasília, 2015, 61 p. : il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2015.

I. Biossólido 2. Área degradada 3. Recuperação

I. Kato, E. II. Dr^o.

III. RAMOS. M, L, G. III. Dr^a

CDD ou CDU
Agris / FAO

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, D.N.S. Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2015, 61 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daiana Nara Santos de Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF

GRAU: Mestre ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

Nome: Daiana Nara Santos de Oliveira

CPF: 036.795.135-50

Endereço: *Campus* Universitário Darcy Ribeiro – Colina, Bloco K, ap 204

Tel.(61) 96448173

Email: dnaraso@gmail.com

“Antes, como ministros de Deus, tornando-nos recomendáveis em tudo; na muita paciência, nas aflições, nas necessidades, nas angústias, Como contristados, mas sempre alegres; como pobres, mas enriquecendo a muitos; como nada tendo, e possuindo tudo”

2 Coríntios 6:4-10

A Deus, por me guardar sempre em Seu coração, e pela certeza de que nunca me deixará só e pelas graças e vitórias alcançadas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus acima de tudo.

Ao professor orientador Eiyti Kato, pela paciência, confiança e orientação.

A professora Maria Lucrecia Gerosa Ramos pela Co-orientação, pelos ensinamentos, pela paciência e o voto de confiança, pelo incentivo, pelas cobranças, por toda dedicação prestada na realização deste trabalho.

À banca examinadora, por ter aceitado o convite da defesa do mestrado.

À Universidade de Brasília pela oportunidade.

Ao Comando do Exército/Comando da 11ª Região Militar, por ter cedido a área de estudo.

À CAESB na pessoa da Leiliane Saraiva Oliveira, responsável pelo tratamento da área com lodo de esgoto.

Ao Walter Quadros Ribeiro Junior, pesquisador da Embrapa Cerrados, por todo apoio dado a esse trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Bioquímica do solo, por toda contribuição prestada.

Ao Manuel Pereira de Oliveira Júnior do laboratório de Geoprocessamento do solo pela ajuda e incentivo.

Aos membros da banca examinadora (Dr. Cícero Célio de Figueiredo e Dr^a Arminda Moreira de Carvalho) pela disponibilidade e pela contribuição ao trabalho.

À minha família por todo incentivo e apoio, minha base de tudo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA.....	14
3.1 Recuperação de Áreas Degradadas.....	14
3.2 Lodo de Esgoto.....	16
3.3 Nutrientes Essenciais para as Plantas.....	18
3.4 Legislação para uso do lodo de esgoto.....	20
3.5 Plantas de cobertura.....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 ÁREA EXPERIMENTAL.....	25
4.1.1 Localização e Caracterização da Área	25
4.1.2 Descrição dos tratamentos.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6 CONCLUSÕES.....	43
BIBLIOGRAFIA.....	44
ANEXOS.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração máxima permitida de substâncias inorgânicas em lodo de esgoto ou produtos derivados.....	21
Tabela 2. Concentração de agentes patogênicos em classes de lodo de esgoto ou produtos derivados.....	22
Tabela 3. Parâmetros de Qualidade do Lodo de Esgoto Produzido na CAESB (base seca, 15% de umidade).....	22
Tabela 4. Atributos físicos do solo em área tratada com lodo de esgoto. Distrito Federal.	26
Tabela 5. Dados das análises bacteriológicas parasitárias do projeto RFFSA.....	28
Tabela 6. Densidade do solo (g cm^{-3}) da área nativa de cerrado e na área tratada com lodo de esgoto. Distrito Federal.	30
Tabela 7. Carbono orgânico do solo (g kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.....	32
Tabela 8. Estoque de carbono no solo (Mg C ha^{-1}) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, na camada de 0-40 cm.....	34
Tabela 9. Atributos químicos do solo da área nativa de cerrado, área degradada sem lodo e de áreas tratadas com lodo de esgoto. Distrito Federal.....	35
Tabela 10. Nitrogênio total do solo (g kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.	37
Tabela 11. Teores de nitrato no solo (mg kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.	38
Tabela 12. Teores de amônio no solo (mg kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.....	39
Tabela 13. Nitrogênio disponível no solo (mg kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.....	39
Tabela 14. Porcentagem do Nitrogênio disponível no solo (mg kg^{-1} solo) em relação ao Nitrogênio Total do solo (g kg^{-1} solo), área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.....	40
Tabela 15 Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.	41

Tabela 16. Respiração basal do solo ($\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

42

RESUMO

Várias técnicas têm sido utilizadas com o objetivo de recuperar solos degradados. Como fonte alternativa para a adubação orgânica, o lodo de esgoto tem-se revelado como um importante insumo agrícola, de interesse na recuperação de solos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília–DF. A área degradada em questão trata-se de parcela de domínio da União Federal, sob a responsabilidade administrativa do Comando do Exército/Comando da 11ª Região Militar. Em uma área de aproximadamente de 100 ha foi feita a aplicação de lodo de esgoto no período de 24/10/2012 a 12/01/2013. A área do talhão 11 correspondente aos tratamentos: 1. lodo+feijão-guandu (*Cajanus cajan*); 2. lodo+crotalária (*Crotalaria spectabilis*); 3. área degradada sem lodo e 4. área degradada com lodo são de 2,5 ha e foram utilizadas para as avaliações do presente projeto, 5. a área de cerrado nativo é adjacente a essas áreas e foi utilizada como área de referência. Com uma taxa de aplicação 629 toneladas/ha. O lodo foi aplicado no solo in natura e a incorporação solo mais lodo foi feita com arado, até a uma profundidade de 0-30 cm, em seguida foi aplicado cal virgem em toda a área, para o controle de helmintos. Foram plantados 220 kg de sementes de feijão-guandu (*Cajanus cajan*), 160 kg de crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e 4 kg de minerão (*Stylosanthes guianenses var. vulgaris*). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com seis repetições em cada profundidade e em cada repetição, foram feitas cinco amostras simples formando uma composta. Foram realizadas análises físicas (textura, densidade de partículas, densidade do solo); avaliações químicas (análise da fertilidade de solo, teor de C e N, N disponível, nitrato e amônio do solo) e avaliações microbiológicas (carbono da biomassa microbiana e respiração basal) do solo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em parcelas subdividas com cinco tratamentos nas parcelas, quatro profundidades nas subparcelas e seis repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. O uso de plantas de cobertura associada ao lodo de esgoto na recuperação da área degradada foi eficiente em incrementar a fertilidade do solo. A planta de cobertura Guandú associada ao lodo de esgoto se destacou em todos os atributos analisados. O lodo de esgoto pode ser aplicado ao solo associado às plantas de cobertura como manejo de recuperação de áreas degradadas com benefício aos atributos físicos, químicos e biológicos.

Palavras-chave: Biossólido, densidade do solo, carbono orgânico.

ABSTRACT

Various techniques have been used with the aim of restoring degraded soils. As an alternative source for organic manure, sewage sludge has been shown to be an important agricultural input, standard for soil remediation. The objective of this study was to evaluate the effect of the application of sewage sludge and cover plants in the recovery of a degraded area in Brasilia. The degraded area is part of the domain of the Federal Government under the administrative responsibility of the Army Command / Command of the 11th Military Region. In an area of approximately 100 ha the application of sewage sludge was made during the period of 10/24/2012 to 12/01/2013. The area of the field corresponding to four treatments: 1. sludge + pigeon pea (*Cajanus cajan*); 2. sludge + crotalaria (*Crotalaria spectabilis*); 3. degraded area without sludge and 4. degraded area with sludge 5. native cerrado area adjacent to these areas was used as the reference area. With an application rate of 629 tons / ha. The sludge was applied to the soil in nature and more sludge soil mix was made with the plow, to a depth of 0-30 cm, then quicklime was applied over the whole area, for controlling helminths. They were planted 220 kg of pigeon pea seeds (*Cajanus cajan*), 160 kg of (*Crotalaria spectabilis*) and 4 kg of mining (*Stylosanthes Guyanese* var. *Vulgaris*). Soil samples were collected from the depths: 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm, with six replicates at each depth and each repetition, were made five simple samples to form a composite. Physical analysis (texture, particle density, bulk density); chemical tests (analysis of soil fertility, C and N content, available N, nitrate and soil ammonium) and microbiological analyzes (microbial biomass carbon and soil basal respiration). The experimental design was six completely randomized in subplots with five treatments in the plots, four depths in the subplots. Data were subjected to analysis of variance and the means were compared by Tukey test at 5% probability. The use of cover crops associated with sewage sludge in the recovery of degraded area was effective in increasing soil fertility. Guandu cover plants associated with sewage sludge excelled in all attributes. The tested sludge can be applied to the soil associated with cover crops as a recovery management of degraded areas to benefit from physical, chemical and biological attributes.

Key Words: Sewage sludge, soil bulk density, organic carbon.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Bezerra et al. (2006) o surgimento de áreas degradadas ou em fases de degradação no Brasil tem aumentado consideravelmente ao longo dos anos, ocasionando inúmeros prejuízos ao meio ambiente. Os mais importantes processos de degradação do solo são a erosão hídrica, eólica, química e física enquanto que as mais importantes causas de degradação são o superpastejo, o desmatamento, as atividades agrícolas e a superutilização.

Outras formas de degradação são a mineração e a retirada de solo de uma determinada área para diversos usos na construção civil, e estas áreas são denominadas de áreas de empréstimo (NOFFS et al., 2011). As áreas de empréstimo constituem-se em um ecossistema degradado, pois foram eliminados, juntamente com a vegetação e o solo, os seus meios de regeneração bióticos como o banco de sementes, banco de plântulas, sementes e rebrota. Estas áreas apresentam baixa resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento.

O reflexo da degradação do solo é notado principalmente com a diminuição da produtividade vegetal em vários estágios, sendo que, quanto maior o grau de degradação, menor é a velocidade de regeneração do sistema (GUARIGUATA E OSTERTAG, 2001), de modo que, dependendo das circunstâncias, medidas de recuperação são necessárias para acelerar o processo. Na natureza, o solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio, apresenta-se como um sistema complexo de substâncias cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua por agentes biológicos, químicos e físicos (MIELNICZUK, 1999).

Atualmente, a busca por resíduos que minimizem os custos quanto às aplicações agronômicas é alta. Procura-se dar utilidade a compostos orgânicos que não teriam finalidade alguma e que poderiam ser utilizados na recuperação de áreas degradadas. O lodo gerado no tratamento de esgoto é uma alternativa, pois é bastante recomendado por proporcionar benefícios as áreas agrícolas e, representar uma solução de ordem social, pela disposição final menos impactante do resíduo no ambiente.

Como fonte alternativa para a adubação orgânica, o lodo de esgoto tem-se revelado como um importante insumo agrícola, de interesse na recomposição de solos degradados, bem como na fertilização das culturas, de preferência aquelas que não são de consumo direto pelos seres humanos. O uso agrícola do lodo de esgoto como adubo orgânico é considerado atualmente como a alternativa mais promissora de disposição final desse resíduo, principalmente na recuperação de áreas degradadas (CAMPOS E ALVES, 2008).

O cultivo agrícola com a utilização de lodo de esgoto como fonte de nutrientes resulta em uma nova sistemática de reposição da matéria orgânica e de nutrientes ao solo. A aplicação de lodo poderá suprir as necessidades da planta e proporcionar melhor condicionamento do solo (BOHM et al., 2014). Considerado como resíduo do tratamento do esgoto, atualmente denominado biossólido, é um produto que se acumula nos pátios das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), podendo constituir mais uma ameaça ao ambiente, caso não sejam encontradas alternativas viáveis do ponto de vista social, econômico e ambiental para sua utilização.

Nesse contexto, como alternativa aos problemas de perda de produtividade e de degradação do solo, o uso de plantas de cobertura fixadoras de nitrogênio acelera o processo de sucessão ecológica e condiciona a longo prazo o estabelecimento e a auto sustentação da área.

As leguminosas possuem sistema radicular bastante desenvolvido e algumas espécies são capazes de crescer em solos rasos, rompendo camadas adensadas. Além disso, o uso de leguminosas de rápido crescimento em condições adequadas de substrato oferece condições favoráveis para rendimento de propágulos.

Estas espécies são capazes não só de se estabelecerem, como também produzirem uma grande quantidade de biomassa de baixa relação C: N (MACEDO et al., 2006), contribuindo para o incremento de matéria orgânica e nitrogênio no solo (BODDEY et al., 2006). Isto porque em áreas com baixa capacidade produtiva ou mesmo de subsolo exposto, o crescimento satisfatório das plantas só é possível com a adição de grandes quantidades de composto orgânico ou adição frequente de adubos nitrogenados (RESENDE et al., 2006)

A estratégia para a recuperação de áreas degradadas e a combinação com a utilização de lodo de esgoto com o uso de leguminosas fixadoras de nitrogênio atmosférico e que este é um elemento chave no estabelecimento da comunidade vegetal nos trópicos, e que a fixação biológica é a principal via natural de entrada deste elemento no sistema. Além disso, estudos mostram que o incremento dos níveis de matéria orgânica do solo está intimamente associado à disponibilidade de nitrogênio (CHRISTOPHER E LAL, 2007).

Várias técnicas têm sido utilizadas com o objetivo de recuperar solos degradados, a maioria delas associando práticas mecânicas, que visam romper camadas compactadas, com a adição de matéria orgânica. Várias fontes de matéria orgânica também têm sido utilizadas. Como fonte alternativa, o lodo de esgoto vem de maneira crescente, revelando-se como uma alternativa na recuperação de solos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da aplicação do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília–DF.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar as propriedades químicas do solo após a aplicação do lodo de esgoto associado a plantas de cobertura;

Avaliar os atributos biológicos do solo após a aplicação do lodo de esgoto associado a plantas de cobertura;

Avaliar a adição do lodo de esgoto associado a plantas de cobertura como método de recuperação do solo.

Quantificar os estoques de carbono orgânico do solo nos diferentes sistemas de manejo.

3 REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

3.1 Recuperação de Áreas Degradadas

O procedimento para a recuperação de áreas degradadas é lento e está relacionado à capacidade de restabelecimento do solo, principalmente em relação às suas propriedades físicas. Para promover melhorias nas características físicas de solos degradados, especialmente os de textura arenosa, o uso de materiais orgânicos é extremamente importante, pois um dos principais efeitos da matéria orgânica (MO) sobre os atributos físicos do solo está associado ao grau de agregação que, conseqüentemente, altera a densidade, a porosidade, a aeração e a capacidade de retenção e infiltração de água (BARBOSA et al., 2002).

De acordo com Kitamura et al. (2008); Campos e Alves (2008) em um planejamento de recuperação de área degradada, o grande desafio a ser alcançado é o estabelecimento de um horizonte A, para que, a partir daí, o processo seja catalisado pela biota do solo, podendo surgir outros horizontes, conforme o condicionamento natural. Desse modo, interfere-se em um ou mais fatores de formação do solo, numa tentativa de acelerar sua gênese. Portanto, em trabalho de recuperação, a primeira atividade compreende a identificação e caracterização dos processos de degradação atuantes e a análise de suas conseqüências ambientais. Para isso, é necessário o uso de indicadores que traduzam quantitativa ou qualitativamente o grau da degradação existente e, ainda, permitam estimar a dimensão dos esforços técnicos e econômicos que deverão ser alocados na recuperação. Assim, na recuperação de áreas degradadas, a definição e o uso de indicadores de avaliação e monitoramento de ecossistemas naturais têm sido muito discutidos.

Segundo Bezerra et al. (2006), a recuperação de áreas degradadas consiste em utilizar técnicas, com o objetivo de restaurar as condições próximas àquelas existentes anteriormente, no entanto, a curto, médio ou longo prazo, os fatores naturais da gênese de um solo impõem a condição de equilíbrio do sistema, determinando o grau de estabilidade do processo de recuperação.

A recuperação de áreas degradadas, porém é um processo lento e difícil, sendo necessária a escolha de plantas com boa capacidade de crescimento e desenvolvimento nesses ambientes degradados, bem como o uso de práticas de manejo do solo que favoreçam sua recuperação (ALVES et al., 2007).

Conforme Bezerra et al. (2006) e Alves et al. (2007), a presença de matéria orgânica melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminui sua densidade, aumenta a aeração, a capacidade de retenção de água e a capacidade de troca de cátions. A adição de

várias fontes de material orgânico tem sido utilizada com o objetivo de melhorar as propriedades do solo, desde as mais conhecidas e utilizadas como os esterco e a adubação verde até resíduos orgânicos e o lodo de esgoto menos utilizados por falta ainda de estudos que viabilizem sua utilização.

Para a adubação verde foram estudados principalmente as leguminosas e nesta linha Nascimento et al. (2004), mencionaram que em solo degradado, as leguminosas contribuíram para a diminuição da acidez do solo, elevando o pH no perfil e os teores de K e Mg.

Uma das alternativas para o destino de resíduos orgânicos pode ser sua incorporação ao solo, que, funcionam como meio depurador, poderia elevar a produtividade de culturas agrícolas por meio da melhoria da fertilidade, com maior ou menor intensidade, dependendo das características do resíduo adicionado. O resíduo orgânico poderia ser muito importante na recuperação de áreas degradadas com reflorestamento, cujos produtos não são utilizados na alimentação humana (MODESTO et al., 2009).

De acordo com Bettiol et al. (2000), o lodo de esgoto é um resíduo advindo das estações de tratamento. Esse material é bastante rico em matéria orgânica e nutrientes que estão presentes devido ao consumo e atividade humana. O lodo de esgoto com as características adequadas à aplicação nos solos é denominado de biossólido. Os nutrientes presentes nesse material são reciclados e devolvidos ao solo na forma de adubo. Os elementos, nutrientes ou não, presentes neste material retornam ao solo de onde tem sua origem, fechando seus ciclos biológicos, retornando ao início da cadeia. Ainda é importante ressaltar que os elementos presentes no biossólido quase nunca retornam ao seu local original já que as populações geradoras desse esgoto se concentram em grandes centros urbanos.

O lodo de esgoto pode conter metais pesados, como Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Fe, Co, Mn, Mo, Hg, Sn e Zn, microrganismos patogênicos e compostos orgânicos tóxicos, representando, portanto, riscos diretos ou indiretos à saúde humana e animal quando utilizados na agricultura para produção de alimentos (SIMONETE et al., 2003; TAN, 2000). Apesar disso, além dos metais pesados, o lodo de esgoto contém altos teores de N e P, que são elementos essenciais na sobrevivência da biodiversidade do solo. A utilização de lodo de esgoto na agricultura traz o benefício da reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes, em especial o nitrogênio, pelo seu valor econômico (BOEIRA, 2006).

Como a área degradada se caracteriza por não fornecer condições de desenvolvimento e fixação da vegetação em função da falta de matéria orgânica, de nutrientes e da atividade biológica, a adição de lodo de esgoto apresenta uma série de vantagens que favorecem a recuperação e o reaparecimento de vegetação. Campos e Alves (2008) constataram que o lodo

de esgoto influenciou as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho degradado proporcionando aumento na quantidade de macroporos quando comparado ao solo exposto (sem tratamento para recuperação). Resultados semelhantes foram observados por Melo et al. (2004) que com a incorporação de 50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto proporcionou o aumento da macroporosidade na camada mais superficial do solo.

No Brasil, vários autores comprovam a eficácia da aplicação de lodo de esgoto nos solos (PIRES, 2003; SILVA et al., 2002; MELO et al., 2004; COLODRO, 2005). Dentre alguns dos benefícios estão: aumento da fertilidade e o aumento da atividade microbiana. Com relação às propriedades físicas, tem-se a redução da densidade, o aumento da porosidade e estabilidade dos agregados.

O uso do lodo de esgoto como adubo orgânico na recuperação de solos degradados é considerado hoje como a alternativa mais promissora de disposição final desse resíduo. Por ser rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas, é recomendada sua aplicação como condicionador e ou fertilizante dos solos, para destinação final desse resíduo, uma vez que ele pode substituir total ou parcialmente o uso de fertilizantes minerais, principalmente os nitrogenados (FRANCO-HERNANDEZ et al., 2003; Bettiol e Camargo, 2006).

3.2 Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto é um resíduo das estações de tratamento de águas residuárias (ETEs), seja ele domiciliar, industrial ou agroindustrial. Por muito tempo, os projetos de tratamento de esgotos foram elaborados e executados, sem que houvesse uma destinação precisa para o lodo excedente gerado nas unidades componentes de uma estação de tratamento. A crescente implantação de estações de tratamento de esgotos nos municípios brasileiros tem ampliado enormemente o volume de lodo gerado, causando grande preocupação com relação à sua disposição final (NASCIMENTO, 2005; LEMAINSKI; SILVA, 2006).

A importância para o Brasil do lodo gerado pelo tratamento de esgoto deve-se às suas possibilidades de uso na agricultura, silvicultura e na recuperação de áreas degradadas, entre outros destinos (Maio et al., 2011; Nascimento et al., 2011). No Brasil 57,1% da população recebe coleta de esgoto (Trata Brasil, 2013). Isso gera uma grande quantidade de resíduo nas estações de tratamento. Apenas no Distrito Federal, a produção atual de lodo de esgoto é de aproximadamente 400 Mg dia⁻¹ (Caesb, 2013).

Segundo Melo e Marques (2000), a composição média do esgoto aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,01%), sendo que do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos e gorduras) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais, etc.). Na fração orgânica podem-se encontrar carboidratos, proteínas e lipídeos que se constituem em fonte de carbono e de energia para os organismos heterotróficos, cujo metabolismo conduz à liberação de gás carbônico, fosfatos, nitratos e outros íons.

Segundo Polat et al. (2010) nos sistemas convencionais de tratamento, o esgoto passa por um decantador primário, seguido de tanque de aeração e decantador secundário, onde há geração de lodo primário, constituído por material de sedimentação altamente instável, e de lodo secundário, também denominado lodo ativado, que é instável e necessita passar por processos suplementares de estabilização, portanto, a maioria das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) faz uso de processos biológicos, cujos objetivos são coagular e remover colóides não sedimentáveis e degradar parcialmente ou estabilizar a matéria orgânica remanescente no esgoto após o tratamento que é transformado por meio do metabolismo celular.

Após o tratamento do esgoto, o lodo gerado, passa por processos de secagem, estabilização para eliminação e/ou inibição de odores, higienização e disposição final. O lodo deve ser condicionado, o que permite a redução mais eficaz do seu teor de água. Antes de sua destinação final, o lodo passa pela remoção de organismos patogênicos (higienização), operação esta necessária se seu destino for à reciclagem agrícola garantindo um nível de patogenicidade no lodo que, ao ser disposto no solo, não venha a causar riscos à saúde e impactos negativos ao meio ambiente (TSUTIYA, 2001; PINTO, 2001).

O uso agrícola de lodo de esgoto ou biossólidos cresceu, acentuadamente, em todo o mundo, particularmente em regiões áridas e semiáridas de países em desenvolvimento, como resposta à necessidade de aumentar a produção agrícola, principalmente de alimentos, sem aplicação de fertilizantes sintéticos. O efluente tratado, quando utilizado como biofertilizante, possui notadamente valorização econômica; além de benefícios ambientais, pois a prática de reuso remove parcial ou totalmente o teor de nutrientes contido nos efluentes como, principalmente nitrogênio e fósforo, antes do seu despejo nos corpos d'água, impedindo a eutrofização dos mananciais (POLAT et al., 2010).

De acordo com Barbosa e Tavares Filho (2006) quando tratado e processado, o lodo recebe o nome de biossólidos e adquire características que permitem sua utilização agrícola de maneira racional e ambientalmente segura e sendo rico em nitrogênio, fósforo e micronutrientes e alta concentração de matéria orgânica.

Por outro lado, o biossólido pode contribuir para a contaminação dos solos com metais pesados originários da atividade industrial, pois as estações de tratamento de esgotos podem receber água de infiltração, esgoto industrial e sanitário. Os metais pesados não apenas exercem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, mas também afetam os processos bioquímicos que ocorrem no solo. A decomposição do material orgânico adicionado ao solo, a mineralização e a nitrificação também podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados (TSUTIYA, 2001).

Embora os metais pesados, de modo geral, possam vir a ser tóxicos às plantas e aos animais em concentrações reduzidas que habitualmente aparecem nos esgotos domésticos, não há referências de problemas de toxidez aguda ou crônica na disposição dos mesmos, ao contrário dos esgotos industriais. Durante a permanência dos metais no solo podem prevalecer formas do elemento que se caracterizam por não serem totalmente disponíveis às plantas, considerando assim a sua capacidade de adsorção devido à formação de quelatos com a matéria orgânica (MARQUES et al. 2001; SILVA et al., 2001).

A aplicação do lodo de esgoto em terras agrícolas tem-se tornado cada vez mais atraente, pelos baixos custos e redução dos impactos ambientais relacionados com os demais métodos de disposição, pela presença de nutrientes e matéria orgânica no lodo e pela necessidade de redução de custos na agricultura (GALDOS et al., 2004).

Apesar das várias alternativas existentes para o descarte final do lodo de esgoto, a sua utilização na agricultura apresenta-se como a alternativa mais promissora, do ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que promove a reciclagem de nutrientes e a melhoria física e química no solo, além de ser uma solução de longo alcance para destinação final desse resíduo (GOMES et al., 2006; MARQUES et al., 2007; MARTINS et al., 2003; OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001; SILVA et al., 2005), podendo ser utilizado em grandes culturas, na silvicultura, na floricultura, nos projetos de paisagismo ou na recuperação de áreas degradadas.

3.3 Nutrientes Essenciais para as Plantas

A fertilização de solos com lodo de esgoto aumenta a reciclagem de nutrientes e promove melhorias físicas no solo, em virtude de ser uma importante fonte de matéria orgânica e, por conter elementos essenciais às plantas, podem complementar os fertilizantes minerais, reduzindo os custos de produção (BIONDI; NASCIMENTO, 2005; LEMAINSKI; SILVA, 2006; SILVA et al., 2002).

O conceito de devolver ao solo resíduo orgânico, N e nutrientes de planta que foram exportados para os centros urbanos com os produtos das colheitas constitui a base da aplicação de lodo de esgoto (LE) nos solos agrícolas. Alguns estudos têm mostrado que o LE traz benefícios agronômicos às culturas – relacionados ao aumento e, ou, manutenção dos níveis de fertilidade do solo – em função do fornecimento de nutrientes ou por meio de alterações em seus atributos químicos (SIMONETE et al., 2003).

De acordo com Simonete et al. (2003) e Galdos et al. (2004), são encontrados na literatura relatos discordantes quanto à capacidade do LE em fornecer nutrientes às plantas. Isso ocorre principalmente em razão das diferenças na natureza dos lodos estudados. Lodos estabilizados com cal atuam primeiramente elevando o pH do solo, e, em se tratando de solos com cargas dependentes de pH, que são muito comuns no Brasil, isso resulta em aumento da CTC.

Lodos de esgoto não estabilizados com cal, por sua vez, comportam-se de maneira diferente, podendo causar, inclusive, redução do pH devido à mineralização do resíduo orgânico e liberação de ácidos orgânicos. Efeitos da aplicação de LE nos solos sobre os teores de C orgânico também estão relacionados ao tipo de tratamento dispensado ao resíduo. Lodos ativados tendem a ser degradados pela biota do solo em curto espaço de tempo, ao contrário de lodos estabilizados em lagoas de decantação por longos períodos e que apresentam resíduo orgânico mais estável e de baixa degradabilidade, permanecendo por mais tempo nos solos (TSUTIYA, 2001).

O potássio é encontrado em baixas concentrações no lodo de esgoto, mas diferentemente do nitrogênio e do fósforo, a maior parte deste elemento se encontra na forma mineral, estando prontamente disponível para as plantas, no entanto, este tem sido o elemento de maior necessidade de suplementação com fertilizantes minerais, quando da utilização de lodo de esgoto para a adubação (NASCIMENTO et al., 2004).

As quantidades de magnésio e enxofre presentes no lodo são suficientes para suprir as necessidades da maioria das culturas, mesmo quando aplicado em pequenas doses. O lodo também apresenta em sua composição expressivas quantidades de micronutrientes como ferro, zinco e manganês, além de baixas quantidades de cobre, boro, molibdênio e cloro. Observa-se que doses de lodo suficientes para suprir as quantidades de nitrogênio para as culturas fornecem micronutrientes em quantidades adequadas para suprir a demanda da maioria das plantas (GOMES, 2004).

Segundo Oliveira et al. (2002), a aplicação de lodo de esgoto promove aumento nos teores de carbono orgânico e na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo. Nascimento et

al. (2004) observaram que aplicações de doses crescentes de lodo de esgoto aumentaram os teores de nitrogênio do solo.

Nos trabalhos desenvolvidos por Simonete et al. (2003); Galdos et al. (2004) foi observado aumento no pH do solo em função das doses de lodo aplicadas. Essas alterações nas características químicas do solo podem provocar impactos positivos e/ou negativos na produção das culturas. O aumento da CTC do solo provocado pela adição de lodo aumenta a capacidade do solo em reter e, conseqüentemente, fornecer elementos como Ca, Mg e K, essenciais ao desenvolvimento das culturas, que são absorvidos na forma de cátions. O aumento no teor de nitrogênio representa impacto positivo na produção das culturas, uma vez que este é o elemento exigido em maior quantidade, pela maior parte das culturas. Adicionalmente, este impacto torna-se ainda mais importante por não haver fonte mineral de nitrogênio no solo, sendo sua disponibilidade determinada, principalmente, pela decomposição da matéria orgânica.

Outro aspecto importante que deve ser avaliado na utilização agrícola do lodo é o aumento da condutividade elétrica, uma vez que aumentos na concentração de sais da solução do solo, decorrentes da adição de lodo, têm sido frequentemente observados (PIRES et al., 2002), principalmente quando da utilização de lodos calados (OLIVEIRA, 2002).

3.4 Legislação para uso do lodo de esgoto

A utilização do LE na agricultura é uma das alternativas de disposição final, e é considerada interessante por combinar disposição com reciclagem (BETTIOL E CAMARGO, 2000). Nos Estados Unidos, em 1998, aproximadamente 25% do lodo produzido foi disposto em solos agrícolas e florestais (TSUTIYA, 2001). Esse LE, tratado ou processado, que possuía características que permitiam sua reciclagem e uso agrícola de maneira ambientalmente segura.

Sob o ponto de vista ambiental, o uso agrícola do LE é a alternativa de menor impacto para a sua disposição final (TSUTIYA, 2001), proporcionando também economia de recursos naturais, diminuindo a necessidade de fertilização mineral. Alguns estados no Brasil têm desenvolvido critérios normativos da atividade. Foram definidos parâmetros: qualidade do lodo (teor de metais pesados, presença de organismos patogênicos e estabilidade do material), as culturas que podem ser produzidas nas áreas fertilizadas com lodo, as restrições ambientais e a aptidão dos solos para reciclagem do lodo.

A legislação atual referente à disposição de lodo de esgoto no estado de São Paulo (Norma P 4230, CETESB, 1999) estabelece limites quanto às quantidades de lodo que podem ser aplicadas no solo, baseando-se, principalmente, nos teores de metais pesados. Uma vez que a dose aplicada em áreas agrícolas é calculada de acordo com os teores de N no lodo com a necessidade deste elemento pela cultura, pode ocorrer um acúmulo de P e metais pesados no solo. A resolução CONAM 003/06 - disciplina o uso do lodo de esgoto no Distrito Federal.

No Brasil, a Resolução N° 375, de 29 de Agosto de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) disciplina a utilização agroflorestal do biossólido. Dentre outras medidas, a entidade estipula a criação de Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGL) que serão responsáveis pelo “recebimento, processamento, caracterização, transporte, destinação do lodo de esgoto produzido por uma ou mais estações de tratamento de esgoto sanitário e monitoramento dos efeitos ambientais, agrônômicos e sanitários de sua aplicação em área agrícola” (BRASIL, 2006). Os estados do Paraná e São Paulo possuem regulamentação específica para a aplicação do lodo ao solo. De maneira resumida, essas exigências estabelecem as concentrações máximas de substâncias inorgânicas e a presença de agentes patogênicos, que estão especificadas nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Concentração máxima permitida de substâncias inorgânicas em lodo de esgoto ou produtos derivados.

Substâncias inorgânicas	Concentração máxima permitida (mg kg ⁻¹ , base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Resolução CONAMA 375 de 2006.

Tabela 2. Concentração de agentes patogênicos em classes de lodo de esgoto ou produtos derivados.

Classe	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes < 103 NMP / g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST
	Salmonella: ausência em 10 g de ST
	Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes < 106 NMP / g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

Fonte: Resolução CONAMA 375 de 2006. ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável; UFF: Unidade Formadora de Foco; UFP: Unidade Formadora de Placa

Com relação às características químicas que o lodo de esgoto da CAESB apresenta, referentes a algumas ETE's do DF (Tabela 3) e de acordo com os valores dos parâmetros físico-químicos exigidos pela Resolução CONAMA 375 DE 2006, apenas o molibdênio está acima da concentração permitida. Pelo fato de Brasília possuir poucas indústrias, o lodo de esgoto produzido pela CAESB tem poucos problemas quanto a valores elevados de metais pesados (CORRÊIA, 2006).

Tabela 3. Parâmetros de Qualidade do Lodo de Esgoto Produzido na CAESB (base seca, 15% de umidade)

Parâmetros Químicos	Unidade	ETE Sul (Médias)	ETE Norte (Médias)	ETE Gama (Médias)	ETE Melchior (Médias)
Arsênio	mg kg ⁻¹	–	<0,1	–	–
Bário	mg kg ⁻¹	15,8	95	14,8	173,6
Cádmio	mg kg ⁻¹	1,8	1,6	1,3	1,6
Chumbo	mg kg ⁻¹	0,2	0	0,3	–
Cobre	mg kg ⁻¹	182,2	161,7	141,3	149,7
Cromo	mg kg ⁻¹	44,1	39,8	53,7	66,6
Mercúrio	mg kg ⁻¹	–	0,1	–	–
Molibdênio	mg kg ⁻¹	104,9	124,8	136,7	123,4
Níquel	mg kg ⁻¹	11,8	11,3	10,3	13,3
Selênio	mg kg ⁻¹	–	<0,1	–	–
Zinco	mg kg ⁻¹	496,7	577,7	275,3	453,2

Fonte: POE – Superintendência de Operação e Tratamentos de Esgotos

As características químicas do lodo de esgoto e sua composição variam em função do local de origem, proveniente de uma área tipicamente residencial ou industrial e da época do ano, dentre outros fatores (MELO E MARQUES, 2000).

Queiroz Júnior (2010) analisando os parâmetros químicos, encontrou teores de nutrientes dentro do padrão da Resolução 375 (CONAMA, 2006), inclusive em relação aos parâmetros de alguns metais pesados, dentre os nutrientes, o molibdênio, cujo valor encontrado foi $<0,07 \text{ mg dm}^{-3}$ abaixo dos limites estabelecidos. Já na análise realizada pela CAESB, o molibdênio foi superior ao determinado pela Resolução mencionada, confirmando a informação de Maia (2006) e Saito (2007) de que o Lodo de Esgoto possui composição variável, necessitando de monitoramento constante.

3.5 Plantas de cobertura

A maior parte dos nutrientes das plantas encontra-se nos resíduos vegetais exercendo função estrutural ou como substância de reserva. Parte destes nutrientes torna-se disponível para as plantas em um intervalo curto de tempo, contribuindo com a elevação da produtividade das culturas subsequentes (SOUZA e MELO, 2000).

A utilização de plantas de cobertura em sistemas de plantio é uma das alternativas para o manejo sustentável dos solos. A decomposição dos resíduos culturais destas plantas favorece a ciclagem de nutrientes, a agregação, o armazenamento da água, manutenção ou incremento dos teores de matéria orgânica do solo quando comparados aos monocultivos anuais, com isso promovem efeitos positivos na fertilidade do solo (BOER et al., 2007).

Segundo Ceretta et al. (1994), as leguminosas, pela capacidade de fixação do N_2 atmosférico em simbiose com *Rhizobium* e a baixa relação C/N, permitem rápida decomposição e liberação de nutrientes para a cultura em sucessão. Carvalho et al. (2004) observaram que no tratamento em que a cultura antecessora foi a crotalária, a produtividade do milho foi 18% superior ao tratamento em pousio, embora a massa seca de resíduos vegetais das espécies estudadas tenha sido semelhante (CARVALHO et al., 2004).

Os efeitos do manejo do solo sobre os seus atributos são decorrentes dos sistemas de culturas utilizados, do tempo de uso dos diferentes sistemas e das condições de umidade do solo em que as operações de campo são realizadas (COSTA et al., 2003).

Estudos como os de OLIVEIRA et al. (2004), TORRES et al. (2005), ESPÍNDOLA et al. (2006), BOER et al. (2007), GAMARODRIGUES et al. (2007) e TORRES et al. (2008) conduzidos em diferentes condições edafoclimáticas, têm demonstrado os efeitos benéficos proporcionados pelos diferentes tipos de cobertura vegetal e de seus resíduos deixados sobre o solo, nos seus atributos químicos, físicos e no rendimento das

culturas que posteriormente são cultivadas. Estas alterações são decorrentes da produção de massa seca, acúmulo e liberação de nutrientes após a decomposição dos resíduos.

De acordo com Malavolta (1979) os adubos verdes aumentam a matéria orgânica, devolvem às camadas superiores os elementos nutritivos que as raízes absorveram e foram translocadas para a parte aérea; melhoram a estrutura do solo e retém os nutrientes que seriam perdidos por lixiviação (arrastamento pelas águas da chuva).

A utilização de leguminosas como plantas de cobertura usadas em sistemas de manejo com incorporação ou em plantio direto pode suprir grandes quantidades de N para a cultura comercial sucessiva, principalmente pela fixação biológica de nitrogênio, resultando em aumentos significativos na sua produção. Além de fornecimento de N, a prática da adubação verde possui inúmeras outras vantagens (SOUSA e LOBATO, 2004).

Os autores supracitados apontam que a importância do uso de leguminosas em rotação com gramíneas, particularmente para garantir maior eficiência ao sistema de plantio direto que vem se expandindo na região do cerrado tanto como práticas conservacionistas quanto econômica.

Trabalhos de pesquisa como os de Moraes (2001), Torres et al. (2005), Kliemann et al. (2006), BOER et al. (2007), Torres et. al. (2008), Torres e Pereira (2008) foram conduzidos em condições de cerrado, com o objetivo de avaliar a produção de massa seca de plantas de cobertura, decomposição e ciclagem de nutrientes, apresentaram resultados bastante variáveis. Isto se deve, principalmente, aos estudos ocorrerem com semeadura e manejo das plantas em diferentes épocas, as condições climáticas serem diferentes de acordo com a região, as plantas de cobertura terem desenvolvimento diferenciado de acordo com o clima, solo e qualidade das sementes. As espécies utilizadas como cobertura do solo na Região do Cerrado devem apresentar rusticidade, crescimento inicial rápido e alta produção de biomassa na época da seca (CARVALHO E SODRÉ FILHO, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área degradada em estudo trata-se de parcela de domínio da União Federal, sob a responsabilidade administrativa do Comando do Exército/Comando da 11ª Região Militar. Em relação ao clima, a área está inserida no domínio morfoclimático do Cerrado, com clima tropical estacional (Aw), ou seja, com inverno seco e chuvas máximas de verão, conforme a classificação proposta por Köppen. Nesta região, a precipitação média anual oscila em torno de 1.400 mm e 1.600 mm, e a temperatura média anual do ar varia entre 22 °C e 27 °C (Adámoli et al., 1987).

3.6 ÁREA EXPERIMENTAL

3.6.1 Localização e Caracterização da Área

A área está contida na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá. Está localizada ao Norte da DF-087 (“Via Estrutural”) e a Oeste da DF-003 (“EPIA”), entre o Setor de Oficinas Norte e a Cidade do Automóvel, próxima à antiga Rodoferroviária de Brasília situada a 15°46'34.6"S 47°56'06.3"W. O solo é classificado como Latossolo Vermelho A moderado, textura argilosa. Historicamente, essa área foi objeto de retirada de uma camada de solo de aproximadamente dez metros de espessura para uso em diferentes obras civis no Distrito Federal. A área possui atualmente uma superfície degradada de cerca de 185 hectares, onde o solo se apresenta em sua grande parte sem vegetação, além de ser objeto de disposição irregular de entulho de construção civil, restos de podas e outros resíduos domésticos.

Nas áreas adjacentes há ocorrência de vegetação nativa do bioma Cerrado, em suas fitofisionomias denominadas Cerrado sentido restrito, Cerrado Denso e Cerradão, com árvores distribuídas aleatoriamente sobre o terreno em diferentes densidades, com ocorrência de diversas espécies arbóreas. Essas espécies funcionam como fontes de sementes que são potencialmente capazes de substituir as plantas adultas que desapareceram com a exploração de terra na área, auxiliando nos processos de regeneração das comunidades de espécies de plantas.

Atributos Físicos

Foram feitas três trincheiras na área e, de acordo com as características analisadas no campo e no laboratório, o solo sob cerrado nativo foi classificado como Latossolo Vermelho A moderado, ondulado, difuso, textura argilosa, estrutura granular grumosa; muito pequena forte, úmida e friável, o horizonte B é granular, muito pequena, úmida friável, estrutura forte, textura argilosa (Tabela 4). Às áreas degradadas encontram-se na rocha, com horizonte BCu, estrutura em blocos, dura e pequena, textura muito argilosa, classificado como Latossolo Vermelho (Tabela 4).

Tabela 4. Atributos físicos do solo da área nativa de cerrado e da área experimental. Distrito Federal.

Horizonte	Silte	Areia	Argila	Textura	Dp	silte/argila	U*
	g kg ⁻¹						
Perfil I - Latossolo Vermelho (Cerrado Nativo)							
A	316,36	140,04	543,6	argilosa	2,38	0,58	14,33
B	248	88,4	663,6	muito argilosa	2,35	0,37	15,23
Perfil II, III, IV E V - Latossolo Vermelho (áreas degradadas)							
BCu	207,18	25,62	767,2	muito argilosa	2,63	0,27	14,9

* Dp = densidade de partículas; U = umidade gravimétrica

A relação silte/argila apresentou variação regular em todos os perfis analisados; em geral aqueles que apresentaram valores menores indicaram maiores graus de intemperismo. Segundo Santos et al. (2006), valores inferiores a 0,6, em horizontes que apresentam textura argilosa, indicam elevado grau de intemperismo. Assim, na Tabela 4 são apresentados os dados obtidos nos diferentes perfis, da área de estudo e foi possível traçar um perfil de degradação dos solos, dos mais intemperizados, caracterizados pela menor relação silte/argila (Perfis II, III, IV E VI), para o cerrado nativo, com maior relação silte/argila (Perfil I).

Os solos dessa área desenvolveram-se sob litologias do Grupo Paranoá, representadas pelas unidades de ardósia - MNPPa (caracterizada por fácies ardósia, constituída de ardósias roxas e vermelhas, com bandas brancas) e metarritmito arenoso - MNPPr³ (metarritmitos arenosos, caracterizados por intercalações irregulares de quartzitos finos, brancos, laminados com camadas de metassiltitos, metalamitos e metassiltitos argilosos;) (FREITAS-SILVA E CAMPOS, 1998).

3.6.2 Descrição dos tratamentos

Em uma área de aproximadamente de 100 ha foi feita a aplicação de lodo de esgoto no período de 24/10/2012 a 12/01/2013. Na área correspondente ao talhão 11 foram estudados os seguintes tratamentos: 1. lodo+guandu (*Cajanus cajan*); 2. lodo+crotalária (*Crotalaria spectabilis*); 3. área degradada sem lodo e 4. área degradada com lodo, 5. a área de cerrado nativo é adjacente a essas áreas e foi utilizada como área de referência. Até o dia 04/04/2013 foi aplicado um total de 28.440 Mg de lodo, em uma área de 45,2 ha, cujos valores representam uma taxa de aplicação 629 Mg ha^{-1} . O lodo possui cerca de 13% a 15% de teor de sólidos, com cerca de 80 Mg ha^{-1} (base seca). O lodo foi aplicado no solo in natura e a incorporação do solo com lodo foi feita com arado, até a uma profundidade de 0-30 cm, em seguida foi aplicado cal virgem 900 kg ha^{-1} em toda a área, para o controle de helmintos. Foram plantados 220 kg de sementes de feijão-guandu (*Cajanus cajan*), 160 kg de crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e 4 kg de minerão (*Stylosanthes guianenses var. vulgaris*), para servirem de adubo verde, por serem boas fixadoras de nitrogênio no solo, e de cobertura vegetal, com o objetivo de impedir que plantas invasoras se estabeleçam na área.

Segundo a CAESB para facilitar a aplicação de lodo de esgoto nos talhões estabelecidos no âmbito do projeto, estes foram divididos em pequenos talhões trechos, separadas por estradas, cujas áreas foram medidas com o auxílio de GPS. Após a determinação de cada área, multiplicou-se o tamanho da área pela taxa de aplicação, sendo encontrado o volume de lodo de esgoto a ser aplicado em cada talhão. No processo de descarregamento do lodo, nos talhões de aplicação, foram realizadas marcações no campo com estacas de ferro, medindo aproximadamente 50 cm de altura, afixadas em locais pré-estabelecidos. O descarregamento foi realizado por ordem de chegada dos caminhões, que foram orientados por meio de marcações, seguindo a orientação de um apontador presente na área.

Após o descarregamento do lodo, foi realizado o espalhamento do lodo no solo com o auxílio de uma retroescavadeira. A distribuição do lodo na área foi feita de forma controlada cobrindo a superfície do solo de forma homogênea. A incorporação do lodo no solo, fase subsequente a distribuição, foi realizada com o auxílio de uma grade aradora e um arado de quatro discos, acoplados em trator 4x4. Após a incorporação do lodo foi realizada a caleação, distribuição da Cal hidratada no solo, com objetivo de inibir a ocorrência de vetores e minimizar o odor na área. A aplicação da Cal foi realizada por meio de uma espalhadeira, acoplada no trator 4x4. Após o processo de incorporação do lodo, decorridos

aproximadamente 10 dias, a área foi arada novamente, com o objetivo de uniformizar a aplicação do lodo no solo.

Para o acompanhamento da taxa de decaimento da quantidade de ovos de helmintos e coliformes termotolerantes, a Caesb iniciou o acompanhamento bacteriológico e parasitário em janeiro de 2013, com coleta do solo degradado para servir de testemunha e coleta de solo+lodo nas áreas já trabalhadas conforme Tabela 5.

Tabela 5. Dados das análises bacteriológicas parasitárias do projeto RFFSA

ANÁLISE BACTERIOLÓGICA E PARASITÁRIA				
PONTO DE COLETA	TIPO DE SOLO	DATA DA COLETA	COLIFORME TERMOTOLERANTE (NMP/g matéria seca)	Nº TOTAL DE OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS (ovos/g matéria seca)
Talhão 08 (Testemunha)	solo degradado	18/02/2013	<1,8	0
Talhão 11 (testemunha)	solo degradado	19/03/2013	<1,8	
Talhão 13 (testemunha)	solo degradado	19/03/2013	<1,8	
Talhão 08	solo degradado + lodo de esgoto	01/04/2013	1,46E+04	
Talhão 11	solo degradado + lodo de esgoto	21/01/2013	3,70E+03	0,4
Talhão 11	solo degradado + lodo de esgoto	25/02/2013		0,3
Talhão 11	solo degradado + lodo de esgoto	05/03/2013	1,10E+03	
Talhão 11	solo degradado + lodo de esgoto	01/04/2013	2,68E+00	
Talhão 13	solo degradado + lodo de esgoto	21/01/2013	5,92E+04	0,2868
Talhão 13	solo degradado + lodo de esgoto	25/02/2013		0,1
Talhão 13	solo degradado + lodo de esgoto	05/03/2013	2,30E+02	
Talhão 13	solo degradado + lodo de esgoto	01/04/2013	5,92E+00	

Fonte: CAESB, 2013

Foram coletadas amostras de solo nas profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, com seis repetições em cada profundidade e em cada repetição, foram feitas cinco amostras simples formando uma composta.

Foram abertas trincheiras para caracterização do solo e para retirada das amostras indeformadas. As análises foram realizadas no laboratório de bioquímica do solo da Faculdade de Agronomia e Veterinária (FAV), exceto a análise química do solo, sendo realizada na Embrapa Cerrados. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico. Todos os métodos foram realizados de acordo com Embrapa (1997). O estoque de carbono do solo foi determinado pelo método da massa equivalente, segundo Sisti et al. (2004).

Foram realizadas análises físicas (textura, densidade de partículas, densidade do solo); avaliações químicas (análise da fertilidade de solo, teor de C e N, N disponível, nitrato e amônio do solo) e avaliações microbiológicas (carbono da biomassa microbiana e respiração basal) do solo.

A determinação de nitrato e amônio no solo foi feita através de extração com cloreto de potássio, segundo a metodologia de Silva et al. (2010). O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl (BREMNER E MULVANEY, 1982). O nitrogênio disponível foi determinado no Laboratório de Biologia do Solo da Universidade de Brasília, pelo método de extração de N do solo com solução Na_3PO_4 /bórax - tampão pH 11,2 + NO_3^- proposto por Gianelo (1985). O carbono da biomassa microbiana foi determinado segundo Vance et al. (1987) e Brookes et al. (1985). A respiração do solo foi determinada pelo consumo de oxigênio ou pela emissão de CO_2 segundo Alef e Nannipieri (1995).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em parcelas subdividas com cinco tratamentos nas parcelas, quatro profundidades nas subparcelas e seis repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT 7.5 (Silva e Azevedo, 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Matias et al. (2009) verificaram que a Ds é um atributo adequado para indicar compactação do solo por constituir um índice que apresenta relação com outros que restringem o crescimento das raízes.

A densidade do solo das diferentes áreas diferiu significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os valores de Ds variaram de 0,7 a 1,89 g cm^{-3} , sendo os menores valores observados nos horizontes superficiais e em todos os perfis, foi observado aumento desse atributo em profundidade (Tabela 6).

A densidade do solo é uma das primeiras propriedades a ser alterada pelos diferentes usos do solo e pode fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação (SILVA, 2003).

Os maiores valores de Ds foram verificados nos horizontes subsuperficiais dos perfis da área degradada, sem adição de lodo, seguidos da área sob lodo+crotalária, o que pode ser explicado devido aos maiores teores de argila nesses horizontes, associados à pressão exercida, no processo de compactação do solo, devido a retirada de solo e a constante movimentação de máquinas que transportavam esse solo. Os menores valores de densidade do solo ocorreram nas profundidades subsuperficiais dos perfis do cerrado e da área de lodo+guandú. Barbosa et al. (2009) encontraram valores entre 0,65 e 1,03 g cm^{-3} , sendo os mais frequentes próximos a 1 g cm^{-3} .

Tabela 6. Densidade do solo (g cm^{-3}) da área nativa de cerrado e na área tratada com lodo de esgoto. Distrito Federal.

Manejo	Profundidades (cm)			
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Cerrado	0,73 cB	0,86 dA	0,86 dA	0,88 dA
Lodo+Crotalária	1,12 bB	1,257 bA	1,31 bA	1,28 bA
Lodo+Guandú	0,78 cC	0,93 cdB	1,05 cA	1,03 cA
Lodo	1,09 bA	1,01 cA	1,06 cA	1,03 cA
Área degradada sem lodo	1,61 aB	1,88 aA	1,85 aA	1,89aA
CV%-manejo =5,26	CV%-profundidade =5,50			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O valor de densidade do solo na camada de 0 a 10 nos tratamentos de lodo e guandú destacou-se e foi semelhante à densidade do solo da área sob cerrado nativo. Destaca-se a ação da planta de cobertura guandú na melhoria desse atributo, tendo em vista que seu sistema

radicular profundo pode promover a diminuição deste atributo físico do solo, através da descompactação do solo.

Os tratamentos com lodo de esgoto obtiveram valores menores de densidade em relação à área degradada sem nenhum tratamento. Boeira e Souza (2007) obtiveram redução da densidade do solo nas camadas superficiais do solo à medida que se aumentaram as doses de lodo de esgoto, resultado semelhante ao de Melo et al. (2004), em que a densidade do solo diminuiu quando foi utilizada a dose de 50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), na camada de 0,00-0,10 m.

A densidade do solo estudado, nas condições naturais, está de acordo com valores verificados por Campos et al. (2004). Os autores observaram que, após um ano de implantação do experimento, os valores que variaram de 1,56 a 1,59 kg dm⁻³, sendo a condição da testemunha (sem tratamentos para recuperação) igual a 1,77 kg dm⁻³. No presente experimento, os valores de densidade do solo com a aplicação de lodo de esgoto, poderia se considerar a condição de densidade do solo adequada para desenvolvimento das plantas. Observou-se, ainda, uma tendência na diminuição dos valores da Ds nos tratamentos que receberam lodo de esgoto. Os valores encontrados nos tratamentos com LE são considerados adequados para o desenvolvimento das plantas segundo Campos et al. (2004). O solo estudado, após um ano da aplicação do LE, vem mostrando o benefício da aplicação do LE na recuperação de atributos físicos do solo.

Kitamura et al. (2008), ao estudarem ações para acelerar a formação do horizonte de um Latossolo Vermelho degradado, via uso de adubos verdes, lodo de esgoto e cultivo de uma espécie arbórea nativa de Cerrado, verificaram que a densidade do solo foi a propriedade física mais sensível para detectar alterações na recuperação do solo.

Segundo Boeira e Souza (2007), a aplicação de compostos orgânicos frequentemente aumenta o conteúdo de C do solo. O incremento deste, geralmente, leva ao incremento da estabilidade de agregados, e da capacidade de retenção de água e, por outro lado, diminui a densidade do solo.

De acordo com a tabela 7, houve diferenças significativas entre os tratamentos e as profundidades estudadas, de modo que o sistema lodo + guandu foi o tratamento com as maiores médias, evidenciando o efeito da planta de cobertura, como eficiente no aumento dos teores do carbono. A maior parte do aumento de carbono orgânico verificado está, provavelmente, ligado à melhoria das condições de desenvolvimento das plantas, o que levou ao aumento do aporte de resíduos vegetais no solo, esses resultados evidenciam que parte do C adicionado via resíduo acumula-se no sistema e passa a ser degradado mais lentamente,

conforme observado por Pitombo (2011). Segundo Abreu Junior et al. (2001) a maior influência da matéria orgânica nas propriedades químicas do solo está na alteração do seu complexo coloidal, que se reflete, diretamente, na CTC e promove o aumento de cargas superficiais negativas e, conseqüentemente, a maior retenção de cátions.

Segundo Bueno et al. (2011) e Melo et al. (1994), o tempo de residência do carbono orgânico adicionado ao solo via lodo de esgoto é muito curto. Aumentos nos teores de carbono orgânico no solo, em razão da aplicação de lodo de esgoto, foram observados por Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2008), Galdos et al. (2004), Nascimento et al. (2004) e Bohm et al. (2014). Esses resultados evidenciam que parte do C adicionado via resíduo acumula-se no sistema e passa a ser degradado mais lentamente.

Ainda segundo Bohm et al. (2014) os maiores teores de COT indicam maior mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos do solo, o que proporciona maior incorporação de carbono orgânico.

Pode-se observar em todas as áreas degradadas o efeito do lodo de esgoto nas camadas superficiais, decrescendo em profundidade, observado também por Campos et al. (2011).

Segundo Chiba et al. (2008) a aplicação do LE aumentou significativamente os teores de N orgânico na camada de 0–20 cm de profundidade. O resíduo orgânico dos lodos de esgoto sujeito à intensa degradação aeróbia e anaeróbia nas estações de tratamento, de maneira geral, pode ser considerado relativamente recalcitrante em comparação a outros resíduos, como esterco de animais e adubos verdes (ANDRADE et al., 2005). Dessa maneira, a dinâmica dos nutrientes associados ao resíduo orgânico do LE estaria condicionada à qualidade desta.

Tabela 7. Carbono orgânico do solo (g kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

Manejo	Profundidades (cm)			
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Cerrado	28,41 bA	23,58 aB	22,67 aB	21,36 aB
Lodo+Crotalaria	20,18 cdA	17,92 bcAB	14,88 bB	15,65 bB
Lodo+Guandú	32,62 aA	20,18 abB	15,84 bC	15,84 bC
Lodo	22,36 cA	17,63 bcB	16,77 bB	16,88 bB
Área degradada sem lodo	16,71 dA	14,91 cA	15,33 bA	14,54 bA
CV%-manejo = 11,70	CV%-profundidade =11,67			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultado semelhante foi obtido por Barbosa et al. (2007) em relação à aplicação de lodo de esgoto ao solo, enquanto Antolin et al. (2005) verificaram que, um ano após a aplicação de lodo de esgoto, parcelas que receberam o resíduo apresentaram teor de carbono orgânico semelhante às aquelas não adubadas.

Esses resultados obtidos com o lodo de esgoto associado à planta de cobertura guandú confirmam que, em geral, a adição de compostos orgânicos ao solo aumenta seu conteúdo de C, o que foi também observado por Oliveira et al. (2002) e Boeira e Souza (2007) trabalhando com lodo de esgoto. Resultados semelhantes foram obtidos por Vieira et al. (2011), os quais verificaram que a aplicação de lodo anaeróbio da estação de tratamento do processo de parboilização do arroz resulta em maiores valores de COT. A digestão anaeróbia é um processo natural que ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos interage promovendo a fermentação estável e auto-regulada da matéria orgânica, da qual resultam, principalmente, os gases metano e dióxido de carbono (MORAES, 2005).

Resultados semelhantes foram observados por Bezerra et al. (2006) em área em recuperação pela aplicação de lodo de esgoto. A maior parte do aumento de carbono orgânico foi devido, provavelmente, à melhoria das condições de desenvolvimento das plantas, o que levou ao aumento do aporte de resíduos vegetais no solo. Os maiores teores de COT indicam maior mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos do solo, o que proporciona maior incorporação de carbono orgânico.

Segundo Boeira e Souza (2007) estima-se que toda a MO contida no lodo seja consumida na reação, indicando que o lodo, na grande maioria dos casos, não se constitui em fonte de matéria orgânica em si, nesse caso pode-se observar o efeito da planta de cobertura na melhoria desse atributo no solo. O resultado do equilíbrio no solo e na produção de biomassa que será incorporada ao solo, principalmente raízes, é que efetivamente promove o aumento da MO – portanto, via ciclagem de nutrientes, com melhoria nos atributos de qualidade do solo. Diante disso, a matéria orgânica do solo continua a aumentar com o passar dos anos, pois Alves e Souza (2008) verificaram que as técnicas adotadas para recuperação dos atributos do solo no primeiro ano atingiram a profundidade superficial e, somente após cinco anos, a profundidade de 0,00-0,20m.

Simonete et al. (2003), para solo com teores de areia, silte e argila de 400, 200 e 400 gr kg^{-1} , respectivamente, em casa de vegetação, e Trannin et al. (2008) em solo com teores de areia, silte e argila de 80, 279 e 650 g kg^{-1} , respectivamente, em ensaio de campo em Poços de Caldas, (MG) verificaram que a adição de lodo de esgoto em dose superior a 20 Mg ha^{-1}

aumentou o teor de matéria orgânica e a CTC efetiva. Segundo Arruda et al. (2013) o incremento de matéria orgânica no solo diminui a densidade do solo.

Os estoques totais de carbono orgânico no solo foram maiores na área de cerrado nativo, seguido do tratamento apenas com lodo de esgoto que não diferiu estatisticamente do tratamento lodo e guandú (Tabela 8). A causa direta da tendência do aumento no estoque de carbono pode ter sido o fato de o lodo ser um resíduo orgânico rico em carbono. O aumento dos estoques de carbono orgânico total nos tratamentos com lodo de esgoto e leguminosas está provavelmente associado ao maior aporte de resíduos vegetais retornados ao solo por essa cultura. Esses resultados corroboram com Boeira e Souza (2007) que encontraram de estoques de C na camada superficial utilizando-se o lodo de Franca-SP. Ainda de acordo com os autores a adição de compostos orgânicos ao solo aumenta seu conteúdo de C.

Tabela 8. Estoque de carbono no solo (Mg C ha^{-1}) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, na profundidade de 0-40cm.

Manejo	Estoque de carbono (Mg C ha^{-1})
Cerrado	79,86 a
Lodo+Crotalária	58,059 c
Lodo+Guandú	70,27 b
Lodo	63,19 bc
Área degradada sem lodo	45,93 d

CV% = 8.87

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Atributos químicos

Os Latossolos apresentaram redução do pH do solo, conforme o aumento de profundidade, enfatizando a eletropositividade nos Latossolos (CORRIGA E WEBER, 2008). Tal fato pode ser explicado pelo elevado grau de intemperismo, resultante da remoção de sílica e de bases trocáveis do perfil.

O tratamento em que o solo recebeu lodo de esgoto foi o que apresentou o maior teor de P (Tabela 9), principalmente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm; o mesmo foi observado por Galdos et al. (2004). A aplicação de lodo de esgoto atuou como uma adubação corretiva, elevando os teores baixos de fósforo até valores muito altos.

Tabela 9. Atributos químicos do solo da área nativa de cerrado, área degradada sem lodo e de áreas tratadas com lodo de esgoto. Distrito Federal.

Profund.	pH H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- mg dm ⁻³ -----					
		Ca	Mg	Cu	Al	H + Al	K	P	Mn	Fe	Zn
CERRADO NATIVO											
0 a 10	5,06	0,014	0,071	0,83	0,571	8,71	28,67	0,52	3,83	65,00	0,47
10 a 20	5,45	0,001	0,056	0,90	0,380	7,39	21,33	0,33	2,40	57,67	0,37
20 a 30	5,50	0,000	0,043	0,90	0,238	6,75	16,00	0,25	1,87	45,40	0,33
30 a 40	5,52	0,000	0,036	0,90	0,176	6,17	18,67	0,24	1,57	35,10	0,27
ÁREA DEGRADADA SEM LODO											
0 a 10	4,91	1,68	0,021	0,03	1,30	0,003	2,33	0,76	0,80	18,37	0,52
10 a 20	4,79	1,04	0,015	0,02	1,30	0,001	1,67	0,70	0,90	17,67	0,37
20 a 30	5,00	0,79	0,015	0,02	1,20	0,001	2,00	0,69	1,00	18,70	0,23
30 a 40	4,79	0,71	0,036	0,02	1,23	0,003	1,00	0,59	1,03	17,47	0,27
LODO +CROTALÁRIA											
0 a 10	5,10	6,52	1,294	0,27	6,90	0,031	37,33	499,01	4,70	86,00	16,33
10 a 20	5,08	3,41	0,791	0,20	3,57	0,013	23,33	103,68	2,53	27,77	6,43
20 a 30	5,21	1,60	0,505	0,15	1,73	0,004	22,00	7,53	1,63	21,57	2,87
30 a 40	5,31	0,95	0,350	0,13	1,40	0,006	14,00	9,71	1,07	18,80	1,07
LODO +GUANDÚ											
0 a 10	5,25	8,63	2,105	0,62	10,40	0,071	64,67	1494,20	6,83	82,00	12,33
10 a 20	5,19	3,20	1,206	0,43	4,67	0,004	35,33	335,30	3,63	77,67	5,23
20 a 30	5,25	2,07	0,672	0,29	2,43	0,005	24,67	22,76	1,57	57,67	3,60
30 a 40	5,36	1,33	0,681	0,28	2,03	0,001	19,00	2,26	1,30	23,90	1,99
LODO											
0 a 10	4,82	1,06	0,28	5,83	0,078	7,23	44,00	564,70	3,17	104,33	24,67
10 a 20	4,74	0,78	0,25	2,43	0,126	5,15	20,67	23,21	1,73	34,03	6,00
20 a 30	5,28	0,66	0,23	1,07	0,001	1,62	13,33	3,54	0,93	19,77	1,60
30 a 40	5,37	0,56	0,29	1,00	0,009	1,21	19,33	1,37	2,97	16,67	0,87

Houve incremento do pH do solo em todos os tratamentos com lodo de esgoto, porém Antolin et al. (2005) não constataram efeito após um da aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto no pH do solo, contudo os autores constataram que doses de 30 Mg ha⁻¹, distribuídas durante dois anos consecutivos, reduziram os valores dessa variável. Porém, Nascimento et al. (2004) avaliando as alterações químicas de dois solos adubados com lodo de esgoto verificaram que os valores de pH de ambos os solos apresentaram decréscimos lineares e significativos com o aumento da dose de lodo utilizada.

Barbosa et al. (2007) constataram que o efeito residual da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto promoveu aumento no pH do solo. Segundo Nascimento et al. (2004), o aumento do pH do solo devido à aplicação do lodo de esgoto observado em alguns

trabalhos, é resultado da alcalinidade dos materiais utilizados no processo de eliminação de patógenos e estabilização do lodo, como a cal virgem (CaO) e a cal hidratada (Ca(OH)²).

A melhoria da qualidade química do solo, em razão da aplicação de lodo de esgoto, foi também confirmada por Nascimento et al. (2004), Antolin et al. (2005) e Chueiri et al. (2007).

Gomes et al. (2005), aplicaram doses crescentes de lodo de esgoto e observaram que houve uma diminuição no pH e aumento na acidez potencial do solo. Este processo de acidificação do solo, ocasionado pela adição do lodo, ocorreu, provavelmente, em virtude do processo de degradação biológica da matéria orgânica presente no lodo. Neste processo de oxidação, o CO₂ liberado pode reagir com a água formando ácido carbônico que, ao dissociar-se, libera prótons para a solução do solo.

De acordo com Junio et al. (2013) ressaltam que o lodo de esgoto é uma matéria prima que apresenta baixa concentração de K, exigindo elevadas doses de LE quando se busca o fornecimento desse nutriente às plantas. Todavia nesse trabalho foram encontradas elevadas concentrações de K, quando aplicado o lodo de esgoto.

O cálcio apresentou o mesmo comportamento do fósforo quando aplicado lodo de esgoto associado a plantas de coberturas, evidenciando esse aumento apenas na camada superficial do solo. O Zn e o Fe também tiveram incrementos nos teores na solução do solo, quando aplicado lodo de esgoto, concordando com Nogueira et al. (2008) em que os teores de zinco (Zn) são afetados pela aplicação do lodo de esgoto.

Deve-se destacar que nas áreas sob aplicação de lodo de esgoto e, principalmente, associadas às leguminosas, os teores de fósforo foram extremamente elevados, principalmente na camada de 0-10 cm, conforme observado por Modesto et al. (2009) e Gomes et al. (2005), que observaram aumento significativo de P na camada superficial do solo, nos tratamentos com lodo de esgoto em virtude da presença de elevados teores desse elemento.

Considerando todos os tratamentos, na tabela 10, pode-se observar que houve diminuição do N total no perfil do solo, com exceção da área somente com lodo que apresentou valores semelhantes em todas as camadas. A diminuição do N total no perfil do solo pode estar relacionada com a distribuição das raízes das diferentes espécies utilizadas ou com a lixiviação de N, principalmente do nitrato. Dessa forma, como o solo é degradado e há falta de cobertura do solo pode interferir na concentração de nutrientes nas camadas superficiais.

O resíduo orgânico dos lodos de esgoto é sujeito à intensa degradação aeróbia e anaeróbia nas estações de tratamento, de maneira geral, pode ser considerado relativamente recalcitrante em comparação a outros resíduos, como esterco de animais e adubos verdes

(ANDRADE et al., 2005). Dessa maneira, a dinâmica dos nutrientes associados ao resíduo orgânico do LE estaria condicionada à qualidade desta.

Resultados diferentes deste trabalho foram encontrados por Andrade et al. (2005), que não observaram aumentos nos teores de N no solo com a aplicação de até 40 Mg ha⁻¹ de LE em solos cultivados com eucalipto. De acordo com Vieira et al. (2011) no caso de materiais orgânicos, a mineralização ocorre lentamente, à medida que o material vai se degradando.

Tabela 10. Nitrogênio total do solo (g kg⁻¹ solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

Manejo	Profundidades (cm)			
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Cerrado	1,58 cA	1,42 aB	1,35 aB	1,18 aC
Lodo + Crotalária	2,15 bA	1,25 bB	0,91 bC	0,69 bcD
Lodo + Guandú	2,38 aA	1,24 bB	1,04 bC	0,79 bD
Lodo	2,00 bA	1,38 abB	1,04 bC	0,84 bD
Área degradada sem lodo	0,63dA	0,59 cA	0,55 cA	0,55 cA
CV%-manejo = 12.18		CV%-profundidade =6.50		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Apesar dessas adições, o N originado da mineralização da matéria orgânica do solo é considerado a fonte mais importante de N para as culturas, pois contribui para a liberação de N mineral no solo, e conseqüentemente, na disponibilidade de N para as plantas (MATTOS JÚNIOR et al., 2003).

De acordo com Weber e Mielniczuk (2009) a diferença entre essas quantidades foi atribuída à FBN realizada pela simbiose plantas leguminosas/Rhizobium, a adição de N pela FBN nestes sistemas, como observado por Vieira (2007), que encontrou adições de C pela biomassa vegetal dos sistemas com leguminosas de 6,56 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ contra 3,60 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ dos sistemas constituídos apenas por gramíneas, na média dos 19 anos deste experimento. Diante desses resultados, torna-se evidente o papel das leguminosas em determinar balanços positivos de N no sistema solo-planta.

Somente na camada de 0-10 cm, a área sob lodo+guandú apresentou maiores valores de N total (2,38 mg N kg⁻¹ solo); nas outras camadas, em geral, os maiores valores foram obtidos na área nativa de cerrado. Comparando-se somente as áreas sob lodo de esgoto, com ou sem a presença de crotalária ou guandu nas outras camadas de solo, não apresentaram diferenças significativas. A área degradada, em todas as camadas, apresentou os menores valores de N total (entre 0,55 e 0,63 g N kg⁻¹ solo).

De acordo com a tabela 11, houve diferenças estatísticas entre os tratamentos e as profundidades analisadas e observou-se um acúmulo de nitrato em todos os tratamentos com lodo de esgoto, principalmente na camada superficial (0-10 cm e 10-20 cm), tendo em vista que parte do amônio mineralizado sofre nitrificação, aumentando os teores de nitrato no solo. Corrêa et al. (2005), trabalhando com um Latossolo tratado com 8,0 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, relataram acúmulo de 86 kg ha⁻¹ de N-NO₃⁻, considerando a camada até 20 cm de profundidade. Oliveira et al. (2001) também relataram aumento nas concentrações de N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻ na solução do solo até a camada de 90–120 cm de profundidade com a aplicação de até 33 Mg ha⁻¹ de lodo.

Tabela 11. Teores de nitrato no solo (mg kg⁻¹ solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

Manejo	Profundidades (cm)			
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Cerrado	8,65 dA	6,32 dB	4,53 cC	1,63 cD
Lodo+Crotalária	16,27 cA	12,70 bB	8,44 bC	5,73 aD
Lodo+Guandú	19,05 bA	17,26 aB	14,38 aC	6,37 aD
Lodo	24,370 A	7,86 cB	5,38 cC	4,55 bC
Área degradada sem lodo	2,55 eA	3,59 eA	3,29 dA	2,49 cA
CV%-manejo = 8.13		CV%-profundidade =8.35		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Na tabela 12, pode-se observar que os teores de amônio diminuíram com a profundidade em todas as áreas estudadas. As áreas sob lodo apresentaram os maiores valores, principalmente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. O tratamento lodo+guandú foi o que obteve os maiores incrementos em todas as profundidades, destacando-se dos demais tratamentos no acúmulo do amônio, e na sequência o tratamento lodo+crotalária. Diante disso podemos destacar a ação das plantas de coberturas associadas ao lodo de esgoto na melhoria desse atributo no solo. Com o incremento do teor de N no solo, em virtude da adição do lodo de esgoto, há uma diminuição da relação C:N, fato importante para explicar a crescente disponibilidade de amônio no solo, como resultado do equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização de N.

Tabela 12. Teores de amônio no solo (mg kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

Manejo	Profundidades (cm)			
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Cerrado	26,77 dA	24,31 dB	22,74 dBC	20,36 cC
Lodo+Crotalária	56,08 bA	43,47 bB	34,97 bC	25,19 bD
Lodo+Guandú	71,63 aA	57,28 aB	47,78 aC	28,66 aD
Lodo	53,12 cA	30,48 cB	30,28 cB	18,73 cC
Área degradada sem lodo	16,99 eA	17,51 eA	15,84 eAB	13,85 dB
CV%-manejo = 4.29		CV%-profundidade =4.82		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na Tabela 13 são apresentados os resultados do N disponível em solo sob diferentes tratamentos entre as profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. As plantas de cobertura guandú e crotalária apresentaram as mesmas tendências em relação ao N disponível em profundidade, não diferindo estatisticamente entre si, porém observa-se a diferença estatística entre os tratamentos. Dessa forma sugere-se que o N proveniente do material decomposto seja imobilizado na forma orgânica e sirva como um reservatório de N que será mineralizado de acordo com o desenvolvimento da cultura.

Essas diferenças da concentração de N disponível nas diferentes profundidades podem estar relacionadas com o manejo de cada planta de cobertura, pois o guandú teve um desenvolvimento melhor, não havendo interferência de invasoras como ocorreu com a crotalária, principalmente diversas espécies de gramíneas. Dessa forma o guandú, foi à espécie que apresentou os maiores valores de N disponível.

Tabela 13. Nitrogênio disponível no solo (mg kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

Manejo	Profundidades (cm)			
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Cerrado	67,57 dA	59,60 dB	52,478 dC	36,69 dD
Lodo+Crotalária	208,51 bA	152,95 bB	13,76 bC	118,60 bD
Lodo+Guandú	231,10 aA	185,16 aB	17,13 aC	142,63 aD
Lodo	75,24 cA	61,87 cB	53,45 cC	39,43 cD
Área degradada sem lodo	14,88 eA	11,29 eB	8,86 eC	4,58 eD
CV%-manejo = 0.20		CV%-profundidade =0.18		

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com a tabela 14, a porcentagem de nitrogênio disponível em relação ao nitrogênio total do solo, mostra a eficiência das leguminosas associadas ao lodo de esgoto, já o tratamento apenas com lodo de esgoto em relação à área nativa de cerrado e o solo

degradado sem lodo, observa-se um incremento desse nutriente, todavia, quando se aplica lodo de esgoto, associado às leguminosas, esses valores de disponibilidade de nitrogênio aumentam em profundidade, chegando a superar o cerrado nativo, mostrando dessa forma a eficiência das leguminosas em disponibilizar esse nutriente.

Os tratamentos com lodo de esgoto associado a plantas de coberturas apresentaram maiores teores de N disponível em relação aos demais, evidenciando o efeito da planta na melhoria da qualidade do solo. Este fato pode ser explicado, pela sua alta produção de biomassa e decomposição acelerada de resíduos, proporcionando maior mineralização de nutrientes (CARVALHO et al., 2008).

Tabela 14. Porcentagem do Nitrogênio disponível no solo (mg kg^{-1} solo) em relação ao Nitrogênio Total do solo (g kg^{-1} solo), em área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

Manejo	Profundidades (cm)			
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Cerrado	4,29 bA	4,19 cA	3,88,cA	3,09 bA
Lodo+Crotalária	9,70 aD	12,19 bC	14,81 bB	17,34 aA
Lodo+Guandú	9,72 aD	14,87 aC	16,92 aB	18,38 aA
Lodo	3,76 bA	4,47 cA	5,14 cA	4,75 bA
Área degradada sem solo	2,36 bA	1,94 dAB	1,65 dAB	0,868 cB
CV%-manejo = 23.38	CV%-profundidade =12.45			

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) diminuiu nas camadas inferiores do solo, para todas as áreas estudadas. Em todas as camadas de solo, o CBM foi maior na área sob cerrado nativo. A adição de lodo de esgoto, em todas as camadas de solo estudada, apresentou maiores valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) quando comparadas com a área degradada sem nenhum tratamento (Tabela 15). Esse resultado é diferente do obtido por Sullivan et al. (2006), que ao utilizarem dosagens de lodo de esgoto entre 2,5 e 30 Mg ha^{-1} , não observaram alterações na biomassa microbiana total como efeito da aplicação de lodo de esgoto e os autores sugeriram que, nesse caso, houve rápida adaptação da microbiota do solo à adição de lodo no solo.

A utilização de plantas de cobertura na recuperação de solos degradados é uma estratégia eficiente, por elas absorverem os compostos tóxicos, ciclagem de nutrientes e estimularem os microrganismos que possuem a capacidade de quebrar compostos e/ou

transformarem em elementos não tóxicos que podem ser absorvidos pelas plantas (MACHADO et al., 2012)..

De acordo com Perez et al. (2004), nas condições de cerrado nativo, a deposição contínua de resíduos orgânicos, a grande quantidade de raízes e a maior quantidade de água retida no solo estimulam a manutenção da biomassa microbiana, enquanto que solos submetidos ao revolvimento e degradação do solo, normalmente apresentam decréscimo da mesma.

Tabela 15. Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg^{-1} solo) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

Manejo	Profundidades (cm)			
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40
Cerrado	484,78 aA	459,86 aB	429,99 aC	410,62 aD
Lodo+Crotalaria	248,01 bA	217,97 cB	134,09 bC	104,63 bD
Lodo+Guandú	218,38 cA	192,21 dB	127,85 bC	113,27 bC
Lodo	263,85 bA	235,91 bB	123,98 bC	107,74 bD
Área degradada sem lodo	134,86 dA	118,89 eB	91,31 cC	57,69 cD

CV%-manejo = 4.82

CV%-profundidade =4.83

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A taxa de respiração basal (RB) no tratamento lodo+guandú apresentou maior valor absoluto entre todos os tratamentos e só não diferiu estatisticamente do tratamento apenas com lodo; os demais tratamentos não diferiram estatisticamente entre si. Resultados semelhantes foram observados por Cardoso et al. (2000) quando avaliaram o efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre a atividade microbiana do solo e os autores não obtiveram diminuição da respiração basal devido à adição de lodo no solo. Fernandes et al. (2005) concluíram que aplicações repetidas do lodo de esgoto em Barueri-SP provocaram o estabelecimento de novas condições biológicas no solo ao avaliarem diversos índices, como a respiração basal, quociente metabólico, C e N da biomassa microbiana. Tais mudanças podem afetar a velocidade de liberação do N e, ou, a quantidade de N, que será mineralizada numa nova aplicação de lodo de esgoto.

Os tratamentos com lodo de esgoto proporcionaram uma melhoria na atividade microbiana do solo e resultaram em maiores teores de carbono orgânico total (Tabela 7) e respiração basal (Tabela 16). De acordo com o trabalho de Vieira et al. (2011) os teores de N microbiano do solo também aumentaram significativamente com as doses do lodo. O aumento

nos teores de C microbiano com a adição o lodo, provavelmente, ocorreu devido ao aumento do C orgânico no solo.

Tabela 16. Respiração basal do solo ($\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$) da área nativa de cerrado e áreas degradadas com e sem aplicação de lodo de esgoto, em quatro camadas de solo.

Manejo	Respiração basal do solo ($\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$)
Cerrado	19,098 b
Lodo+Crotalária	20,49 b
Lodo+Guandú	23,78 a
Lodo	20,94 ab
Área degradada sem lodo	19,92 b

CV% = 16.41

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os atributos micorbiológicos foram os mais sensíveis às alterações no uso do solo, sendo que os teores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana aumentaram numericamente de acordo com a adição de lodo de esgoto associado às leguminosas, concordando com a afirmação de Gama-Rodrigues et al. (2005), de que com a determinação da biomassa microbiana obtém-se respostas mais rápidas às modificações no uso do solo do que a avaliação da matéria orgânica.

CONCLUSÕES

1. O uso do lodo de esgoto associado às plantas de cobertura na recuperação da área degradada foi eficiente em incrementar a fertilidade do solo.
2. A planta de cobertura guandú associada ao lodo de esgoto se destacou em todos os atributos analisados.
3. O lodo de esgoto testado pode ser aplicado ao solo associado às plantas de cobertura como manejo de recuperação de áreas degradadas com benefício aos atributos físicos, químicos e biológicos.

BIBLIOGRAFIA:

ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. **In:** GOEDERT, W. J. (Ed.). Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Planaltina: EMBRAPA - CPAC; São Paulo: NOBEL, p.33-98, 1987.

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; ROS, C.O. da. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.157–165, 2001.

ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo Após sucessivas aplicações de lodo de esgoto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.48, n.5, p.536-544, maio 2013

ALEF, K. Estimation of the hydrolysis of fluorescein diacetate. In: ALEF, K., NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. London:Academic Press, London, 1995. p. 232–238.

ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p.2505-2516, 2008.

ALVES, M.C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira**. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2001. 83p. (Tese de Livre Docência).

ALVES, M. C; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:617-625, 2007.

ANJOS, A. R. M. dos; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com bio sólido. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n. 4, p.769- 776, 2000.

ANTOLIN, M. C.; PASCUAL, I.; GARCIA, C.; POLO, A.; SANCHEZ-DIAZ, M. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 94, n.2/3, p. 224-237, Nov. 2005.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.23, n.3, p. 66-75, 2007.

ARRUDA, O. G. de; ALVES, M. C.; BONINI, C. S. B.; MARCHINI, D.C. Atributos físicos de um Latossolo degradado tratado com bio sólido há cinco anos. **Científica**, Jaboticabal, v.41, n.1, p.73–81, 2013.

BARBOSA, I.O; LACERDA, M. P. C; BILICH, M.R. Relações Pedomorfogeológicas nas Chapadas elevadas do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.1373-1383, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 2, p. 7-16.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. B.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 31, n. 3, p. 601-605, maio/jun. 2007.

BARBOSA, G. M. DE C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 27, n. 4, p. 565-580, out./dez. 2006.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, 17:94-101, 2002.

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G. A.; MENEGUELLI, N. M. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.3, p.469-476, mar. 2006.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen total. In: PAGE, A.L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p.595-624.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. de. A disposição do lodo de esgoto em solo agrícola. **In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. de. (Ed.). Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p.25-36.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna – SP, 2000, 312p.

BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A. Acúmulo de nitrogênio e produção de matéria seca de plantas em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 2, p. 123-128, abr./jun. 2005.

BITAR, O.Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. São Paulo, 1997. 185p.

BODDEY, R.M.JANTALIA,C.P, MACEDO, M.O,OLIVEIRA, O.C, RESENDE, A.S, ALVES, B.JR, URQUIAGA, S. Potential of carbon sequestration in soils of the Atlantic Forest region of Brazil. **In: LAL, R, CERRI, C.C, BERNOUX, M. ETCHEVERS, J, CERRI,)**, Carbon sequestration in soils of Latin America. Food Products Press, New York, p. 305-319.2006

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007.

BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, n.3, p. 581-590,2007.

BOEIRA, R. C. **Lodo de esgoto como fertilizante em culturas anuais: acidez do solo.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 3p.

BONGIOVANNI, M. D.; LOBARTINI, J. C. **Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro and micro aggregates as affected by cultivation.** Geoderma, v.136, p.660-665, 2006.

BOHM, G.B.; BETEMPS, G.R.; BIERHALS, L.N.; FILHO, P.J. S; SCHWANZ, S.M. Uso de lodo de estação de tratamento de esgoto no cultivo de soja em Argissolo. **Revista Thema** | 2014 | 11 (01)

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; MARIA, I. C. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1461-1470, jul./ago. 2011.

BUSO, W. H. D.; KLIEMANN, H. J. **Relações de carbono e de nitrogênio total e potencialmente mineralizável com o nitrogênio absorvido pelo milho.** Pesquisa Agropecuária Tropical, n. 33, 2003, p. 97 – 105.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, 2006. 32p

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in the soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.17, n.6, p.837-842, 1985.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. S.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium Schott* em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CAMILOTTI, F. et al. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.738-747, 2006.

CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.5, p.796-803, mai, 2011

CAMPOS, F.S. E ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1389-1397, 2008.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Particulate soil organic matter changes cross a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 777-783, 1992.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1389-1397, 2008.

CARVALHO et al. Decomposição de resíduos vegetais em latossolo sob cultivo do milho e plantas de cobertura, R. bras. Ci. Solo, v. 32, 2008, p 2831 – 2838.

CARVALHO, A.M. & AMABILE, R.F. Plantas condicionadoras de solo: Interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A.M. & AMABILE, R.F., eds. Cerrado: adubação verde. Brasília, Embrapa Cerrados, 2006. p.143-170

CARVALHO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de semeadura direta e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.47-53, 2004.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação: manual técnico**. São Paulo, 1999. 33p.

CERETTA, C.A.; AITA, C.; BRAIDA, J.A.; PAVINATO, A.; SALET, R.L. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas para o milho em sucessão nos sistema de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.215-220, 1994.

CHRISTOPHER, S.F.; LAL, R. Nitrogen Management affects carbon sequestration in north American cropland soils. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.26,p 45-64, 2007

CHIBA, M.K.; MATTIAZZO, M.E.; OLIVEIRA, F.C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado Com lodo de esgoto. I - disponibilidade de Nitrogênio no solo e componentes de produção. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:643-652, 2008

CHIBA, M.K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: Parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 142p. (Tese de Doutorado)

CHUEIRI, W. A.; SERRAT, B. M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 5, p. 502- 508, set./out. 2007.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL – CAESB. **Relatório de operação recuperação de áreas degradadas: projeto pátio ferroviário**. Disponível em: \\ETB115665\Central de Dados POE\POEGL\2.PROJETOS\1.PATIO FERROVIÁRIO\Relatórios de execução 2013\Docs para relatorio 2\2o RELATÓRIO OPERACIONAL_RFFSA_21_04_2013 (2).docx

CONSELHO DO MEIO AMBIENTE DO DISTRITO FEDERAL – CONAM-DF. **RESOLUÇÃO Nº 03/2006**, DE 18 DE JULHO DE 2006. Disponível: http://www.emater.df.gov.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=665:lodo-de-esgoto&id=55:meio-ambiente. Acesso dia 08/04/2015

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p. 527- 535, 2003.

CORINGA, E.A.O.; WEBER, O.L.S. Ponto de Efeito Salino Nulo de Latossolos da Microbacia Chico Nunes, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.441-448, 2008.

CORRÊIA, R. S. **Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração no Cerrado-Manual para Revegetação**. Brasília, DF: Editora Universa, 2006. 187p.

CORRÊA, R.S.; WHITE, R.E. & WEATHERLEY, A.J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. *Sci. Agric.*, 62:274-280, 2005.

COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 82p. (Tese de Doutorado).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.212p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos ; 1).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos. Boletim Técnico nº 53. **Levantamento de Reconhecimento dos solos do Distrito Federal**, Rio de Janeiro, Embrapa, 1978. 466p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.212p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1)

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, L. de; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Composição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.321-328, 2006.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 45-68.

FRANCO-HERNANDEZ, O.; MCKELLIGAN-GONZALEZ, A.N.; LOPEZ-OLGUIN, A.M.; ESPINOSA-CERON, F.; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. **Bioresource Technology**, v.87, p.93-102, 2003. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00188-8.

FREITAS-SILVA, F. H.; CAMPOS, J. E. G. **Geologia do Distrito Federal**. In: CAMPOS, J. E. G.; FREITAS-SILVA, F. H., coords. **Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal**. Brasília, SEMATECIEMA-MMA-SRH, 1998. CD-ROM.

GALDOS, M.V.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:569-577, 2004.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região noroeste fluminense-RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1421-1428, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; Barros, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; Santos, G.A. 2005. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 893-901.

GIANELLO, C. **Chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil**. 1985. 93p. (PhD Tesis) – Iowa State University, Ames, 1985.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERAG, R. Neotropical secondary Forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v.148,p185-206, 2001.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.2, p.223-227, 2002.

GOMES, S.B.V.; NASCIMENTO, C.A.; BIONDI, C.M.; ACCIOLY, A.M.A. Alterações químicas em argissolo tratado com Lodo de esgoto. **CAATINGA**, Mossoró, v.18, n.3, p.185-194, jul./set. 2005

GOMES, S. B. V. **Utilização de lodo de esgoto como fertilizante para a cultura do milho: efeitos no solo e na planta**. Recife: UFRPE, 2004. 54p. Dissertação Mestrado.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, A. R.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto 28 e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17: 706–712, 2013.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:405-416, 2008.

LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. Avaliação agronômica e econômica da aplicação de biossólido na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF., v. 41, n. 10, p. 1477-1484, out. 2006

MACEDO, M.O, CAMPELLO, E.F.C, ANDRADE, A.G, FARIA, S.M. de. Establishment of legume trees on heaps of blast furnace slag. **Floresta Ambiente**, v.12, p 20-25, 2006.

MACHADO, D. M.; SCHOSSLER, T. R.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAUILINO, A. C. Atividades microbianas e as transformações no ciclo dos elementos no solo. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 181, 2012.

MALAVOLTA, E. **Adubos orgânicos**. In: *_ABC da adubação*. 4 ed. São Paulo: Ceres, p.115-131, 1979.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.

MATTOS JÚNIOR, D.; ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S. & GRAETZ, D. A. Nitrogen mineralization and volatilization in a sandy entisol of Florida under citrus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 34, n. 13 e 14, p. 1803-1824, 2003.

MAIA, M. L. **Uma contribuição na análise de Viabilidade Econômica, Social e Ambiental no Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura do Distrito Federal**. 2006. 137 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação stricto sensu em Planejamento e Gestão Ambiental. Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF.

MARQUES, M. O., MELO, W. J., MARQUES, T. A. Metais Pesados e o Uso de Biossólidos na Agricultura. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. ; MARQUES, M. O., eds. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados com biossólido. **Pesq. Agropec. Bras.**, 39:67-72, 2004.

MELO, W. J.; MARQUES, MO. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 109-141.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da Matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Genesis, Porto Alegre. RS, p. 1-8, 1999.

MODESTO, P. T.; SCABORA, M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um Latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1489-1498, 2009

MORAES, L. M. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lodos de esgoto provenientes de reatores anaeróbios sequenciais**. Campinas, SP: [s.n.], 2005, Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; JÚNIOR, D. S. B.; JUNIO, G. R. Z.; FERNANDES, L. A. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. **Revista Caatinga**, 24: 145-151, 2011.

NASCIMENTO, C. W. A. do; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C. de; OLIVEIRA, A. B. de. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.385-392, 2004.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MACEDO, R.L.C.; TOKURA, A.M. 2004 [Online]. **Estoque de carbono em sistema Agrossilvopastoril, Pastagem e Eucalipto sob cultivo convencional na Região Nordeste do Estado de Minas Gerais**. Homepage: http://www.editora.ufla.br/revista/28_5/art10.PDF

NOFFS, P.S.; GALLI, L.F. & GONÇALVES, J.C. **Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica: Uma experiência da CESP** - Companhia Energética de São Paulo. (Caderno, 3)

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G.J.; FURTINI NETO, A.E., LIMA, P.C.; MORAES, R.N.S. Atributos químicos do solo sob diferentes plantas de cobertura na implantação do sistema plantio direto. **Revista Agropecuária Tropical**. Cuiabá, v.8, p.57-75, 2004.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, p.505-519, 2002.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um LATOSSOLO AMARELO Distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, p.807-812, 2001.

Perez, K.S.P., Ramos, M.L.G.; Mcmanus, C. 2004. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39: 567-573.

PINTO, M. T.– Higienização de lodos, capítulo 6 – In: ANDREOLI, C. V.– **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**/ CLEVERSON, V. A. MARCOS, V. S. ; FERNANDO, F.- Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG: Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 6) 261-298p.

PIRES, A. M. M. **Ácidos orgânicos da rizosfera: aspectos qualitativos e quantitativos e fitodisponibilidade de metais pesados originários de biossólidos**. Tese de Doutorado, ESALQ, Piracicaba, 2003, 106 p.

PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Degradação da carga orgânica, condutividade elétrica e pH de um LATOSSOLO tratado com biossólido incorporado ou em superfície. In: RE -UNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25, 2002, Rio de Janeiro-RJ, **Anais...**, Rio de Janeiro: SBSCS. 2002, CD ROM.

PITOMBO, L.M. **Estoques de carbono e nitrogênio e fluxos de gases do efeito estufa em solo com diferentes históricos de aplicação de lodo de esgoto**. 2011. 61p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agronômico, Campinas.

POLAT, E.; DEMIR, H.; ERLER, F. Yield and quality criteria in organically and conventionally grown tomatoes in Turkey. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 67, n. 4, p 424-429, 2010.

QUEIROZ JÚNIOR, Virgílio Braz de. Uso de lodo de esgoto na recuperação de áreas mineradas do Distrito Federal: influências nas propriedades químicas do substrato. 2010. xiii, 60 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa, MG: NEPUT, 2007. 304p

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Guia de recuperação de áreas degradadas. São Paulo: **SABESP**, 2003. (Cadernos Ligação).

SAITO, M. L. Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: Precauções com os Contaminantes Orgânicos. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambientes, 2007. 35 p. (**Comunicado Técnico nº 64**)

SANTOS, A.C.; SILVA, I.F.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, A.P. ;CAVALCANTE, V.R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: Efeito nas características químicas de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:1063- 1071, 2001.

SERRA, D.D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal**. Brasília, Universidade de Brasília, 2006. 93p. (Tese de Mestrado).

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesq. Agropec. Bras.**, 38:1187-1195, 2003.

SILVA, D. , F.; ANDRADE, C. L. T.; SIMEONE, M. L. F.;AMARAL, T. A.;CASTRO, L. A.; FRANÇA MOURA, B. F. **Análise de nitrato e amônio em solo e água - Sete Lagoas**: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 55 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 114).

SILVA, E. C. da et al. **Utilização do Nitrogênio da Palha de Milho e de Adubos Verdes pela Cultura do Milho**, R. Bras. Ci. Solo, V. 32. 2008. p. 2853-2861, Número Especial.

SILVA, F. DE AS E. AZEVEDO, CAV DE. A nova versão do Software de Assistência Estatística Assistat. In: Congresso Mundial de computadores na agricultura, 4, Orlando-FL-EUA: **Anais ...** Orlando: Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas, 2006. p.393-396.

SILVA, E. M. B.; SILVA, T. J. A.; OLIVEIRA, L. B.; MÉLO, R. F.; JACOMINE, P. K. T. Utilização de cera de abelha na determinação de densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p. 955-959, 2003.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa Agronômica para o biossólido produzido no distrito federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, 26:487- 495, 2002.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, 36: 831-840, 2001.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOBRINHO, P. A. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

SOUSA, D. M.G.; LOBATO, Edison. **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2º ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.p.44-119.

SOUZA, C. G. **Caracterização dos solos nos arredores da Serra Três Irmãos e da Serra da Moeda – Quadrilátero Ferrífero/MG**. Minas Gerais: Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006, 110 p. Dissertação de Mestrado.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.885 – 896, 2000.

TAN, K.H. **Environmental soil science**. 2.ed. Nova York, Marcel Dekker, 2000. 480p.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de resíduo vegetal por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.3, p.421-428, 2008

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.4, p.609-618, 2005.

TRANNIN, I. C. de; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.223-230, 2008.

TSUTIYA, M.T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. ;MARQUES, M.O., eds. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, 2001a. p.41-88.

TSUTIYA, M. T. **Alternativas de disposição final de biossólidos**. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O., eds. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo, SABESP, 2001. 468p.

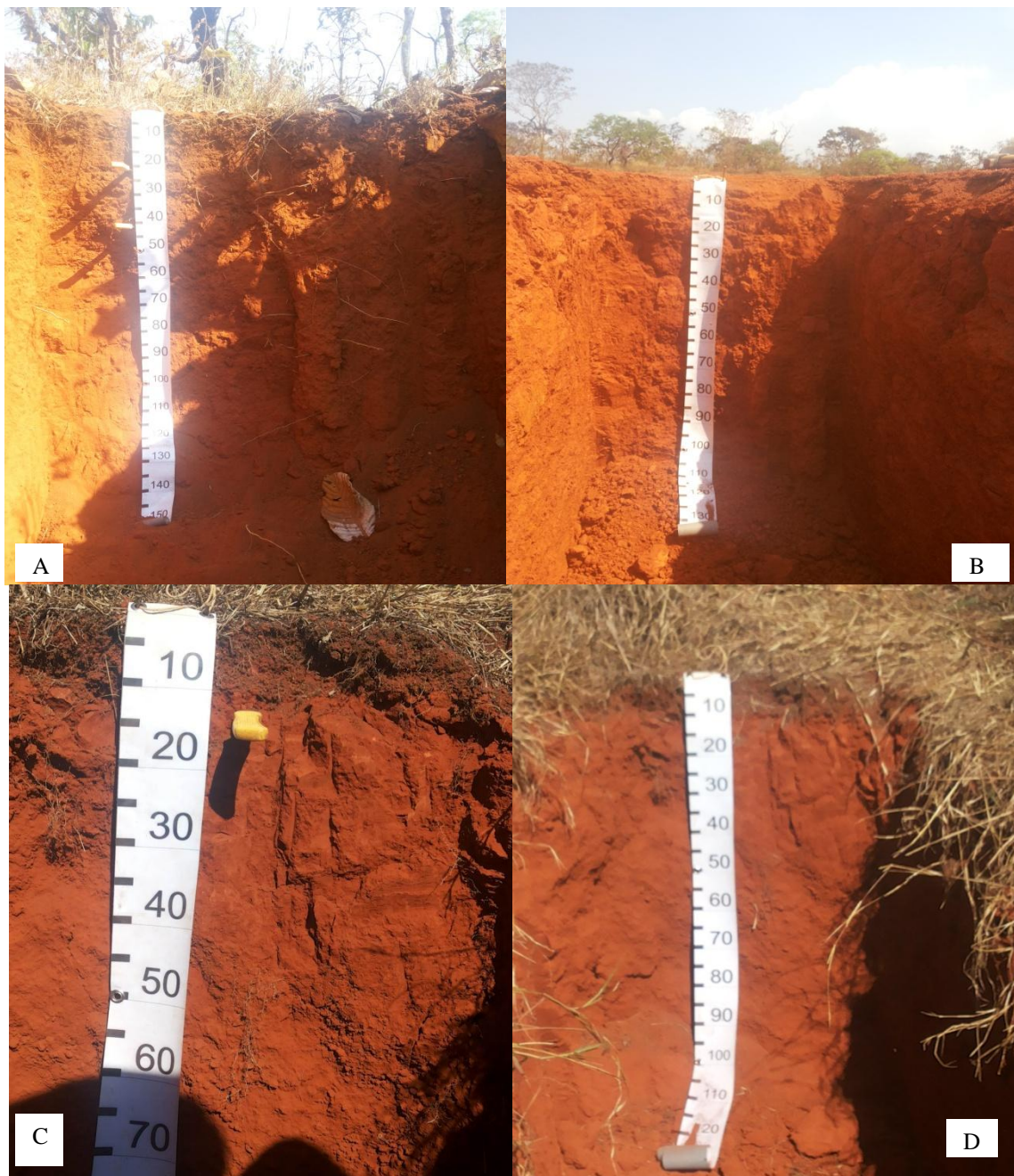
VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

VIEIRA, G.D.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V. Atributos microbianos do solo após a adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes de parboilização do arroz. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:543-550, 2011.

VIEIRA, F.C.B. **Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetados por sistemas de cultura e adubação nitrogenada**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 139p. (Tese de Doutorado)

WEBER, M.A., MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração . **R. Bras. Ci. Solo**, 33:429-437, 2009

ANEXOS



Perfis do solo; A, Cerrado Nativo; B, Área degradada sem lodo; C, Tratamento Lodo+guandú; D, Tratamento Lodo+crotalária.

Imagens cedidas pela CAESB.



Figura 1. Localização do Projeto de Recuperação Ambiental do Pátio Ferroviário (Imagem do Google Earth).



Foto 1. Lodo recém-chegado no talhão 8, subtalhão 3, em março de 2013.



Foto 3. Área com aplicação de lodo e cal hidratada e contida por terraço no talhão 8, em março de 2013.



Foto 7. Área com aplicação de lodo em fevereiro de 2013 no Talhão 11, após retirada da cerca, contrapondo com área que recebeu aplicação de lodo em novembro, no fundo da imagem.



Foto 6. Área no Marco inicial, talhão 11, com poucos vestígios de aplicação de lodo que ocorreu em outubro de 2012, em março de 2013.



Foto 9. Massa vegetal formada em março de 2013 no Talhão 11, após plantio de sementes de crotalária (*Crotalaria spectabilis*).



Foto 13. Talhão 13 com germinação de feijão-guandu, no início de fevereiro de 2013.



Foto 15. Talhão 13 com feijão-guandu, em 1º de abril de 2013.



Foto 14. Talhão 13 com feijão-guandu, em 1º de abril de 2013.