

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EMIÇÃO DE CO₂ EM LATOSSOLO VERMELHO COBERTO
COM PALHA SOB APLICAÇÃO DE EFLUENTE E LODO DE
ESGOTO**

Gilberto Aparecido Rodrigues
Zootecnista

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EMIÇÃO DE CO₂ EM LATOSSOLO VERMELHO COBERTO
COM PALHA SOB APLICAÇÃO DE EFLUENTE E LODO DE
ESGOTO**

Gilberto Aparecido Rodrigues

Orientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria

Coorientador: Prof. Dr. Newton La Scala Júnior

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

R696e Rodrigues, Gilberto Aparecido
Emissão de CO₂ em Latossolo Vermelho coberto com palha sob
aplicação de efluente e lodo de esgoto / Gilberto Aparecido Rodrigues
. - - Jaboticabal, 2015
ix, 72 p. ; 28 cm

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Rogério Teixeira de Faria
Banca examinadora: Alan Rodrigo Panosso, Alexandre Barcellos
Dalri, Jarbas Honório de Miranda e Luiz Fabiano Palaretti
Bibliografia

1. Biossólidos. 2. Respiração do solo. 3. Efluente de estação de
tratamento de esgoto I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 628.4:631.4

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. E-mail:
gilberto.rodrigues@fatectq.edu.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

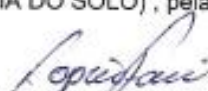
**TÍTULO: "EMISSÃO DE CO₂ EM UM LATOSSOLO VERMELHO
COBERTO COM PALHA SOB APLICAÇÃO DE EFLUENTE E
LODO DE ESGOTO"**

AUTOR: GILBERTO APARECIDO RODRIGUES

ORIENTADOR: Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO

Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JARBAS HONÓRIO DE MIRANDA

Universidade de São Paulo / Piracicaba/SP

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Gilberto Aparecido Rodrigues, nasceu na cidade de São Paulo, São Paulo, no dia 08 de junho de 1959. Filho de Gentil Baptista Rodrigues (in memoriam) e Benedicta Brizolla Rodrigues. Ingressou no Curso de Zootecnia da FCAV-UNESP em 1983. Ingressou no mestrado em Zootecnia (Produção Animal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1992) e mestrado em Zootecnia (Melhoramento Animal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2004). Atualmente, é Docente Efetivo Pleno II, da Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga, Curso Superior em Tecnologia em Agronegócio, ministrando as disciplinas de Gestão Ambiental, Tecnologia de Produção Animal II (Gado de corte e leite). Ingressou no doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) no segundo semestre de 2011.

“JAMES HARRISON MAIOR DOADOR DE SANGUE DO MUNDO”

James Harrison, australiano que desde que tinha 18 anos, hoje com 78, doador de sangue, e com esse gesto foi capaz de salvar a vida de aproximadamente 2 milhões de recém-nascidos. A cada semana, durante seis décadas, médicos usam seus anticorpos para produzir a vacina Anti-D, usada para tratar mulheres grávidas que sofrem com a doença de Rhesus, ou eritroblastose fetal, uma enfermidade hemolítica causada pela incompatibilidade do fator Rh no sangue da mãe e do bebê. Estima-se que ele doou sangue mais de 1.000 vezes ao longo da vida. Harrison tem sido o único doador desses anticorpos, salvando milhões de bebês tanto na Austrália quanto em outros países do mundo. Ele diz: "Isso faz você se sentir bem consigo". Faz isso por gratidão por ter sido salvo ao receber sangue de dezenas de pessoas anônimas quando tinha 14 anos de idade, devido à intervenção cirúrgica a que passou.

11 de Junho de 2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, a Jesus Cristo e a toda fraternidade celeste.

À minha esposa, Denise Aparecida Bruno Garcia Rodrigues, pela paciência e tolerância nestes momentos desgastantes, muitas vezes, e à espiritualidade superior que sempre foi uma retaguarda para realizar este feito.

Ao professor Rogério Teixeira de Faria, pela orientação, e ao professor Newton La Scala Júnior, pelo apoio na condução deste estudo. Enfim, meus gratos e mais nobres sentimentos e desejos de gratidão.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) e à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, pelo crescimento pessoal.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural, do Departamento de Solos e Adubos e ao Departamento de Exatas, pela valiosa e nova visão da Agronomia.

Ao amigo Gilmar Oliveira Santos, pela grande contribuição nos trabalhos de campo.

Aos amigos colaboradores Mara Moitinho, Celso Antônio Jardim, Geffeson Figueiredo Dantas, Miquéias, Marcela M. Yada, Ubajara Mozart Cezare Proença, Nivaldo Carleto e Paulo Desidério.

Aos alunos da Fatec Taquaritinga: Mayra, Andressa, Anderson, Gustavo e Lígia, que nos auxiliaram nas atividades de campo.

Aos professores membros da Banca de Qualificação: Prof.Dr. Newton La Scala Júnior, Prof.Dr. José Marques Junior, Prof. Dr. João Ademir de Oliveira, Profa. Dra. Luciana Maria Saran e Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, e aos professores membros da Banca de Defesa, pelas valiosas sugestões.

Aos amigos e colegas de Departamento de Engenharia Rural: David A. Trevizolli, Marquinho, Patrícia e Carlão.

Aos amigos do Depto. de Exatas: Carlos Alberto Santa Capita, Maria José Servidone Trizólio e Professores Dr. Glauco de Souza Rolim e Dr. Euclides Braga Malheiros.

Aos amigos do Depto. de Solos e Adubos: Dejair e Prof. Dr. Itamar Andrioli.

Aos amigos e colegas da fazenda da Unesp: Marcelo Scatulim e Thiago Fieno.

Aos amigos e colegas da Estação de Tratamento de Esgoto de Jaboticabal.

Às amigas Tieko T. Sugahara, Karina G.Fernandes e demais colegas da Biblioteca da Unesp, e Dr. Vitório Barato Neto por auxiliar na revisão do texto.

Ao amigo e Engº Agrº. da Cati Guaíra, Cândido Miele Júnior e seus colaboradores.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Justificativa.....	4
1.3 Objetivo.....	5
1.4 Revisão de literatura.....	5
1.4.1 Normatização quanto ao uso e características do LE.....	5
1.4.2 Normatização quanto ao uso e características do EETE.....	7
1.4.3 Riscos quanto ao uso de LE e EETE.....	9
1.4.4 Uso de LE na Agricultura.....	11
1.4.5 Uso de EETE na Agricultura.....	12
1.4.6 Emissão de GEE por LE.....	14
1.4.7 Emissão de GEE por EETE.....	15
1.4.8 Uso de palha.....	16
1.5 Referências.....	54
CAPITULO 2 - Emissão de CO₂ e sua relação com atributos físicos e químicos de um latossolo com aplicação de lodo de esgoto e três lâminas de irrigação.....	18
Resumo.....	18
Summary.....	19
2.1 Introdução.....	20
2.2 Material e Métodos.....	21
2.3 Resultados e Discussão.....	26
2.4 Conclusões.....	36
2.5 Referências.....	54

CAPITULO 3 - Emissão de CO₂ e sua relação com atributos físicos e químicos de um latossolo com aplicação de palha e irrigação de três frações de efluente tratamento de esgoto em água.....	37
Resumo.....	37
Summary.....	38
3.1 Introdução.....	39
3.2 Materiais e Métodos.....	41
3.3 Resultados e Discussão.....	47
3.4 Conclusões.....	54
3.5 Referências.....	54

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1 - Totais de evapotranspiração de referência (ET _o), irrigação, precipitação e lâmina total durante o período experimental.....	23
Tabela 2 - Características do solo nas parcelas sem e com a adição de lodo de esgoto no solo, e composição do lodo obtido na estação de tratamento de esgoto de Jaboticabal.....	25
Tabela 3 - Análise de variância da emissão de CO ₂ e de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico, em função da aplicação de lodo de esgoto (LE) e irrigação (LIRR).....	27
Tabela 4 - Comparação de médias da emissão de CO ₂ e de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico, em função da aplicação de lodo de esgoto e lâminas de irrigação.....	28
Tabela 5 - Características químicas do solo antes e após o período experimental.....	46
Tabela 6 - Características químicas do efluente de estação de tratamento de esgoto e quantidade de nutrientes aplicados nos tratamentos.....	47
Tabela 7 - Análise de variância das médias das emissão de CO ₂ em 23 dias e dos atributos físicos e químicos, de um Latossolo Vermelho eutroférico ao final do experimento, em função da aplicação de palha (APA) e frações de efluente em água (FE).....	48
Tabela 8 - Comparação de médias de emissão de CO ₂ e de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico, em função da aplicação de palha (APA) e frações de efluente de tratamento de esgoto em água (FE).....	49

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1 - Esquema da área experimental, com linha de distribuição de água e unidades experimentais com tratamentos de lâminas de irrigação (L1, L2 e L3)	22
Figura 2 - Dados climáticos durante o período experimental.....	24
Figura 3 - Emissão de CO ₂ em função da temperatura (a), da umidade do solo (b), do pH do solo (c) e da porosidade livre de água (d), dos tratamentos sem lodo (SLE) e com lodo de esgoto (CLE) submetidos a lâminas de irrigação de 20 mm (L1), 110 mm (L2) e 184 mm (L3)	34
Figura 4 - Esquema experimental com sistema de aspersão em linha e unidades experimentais com tratamentos de frações de efluente em água (F1: 11% de EETE ou 20 mm de EETE; F2: 60% de EETE ou 110 mm de EETE e F3: 100% de EETE ou 184 mm de EETE) e aplicação de palha (SPA: sem palha e CPA: 10 Mg ha ⁻¹)	42
Figura 5 - Frações de distribuição da precipitação de aspersores e frações de efluente em água aplicada durante o período experimental, 23 dias, em função da aplicação de palha.....	43
Figura 6 -. Dados climáticos durante o período experimental.....	44
Figura 7 - Relação entre a emissão de CO ₂ em função da temperatura (a), da umidade (b), e da matéria orgânica do solo (c), dos tratamentos sem palha (SPA) e com palha (CPA), submetidos a frações de efluente de tratamento de esgoto em água (F1: 11% de EETE ou 20 mm de EETE; F2: 60% de EETE ou 110 mm de EETE e F3: 100% de EETE ou 184 mm de EETE) e aplicação de palha (SPA: sem palha e CPA: 10 Mg ha ⁻¹).....	52

EMIÇÃO DE CO₂ EM LATOSSOLO VERMELHO COBERTO COM PALHA SOB APLICAÇÃO DE EFLUENTE E LODO DE ESGOTO

RESUMO: Quantificar a emissão de CO₂ devido à aplicação de lodo de esgoto (LE) e de efluente de estação de tratamento de esgoto (EETE) é importante, pois atualmente tais resíduos estão sendo utilizados na agricultura com maior frequência. A informação do quanto de CO₂ pode ser emitido quando adicionado ao solo pode contribuir para futuros inventários de emissão de gases de efeito estufa. O objetivo deste estudo foi quantificar a emissão de CO₂ em função da aplicação de palha, lodo de esgoto e EETE em um Latossolo Vermelho eutroférico da Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal-SP. Foram conduzidos dois experimentos com delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3. Em um dos experimentos, os tratamentos constituíram da aplicação de LE (sem lodo e com lodo, 10 Mg ha⁻¹) e irrigação (L1: 20 mm, L2: 110 mm e L3:184 mm). No outro experimento, os tratamentos constituíram de cobertura de palha de *Brachiaria brizantha* sobre o solo (SPA: sem palha e CPA: com palha, 10 Mg ha⁻¹) e irrigação com 3 frações EETE em água (F1: 11%, F2: 60% e F3:100% de EETE). As avaliações durante 23 dias da condução do experimento revelaram que o solo com adição de lodo de esgoto emitiu 9,34 % mais CO₂, apresentou temperatura 2% mais elevada e teve redução de pH de 2,59% em relação ao tratamento sem adição de lodo. A aplicação de palha, combinada com irrigação com EETE, incrementou a emissão de CO₂, a temperatura e a umidade do solo em 8,9%, 3,1% e 12,98%, respectivamente, em relação aos tratamentos sem aplicação de palha. Frações maiores de EETE em água resultaram em maior emissão de CO₂ e teores mais elevados de matéria orgânica no solo.

Palavras-chave: bio-sólidos, respiração do solo, efluente de estação de tratamento de esgoto.

CO₂ EMISSION IN LATOSOL COVERED WITH RED STRAW IN APPLICATION OF WASTEWATER AND SEWAGE SLUDGE

SUMMARY: Quantifying CO₂ emissions due to the applications of sewage sludge (SS) and treated sewage effluent (TSE) is important because such waste is currently being used in agriculture more often. Information on how much CO₂ can be emitted when applied to the soil can contribute to future inventories of greenhouse gases. The aim of this study was to quantify the CO₂ emission due to the application of straw, SS and TSE in an Oxisol of the Faculty of Agricultural Science and Veterinary of Jaboticabal-SP. Two experiments were conducted in a factorial 2 x 3, in a randomized block design. In one of the experiments, the treatments consisted of SS application (no sewage sludge and with sewage sludge, 10 Mg ha⁻¹) and irrigation (L1: 20 mm, L2 110 mm, L3 184 mm). In another experiment, treatments consisted of application of *Brachiaria brizantha* straw (without straw and with straw, 10 Mg ha⁻¹) and irrigation with 3 TSE fractions in water (F1: 11%, F2: 60% and F3: 100% of TSE). The results over 23 days of evaluation revealed that the soil with SS application had 9,34% increase in CO₂ emission and 2% increase in temperature and 2,59% reduction in pH, as compared to treatments without SS application. The application of straw, combined with irrigation with TSE, increased CO₂ emissions, temperature and soil moisture 8,9%, 3,1% and 12,98%, respectively, compared to treatment without application of straw. Larger fractions of TSE in water resulted in higher CO₂ emissions and higher organic matter content in the soil.

Keywords: biosolids, soil respiration, effluent of sewage treatment plant.

CAPITULO 1 - Considerações Gerais

1.1 Introdução

Estudos recentes oferecem à comunidade científica novas e ampliadas oportunidades para avançar na compreensão da Terra como um sistema complexo (INCT, 2015a), atribuindo às atividades antrópicas grande parte do aumento verificado nas temperaturas médias globais, desde meados do século passado, resultando em aumento das concentrações de gases de efeito estufa (IPCC, 2007). Detectar mudanças ambientais no Brasil e na América do Sul é um dos primeiros objetivos científicos deste século (INCT, 2015a, INCT, 2015b), que investigam as causas das mudanças observadas do aquecimento global, às mudanças, os usos e a cobertura natural dos biomas da Terra e principalmente à urbanização.

A Lei n.12.187, de 29 de dezembro de 2009, versa sobre plano nacional sobre mudança do clima no Brasil e estabelece objetivos ambiciosos para a diminuição ou a mitigação da emissão de GEE até 2020, estabelecendo, inclusive, fundos para alavancar pesquisas para atingir tais resultados. Em estudos sobre economia das mudanças climáticas, foram estimados os custos econômicos das mudanças climáticas, dentro de um quadro integrado da economia brasileira (MOTTA et al., 2011). Com base em estudos de modelagem matemática em mudança climática, podem ser estimados os recursos economizados, antecipados de 1% ao ano, apenas na implementação de políticas públicas até 2050 (HOGAN; MARANDOLA, 2009), representando economia substancial de recursos financeiros.

Os biomas Cerrado, Amazônia e Mata Atlântica constituem três vitrines da biodiversidade, áreas estas onde existe ainda alta riqueza de espécies e níveis de endemismo, onde a agricultura e urbanização avançam desordenadamente, sujeitando à perda rápida e extensiva dos habitats (BUSTAMANTE; SCARANO; JOLY, 2010). As análises das dimensões humanas das mudanças climáticas estão em fase incipiente para lidar com as mudanças climáticas ou programar políticas, principalmente quanto à implementação de políticas de saúde, infraestrutura urbana, geração e destino de resíduos, e vulnerabilidades das populações menos favorecidas (HOGAN; MARANDOLA, 2009). De acordo com o painel brasileiro de mudanças climáticas (SALATI, 2009; MARENGO, 2011; PBMC, 2013), quando são

consideradas a emissão brasileira total (incluindo aquelas devidas à mudança de uso da terra, tratamento de resíduos, entre outras), a participação do setor industrial situa-se próxima aos 5%. Grande parte da emissão de gases de efeito estufa no setor agropecuário do Brasil está associada ao rebanho nacional de bovinos e ao manejo das culturas da soja, milho, cana-de-açúcar e arroz, as quais, juntas, ocupam mais de 70% da área cultivada nacional.

De 1990 até 2005, houve o aumento de 37% de emissão neste setor, considerando-se basicamente o óxido nitroso e o metano (ZSCHORNACK et al., 2011; HUI et al., 2008), fruto não somente do crescimento de rebanhos e de área plantada, mas também da maior utilização de fertilizantes, irrigação e outras tecnologias, o que fez com que o incremento de produção fosse bem superior ao de uso racional do solo e recursos naturais, para suportar a produção nesse mesmo período.

Como a agropecuária contribui com cerca de 35% da emissão totais de gases de efeito estufa (GEE) do País para o ano-base de 2010, também exhibe muitas possibilidades para a mitigação dessa emissão. Nos cenários projetados para 2020, para a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens, de aumento do plantio direto de lavouras em 8 milhões de hectares, da expansão dos plantios de florestas comerciais em 3 milhões de hectares, e também da eliminação da queima da cana-de-açúcar para colheita mecanizada, do uso de aditivos na dieta de bovinos, tratamento de dejetos de suínos e redução da fertilização nitrogenada por inoculantes microbianos, os resultados das pesquisas científicas estimam que o emprego dessas técnicas tem o potencial de mitigar entre 163,3 e 248,5 Mt CO₂ eq até 2020 (PBMC, 2013).

O Decreto n. 7.390/2010 previu a elaboração de planos setoriais de mitigação de GEE, com a inclusão de ações, indicadores e metas específicas de redução de emissão, e mecanismos para a verificação de seu cumprimento. Até 2013, oito planos setoriais de mitigação e adaptação já foram aprovados. A articulação dessas políticas, planos e programas de governo é imprescindível. É essencial que haja efetividade dos resultados e dos recursos aplicados, tanto financeiros como humanos, em um país com recursos restritos, com vantagens ambientais incomparáveis e uma fragilidade considerável em relação ao uso da terra, em especial a pecuária, as queimadas e o desmatamento.

Examinando o conteúdo das políticas estaduais e municipais, é possível identificar dois grandes objetivos comuns a todas as leis: controlar e reduzir a emissão de gases do efeito estufa e reduzir os efeitos das mudanças climáticas (minimizar vulnerabilidades). Fica pouco claro, entretanto, o que vai objetivamente ser mitigado em termos de emissão de gases de efeito estufa (GEE), e como será feita a adaptação. Na maioria das vezes, a concepção das políticas estaduais não é alicerçada em resultados divulgados por inventários ou por estudos de vulnerabilidade realizados pela comunidade científica (INCT, 2015b). As regiões que apresentam maiores vulnerabilidades são, muitas vezes, as regiões menos providas de políticas de mudanças climáticas, ficando alheia ao mapeamento realizado. Além disso, a ausência de políticas regionais pode inviabilizar medidas mitigadoras e de adaptação, e comprometer futuras pesquisas para alcançar os objetivos de redução da emissão de gases do efeito estufa e a minimização das vulnerabilidades locais (INCT, 2015b; PBMC, 2013)

A proporção de emissão de CO₂ eq no Estado de São Paulo, para o setor de resíduos sólidos e efluentes líquidos chegou a aproximadamente 200 kg CO₂ eq. hab ano⁻¹ de emissão per capita/ano (CETESB, 2011). A destinação inadequada dos resíduos sólidos urbanos no Brasil ainda está em 42 % (ABRELPE, 2013), o que resulta em riscos de contaminação ambiental do solo, das águas superficiais e subterrâneas, na disseminação de doenças por patógenos (ANVISA, 2014) e agentes carcinogênicos e agroquímicos (TSUTIYA, 2000; MARCELINO et al, 2013).

Segundo os relatos de Dantas et al. (2012), cerca de 1.400 municípios brasileiros possuem média per capita de consumo de água inferior ao mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS), onde a carga orgânica dos biossólidos se torna elevada em municípios de baixo consumo de água. Esses esgotos apresentam elevada concentração orgânica e exigem sistemas com boa eficiência de remoção da carga orgânica. Quanto à comparação entre a população atendida com coleta e tratamento de esgoto nas unidades da federação, somente o Distrito Federal merece destaque, com mais de 90% de esgoto coletado e tratado, enquanto o Estado de São Paulo, com bom percentual de coleta próxima de 80%, apresenta tratamento de esgoto bruto pouco superior a 40%.

Grande parte dos municípios brasileiros está sem serviço de esgotamento sanitário, 90,3% estão entre os que têm menos de 50 mil habitantes e densidade

demográfica inferior a 80 habitantes/ km² (SINAENCO, 2014). Entretanto, o problema da universalização do esgotamento sanitário também ocorre nos municípios maiores, com mais de 500 mil habitantes, existindo uma parcela de domicílios que ainda não é atendida. Dados mais recente revelam que, dos 100 maiores municípios do Brasil em população, com base em indicadores de coleta e tratamento de esgotos de 2009-2013, percebe-se que os grupos dos 20 melhores e 20 piores têm uma situação bastante distinta em relação às metas estabelecidas para a universalização dos serviços de água e de esgotamento sanitário. Enquanto entre os 20 melhores, boa parte já alcançou a meta ou está no caminho para alcançar, entre os 20 piores, dezenove têm indicadores muito baixos e não alcançariam as metas se permanecessem no mesmo ritmo de evolução dos últimos anos (BRASIL, 2013). A hipótese da nulidade deste estudo é que a aplicação de lodo, de palha e efluente de tratamento de esgoto em água não afeta a emissão de CO₂ e suas relações com as propriedades físicas e químicas do solo.

1.2 Justificativa

O saneamento ambiental constitui-se de um conjunto de ações que visam a proporcionar níveis crescentes de salubridade ambiental em determinado espaço geográfico e é dependente de ações adequadamente implementadas, as quais podem produzir efeitos positivos sobre o bem-estar e a saúde das populações beneficiadas. Pelo fato de as estações de tratamento de esgotos urbanos serem constantes produtoras de dois principais resíduos, o lodo de esgoto (biossólido) e o efluente de estação de tratamento de esgoto (EETE), torna-se imperativo o conhecimento das interações destes resíduos com o solo e a atmosfera. Em muitos municípios, estes resíduos são lançados ainda nos corpos d'água de maneira bruta, impactando severamente o meio aquático. Quando tratados, geram um problema de armazenamento de complicações logísticas e ambientais, pelo grande volume gerado de um deles, o EETE. Já o resíduo de característica sólida, o lodo de esgoto, tem como inconveniente a presença de grandes quantidades de metais pesados e microrganismos. O conhecimento do comportamento do uso agrícola destes resíduos em situações desafiadoras pode auxiliar e viabilizar o seu uso na agricultura, principalmente pela economia de recursos com formulações de adubos.

As informações geradas neste estudo podem permitir o uso, o destino seguro e o manejo ambientalmente correto a estes resíduos, pelos eventuais usuários. Os dois resíduos apresentam concentração de nutrientes elevada, principalmente o nitrogênio e o fósforo, além de carga orgânica considerável. A contribuição ambiental passa a ser significativa na medida da compreensão dos mecanismos que interagem com os atributos físicos do solo, que podem ser elucidados compreendendo a magnitude da emissão dos gases CO₂. Podem, ainda, permitir economia de insumos por efeito substituição de formulações minerais. Estes resíduos têm o potencial de contribuir para a emissão de gases de efeito estufa, particularmente de CO₂, e assim a compreensão do comportamento da emissão deste gás no solo pode dar informações para eliciar futuramente estratégias para amenizar o efeito estufa exacerbadas.

1.3 Objetivo

Avaliar a emissão de CO₂ em função da aplicação de palha, de lodo de esgoto e de efluente de estação de tratamento de esgoto em um Latossolo Vermelho eutroférico.

1.4 Revisão de literatura

1.4.1 Normatização do uso de LE

A resolução do CONAMA 375/2006 (CONAMA,2012) estabelece os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Um dos principais pontos observados é quanto aos processos para a redução da atratividade de vetores, que é composta por 6 critérios: a) digestão anaeróbia do lodo de esgoto ou produto derivado; b) digestão aeróbia do lodo de esgoto ou produto derivado; c) compostagem; d) estabilização química; secagem; f) aplicação subsuperficial, e g) incorporação no solo. Aponta as áreas em que o lodo de esgoto, ao ser aplicado, também deverá ser controlado, ou seja, é exigido um monitoramento das mesmas. O gerador do resíduo, no caso as estações de tratamento de esgoto, deverá ser

capaz de identificar qual lote de lodo de esgoto foi aplicado em qual área agrícola. Dessa maneira, tem-se um controle maior do uso do resíduo, facilitando, inclusive, a identificação de falhas na aplicação e/ou na avaliação da qualidade do lodo de esgoto utilizada (SANTOS; TSUTIYA, 1997).

O lodo de esgoto é um resíduo conhecido por ser rico em nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, matéria orgânica e micronutrientes, os quais são benéficos para o crescimento das plantas e podem contribuir para melhorar o rendimento das culturas (KAUTHALE et al., 2005). O lodo de esgoto também é considerado um substituto parcial, e até mesmo total dos fertilizantes comerciais, e a utilização como fertilizante proporciona diminuição pela exigência de fertilizantes comerciais (KHALEEL; REDDY; OVERCASH, 1981).

A aplicação de lodo de esgoto tem sido reportada em melhorar as propriedades biológicas dos solos que, por sua vez, facilita o melhor crescimento das plantas e condições físico-químicas dos solos, mas tem como inconveniente a presença de metais pesados (KHALEEL; REDDY; OVERCASH, 1981; WONG et al., 2001; KUMAR; CHOPRA, 2014). O uso de lodo de esgoto aumenta o teor de húmus do solo e melhora a porosidade do solo, pois em sua constituição apresenta teor de matéria orgânica em mais de metade da massa do lodo de esgoto, melhorando a condição física do solo (KHALEEL; REDDY; OVERCASH, 1981; KAUTHALE et al., 2005).

O lodo de esgoto pode enriquecer o solo com macronutrientes, tais como fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio, e micronutrientes, além de proporcionar aumento da matéria orgânica, a qual contribui para reduzir a densidade do solo, aumentar a estabilidade dos agregados, aumentar a capacidade de retenção de água dos solos e promover maior infiltração de água no perfil do solo (KHALEEL; REDDY; OVERCASH, 1981). Além disso, a matéria orgânica também influencia sobre o armazenamento de nutrientes e contribui para a diversificação da biota do solo, bem como atenua a vulnerabilidade à erosão e aumenta de a recirculação de ar em solos de textura fina, como resultado da aplicação do lodo (KHALEEL; REDDY; OVERCASH, 1981; PAKHNENKO; ERMAKOVA; UBUGUNOV, 2009).

A aplicação de lodo de esgoto em taxas mais altas também aumenta a capacidade de troca catiônica e a condutividade elétrica dos solos. O aumento da

condutividade elétrica fornece sítios de adsorção de nutrientes essenciais próximo à zona da raiz. O aumento da capacidade de troca catiônica também ajuda a limitar a biodisponibilidade de metais pesados tóxicos (YILMAZ; TEMIZGUL, 2012). A microfauna e a microflora dos solos podem também ser alteradas após a adição de esgoto. De acordo com Zaman et al. (2002), a biomassa microbiana do solo, carbono, nitrogênio, dióxido de carbono e a atividade de enzimas, tais como as proteases, aminases e a urease, tornam-se significativamente maiores nos solos com uso de lodo de esgoto, que quando utilizados somente fertilizantes químicos, devido à maior disponibilidade de substratos orgânicos que estimulam a atividade microbiana.

O pH do lodo de esgoto pode variar entre ligeiramente ácido a intervalos alcalinos e neutros, e, dependendo da quantidade aplicada, pode reduzir o pH do solo, devido à liberação de ácidos húmicos, e pode aumentar a condutividade elétrica dos solos (ZAMAN; CAMERON; INUBUSHI, 2002). No entanto, em solos ácidos, foram observados aumentos do pH logo depois da aplicação do lodo de esgoto (ZAMAN; CAMERON; INUBUSHI, 2002; KHALEEL; REDDY; OVERCASH, 1981). O pH do solo pode aumentar devido ao cálcio trocável e a outros cátions presentes no lodo. A aplicação de lodo de esgoto, especialmente de lodos de pH elevado, quando aplicados em solos de pH baixo, pode ser acompanhada de redução da saturação de alumínio (KUMAR; CHOPRA, 2014).

O lodo de esgoto é uma fonte segura de nitrogênio e de fósforo para as plantas, e é um nutriente essencial para o seu crescimento, uma vez que é um constituinte de todas as proteínas e ácidos nucleicos. Dessa forma, o rendimento das culturas aumenta com o aumento da aplicação de lodo de esgoto, e o elemento nitrogênio é, muitas vezes, um fator limitante na aplicação do lodo de esgoto em áreas agrícolas (KAUTHALE et al., 2005; KHALEEL; REDDY; OVERCASH, 1981).

1.4.2 Normatização quanto ao uso e características de efluente de estação de tratamento de esgoto(EETE)

A RESOLUÇÃO n. 430, de 13 de maio de 2011, complementa e altera a Resolução n. 357/2005. Dispõe sobre as condições e os padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do

Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Em seus três primeiros artigos, abordam sobre as condições, os parâmetros, os padrões e as diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente o lançamento indireto de efluentes no corpo receptor quando não verificada a inexistência de legislação ou de normas específicas ou disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e de tratamento de esgoto sanitário. A disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores (rios ou lagos), todavia sem causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas e ainda sobre a disposição de efluentes de qualquer fonte poluidora, os quais somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, aos padrões e às exigências dispostos nesta Resolução, ou de outras normas aplicáveis (CONAMA, 2012).

Das condições de lançamento de efluentes, devem ser considerados o pH entre 5 a 9, a temperatura inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor (rios ou lagos) não deverá exceder a 3 °C no limite da zona de mistura, a presença de materiais sedimentáveis até 1 mg L⁻¹, em teste de 1 hora em cone Imhoff. Em corpos de água estática, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula (lagos e lagoas), os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes. O regime de lançamento deve atender à vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente. Óleos minerais se admite até 20 mg L⁻¹, óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg L⁻¹, deve-se ter ausência de materiais flutuantes e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), 5 dias a 20 °C, ter remoção mínima de 60% de DBO, a qual só poderá ser menos reduzida no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico, que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

1.4.3 Riscos no uso de lodos de esgoto(LE) e efluente de estação de tratamento de esgoto(EETE)

O saneamento no Brasil apresenta imensos déficits nessa área, pois parcelas significativas de sua população não têm acesso aos benefícios do saneamento ambiental. Essa situação é visível tanto quando se comparam as regiões do País ou quando se comparam áreas da maioria das grandes cidades, e está na base dos grandes diferenciais inter e intrarregionais, interurbanos e urbano-rurais observados nas condições de vida e de saúde. Não por acaso, políticas de saneamento vêm sendo identificadas como prioridades que poderiam reduzir esses imensos diferenciais, constituindo-se em um importante fator de equidade (BRASIL, 2004). O saneamento ambiental constitui-se de um conjunto de ações que visam a proporcionar níveis crescentes de salubridade ambiental em determinado espaço geográfico, em benefício da população que habita este espaço. Essas ações, se adequadamente implementadas, podem produzir uma série de efeitos positivos sobre o bem-estar e a saúde das populações beneficiadas, considerações estas abordadas em estudo de Galvão Júnior (2009).

Em estudo recente sobre marco regulatório de saneamento no Brasil, foram realizados dados de 2.716 delegações reguladas para os componentes abastecimento de água e esgotamento sanitário. Os dados apontam que 48,8% do total de delegações possíveis no Brasil, mais da metade (50,3 %) das economias que são abastecidas com água potável (29.089.812 habitantes), aproximadamente 14.457.689 habitantes, não dispõem de acesso aos serviços públicos de esgotamento sanitário (BRASIL, 2013).

A questão sanitária prevista nas normas de uso do lodo de esgoto foi observada nos estudos de Magalhães (2012), que constatou que o decaimento de patógenos no solo foi identificado como importante barreira de proteção e minimização de riscos à saúde de trabalhadores envolvidos em atividades de manejo agrícola na utilização de diversos resíduos de origem urbana. O intervalo de dois meses entre a aplicação do biossólido e o cultivo das hortaliças foi muito menor que o exigido na Resolução Conama 375/2006, e ainda apresentaria considerável margem de segurança em relação à contaminação. Entretanto, intervalos maiores, de quatro a seis meses, conduziram para todas as classes de biossólidos, a níveis

mínimos de risco, sugerindo que as exigências em termos de intervalos de tempo impostas na Resolução Conama 375/2006 sejam demasiadamente rigorosas.

Correa, Fonseca e Correa (2007) trataram o biossólido por meio das técnicas da compostagem e vermicompostagem do lodo de esgoto de Brasília, utilizando resíduos de serragem, poda de árvores e de gramíneas, misturadas com lodo de esgoto, em pilhas de compostagem. Depois de terminado o processo de compostagem (composto maduro), ele foi então inoculado com minhocas para ser vermicompostado. Originalmente, o LE apresentava 4,7 ovos viáveis de helmintos por grama de matéria seca, e o processo de compostagem reduziu essa concentração para valores entre não detectáveis a 0,34 ovos viáveis de helmintos por grama de material seco, representando uma eficiência de desinfestação entre 93 e 100 %. Após a vermicompostagem, não foram detectados ovos viáveis de helmintos e, portanto, o processo mostrou-se capaz de produzir biossólidos livres de helmintos, que são permitidos para o uso agrícola no Brasil.

Recentemente, Rossmann et al. (2014) avaliaram a técnica de caleação sobre o lodo de esgoto com o propósito de melhorar o aspecto sanitário do produto. A técnica consistiu em adicionar cal hidratada ao lodo para a elevação do pH a 12. Os resultados mostraram que o lodo de esgoto sem adição de cal indicou a presença de expressiva quantidade de ovos de helmintos viáveis por grama de sólidos totais. A caleação do lodo, que elevou o pH acima de 12, por 2 e 72 horas, proporcionou contagem de aproximadamente 2 e zero ovos de helmintos viáveis por grama de sólidos totais, respectivamente. A caleação do lodo mostrou ser uma técnica capaz de inativar de 93,75 a 99,32% dos ovos de helmintos, nos tempos de 2 e 72 horas após o tratamento, possibilitando melhorar a classificação do lodo.

Silva (2012) avaliou aspectos físicos, químicos, biológicos e ecotoxicológicos em diferentes amostras de lodo de esgoto, para validar o índice de perigo de lodo de esgoto (IPLE) e verificar a possibilidade do uso agrícola. De acordo com os resultados obtidos, as amostras de lodo de esgoto das estações de tratamento de esgotos dos municípios de Bernardino de Campos, Coronel Macedo, Fartura, Franca e Itaberá atenderam aos limites preconizados referentes aos metais potencialmente tóxicos e à concentração de patógenos, mas, segundo o IPLE, apenas as amostras de lodo de esgoto das estações de tratamento de esgoto do município de Franca, após 5 meses de acondicionamento em recipientes de polietileno, estão aptas ao

uso agrícola. A utilização do índice IPLE, que é baseado em testes ecotoxicológicos, pode constituir em ferramenta auxiliar na caracterização inicial do lodo de esgoto, para sua liberação e disposição na agricultura, na tentativa de proporcionar maior segurança aos integrantes da cadeia alimentar.

1.4.4 Uso de LE na agricultura

No Brasil, o uso agrícola de lodo de esgoto ainda é restrito, entretanto já existem programas nacionais de controle de impactos ambientais visando a estimular a possibilidade da recuperação de solos erodidos ou empobrecidos, e é amplamente possível, pelas características da composição média dos lodos (SILVA; RESCK; SHARMA, 2002; PIRES; ANDRADE, 2014). O uso de lodo de esgoto é uma prática para a conservação e a recuperação dos solos degradados e/ou com baixa fertilidade. Vários estudos no Brasil comprovaram a eficácia do uso agrícola de lodo de esgoto, entretanto existe a presença de metais pesados (MELO et al., 1994; OLIVEIRA, 1995; TSUTIYA, 2000), patógenos e compostos orgânicos persistentes, que são fatores que necessitam de mais estudos e monitoramento (COSTA; BERTON, 2004). O nitrogênio, na forma de nitrato, pode representar um problema de risco de contaminação das águas subterrâneas (PINTO et al., 2013). Uma vez adicionado ao solo, pode tornar-se um poluente e entrar na cadeia alimentar, ou acumular-se no próprio solo, no ar, na forma de emissão de CH_4 , N_2O ou CO_2 , nas águas superficiais, nos sedimentos e nas águas subterrâneas.

Fortes (2011), avaliando a possibilidade de utilização de lodo de esgoto na cultura da bananeira irrigada, não constatou diferença significativa para os parâmetros de produção e pós-colheita, indicando que a adubação com LE pode substituir a adubação com nitrogênio mineral, para a condição do experimento. A adubação orgânica com lodo de esgoto, em doses superiores às da legislação, apresentou níveis crescentes para a matéria orgânica no solo em função da substituição do nitrogênio mineral. Os microelementos B, Cu, Fe e Zn estiveram presentes em maior quantidade na polpa do que na casca dos frutos. A quantidade aplicada de lodo na área experimental, mesmo apresentando diferenças estatísticas, foi segura e não apresentou risco de contaminação ambiental com metais pesados, conforme os limites estabelecidos. O lodo de esgoto aumenta os teores de metais

pesados do solo, mas estes permanecem aquém dos valores considerados perigosos ao ambiente, no caso deste pesquisador, com as quantidades aplicadas. Os teores de metais pesados foram maiores na casca que na polpa do fruto da bananeira, mas não apresentaram níveis que possam conferir risco de toxidez à alimentação. Para outros casos, o uso do LE necessita de uma complementação com formulações NPK em função da necessidade da cultura objeto.

Lira, Guedes e Schalch(2008) aplicaram doses de até 40 Mg ha⁻¹ de biossólido para cultivo de *Eucalyptus grandis* e constataram que a biomassa de eucalipto total acima do solo, dos tratamentos onde os eucaliptos que receberam 10 Mg ha⁻¹ de biossólido + K e P mineral, e adubação mineral completa produziram, em média, 63% a mais do que a testemunha, além de maiores valores de conteúdo de carbono e nitrogênio na biomassa. A utilização de biossólido com característica alcalina superficialmente resultou em baixas taxas de decomposição, aos cinco anos após a aplicação, e não contribuiu para aumentar os estoques totais de carbono e nitrogênio no solo.

Lima, Nascimento e Sampaio (2013) avaliaram a perspectiva de aplicação de lodo de esgoto, utilizando técnicas modernas de sistema de informação geográfica (SIG), respeitando a resolução Conama n. 375 de 2006, e constataram que 79 % da área total do município de Montes Claros-MG, corresponderam a áreas com alta e média potencialidade à aplicação do lodo de esgoto, correspondendo à área de 2.983 km². Diante das ressalvas previstas nesta resolução, verificou-se que a utilização do SIG permitiu caracterizar as áreas promissoras para a aplicação do lodo de esgoto de maneira satisfatória.

1.4.5 Uso de EETE na agricultura

Um resíduo gerado nas estações de tratamento de esgoto, o principal resíduo do tratamento do esgoto bruto, o efluente de estação de tratamento de esgoto (EETE), que foi submetido a tratamento, deve atender a requisitos técnicos para lançamentos em corpos receptores, e dentre estes requisitos, o pH deve estar entre 5 e 9, a temperatura inferior a 40 °C, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) a 20 °C, no máximo de 120 mg L⁻¹, ausência de materiais flutuantes e substâncias solúveis em hexano, e sua disposição é regulamentada nos corpos d'água após os

tratamentos preliminar, primário e secundário, o qual deve atender à resolução n. 430, de 13 de maio de 2011(CONAMA, 2012).

Pescod (1992) relata, através de um exemplo, que uma cidade com população de aproximadamente 500.000 habitantes, com um consumo de água de 200 L/dia/habitante, pode produzir cerca de $85.000 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ($31 \text{ Mm}^3 \text{ ano}^{-1}$) de águas residuais, assumindo 85% do esgotamento sanitário apenas de origem de sistema de esgoto público. O esgoto bruto tratado gera o efluente de estação de tratamento de esgoto- EETE, que pode ser utilizado na irrigação cuidadosamente controlada, a uma taxa de aplicação de $5.000 \text{ m}^3 / \text{há}/\text{ano}$, e poderia irrigar uma área de cerca de 6.000 ha. Adicionalmente, traria um benefício econômico de água, e ao mesmo tempo uma economia de formulações de adubos. Admitindo-se concentrações médias de nutrientes nos efluentes de tratamento de esgoto pelos processos de tratamento de esgotos convencionais, no efluente, teríamos aproximadamente as quantidades de 50 mg L^{-1} de nitrogênio (N), 10 mg L^{-1} de fósforo (P) e de 30 mg L^{-1} de potássio(K). Admitindo-se uma taxa de aplicação de $5.000 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$, a contribuição do efluente representaria uma economia de o equivalente a $250 \text{ kg}/\text{ha}/\text{ano}$ de N, $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}$ de P e $150 \text{ kg}/\text{ha}/\text{ano}$ de K.

A composição de nutrientes nos efluentes tem estimulado seu uso na agricultura, suprimindo água e, ao mesmo tempo, elementos essenciais às plantas. Neste aspecto, Bertoncini (2008) relata que as atividades agrícolas demandam grandes volumes de água e geram grandes quantidades de resíduos. O reúso de efluentes sanitários proporciona suprimento de água para as plantas e, ao mesmo tempo, para o solo, funcionando como um sistema de pós-tratamento do resíduo, depurando a carga orgânica. Entretanto, existem riscos de sodicidade do solo e de contaminação da água subterrânea com nitrato e patógenos no reúso agrícola de efluente sanitário.

Paula (2008) estudou o uso do EETE, onde avaliou o efeito de três lâminas excedentes de irrigação (25%, 50% e 100%) em pastagem com capim-Tifton, por 18 meses, numa área de pastagem com capim-Bermuda Tifton 85 (*Cynodon dactylon* Pers. x *C. niemfuensis* Vanderyst) e verificou que as três lâminas de irrigação promoveram redução da acidez ativa, dos teores de magnésio e potássio trocáveis, e aumento nos teores de cálcio e sódio trocáveis do solo. Os microrganismos amonificantes e os desnitrificantes foram os mais influenciados pelas lâminas de

irrigação com efluente, e a lâmina com 25% de excesso foi a que promoveu a menor variação nas estirpes funcionais de microrganismos, e as áreas irrigadas com EETE apresentaram prevalência de bactérias oxidantes de amônio. Santos et al. (2009) utilizaram EETE em diversas concentrações acima da capacidade de campo, em um Argissolo Vermelho distrófico, irrigado com EETE, e constataram modificações nos processos de ciclagem do carbono ao longo do perfil do solo, fato este atribuído ao aumento da água disponível no solo, a qual estimulou a atividade de decomposição da matéria orgânica.

Santos (2004) avaliou o aproveitamento do EETE do Município de Lins-SP, no capim-Tifton 85, e constatou que ocorreu acidificação do solo e redução do pH do solo. O efluente foi eficiente em suprir a gramínea com a necessidade de água e não houve interferência na produção de matéria seca da gramínea durante o período experimental. Santos et al. (2006) constataram aumentos na quantidade disponível de nitrogênio ao longo do perfil do solo ao aplicar EETE em cafeeiro de forma localizada, em diferentes lâminas de aplicação, e concluíram que é possível o suprimento da cultura de café com o nitrogênio de EETE.

Deon et al. (2010) constataram que a irrigação com EETE resultou em ganhos de produtividade, pela irrigação reposta, via informações de evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar. Além disso, a irrigação com EETE, resultou em economia com fertilização nitrogenada no longo prazo, particularmente à recomendação no cultivo da primeira e segunda rebrota da cana-de-açúcar.

1.4.6 Emissão de GEE por LE

Boeira, Ligo e Maximiliano (2009) avaliaram o potencial de emissão de CO₂ de dois LE, o LEs, o de Franca e o de Barueri, e os dois LEs apresentaram padrão de emissão de CO₂ semelhante. A liberação de CO₂ decresceu ao longo do tempo de avaliação. A emissão de CO₂ de lodo foram proporcionais às concentrações das doses aplicadas. A taxa respiratória foi maior no início da incubação, resultando em 50% ou mais da decomposição total da matéria orgânica dos lodos de esgoto nos primeiros 15 dias.

Pitombo (2011) avaliou a emissão de gases de efeito estufa no uso de LE proveniente da estação de tratamento de esgotos do município de Jundiaí, aplicados

ao solo pelo período de 2001 a 2007, e os resultados demonstram que a aplicação de LE propiciou incremento de carbono e nitrogênio no solo. Os fluxos de CO₂ foram mais influenciados pela disponibilidade de água no tratamento-controle e pelo aumento de temperatura ambiente nos tratamentos com aplicação de LE. Pelo fato de o estoque de carbono permanecer no solo mesmo após 2 anos sem aplicação de LE, o autor sugere que a utilização de LE em áreas agrícolas pode ser uma importante ferramenta para mitigação do aumento do efeito estufa.

1.4.7 Emissão de GEE por EETE

Nogueira (2008) avaliou o uso de EETE no capim-Tifton, semelhante a Santos (2004), e verificou que os estoques de nitrogênio dos tratamentos irrigados com EETE não foram afetados. A entrada de carbono e de nitrogênio do EETE não afetou a composição da matéria orgânica do solo. Foi possível verificar ainda que a emissão média de CO₂ foi maior nas épocas das chuvas que na estação seca, indicando a importância das condições climáticas favoráveis à maior umidade do solo neste aspecto.

Santin (2012) investigou os efeitos da irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto na emissão de gases de efeito estufa (GEE), dentre os quais CH₄, CO₂ e N₂O em um Argissolo Vermelho distrófico, e constatou que é uma prática sustentável, ao cultivar com capim-Tifton 85, irrigado com EETE produzido por tratamento biológico, do esgoto do Município de Lins-SP. O capim-Tifton 85 respondeu mais em produção de matéria seca nos tratamentos que receberam irrigação com EETE, quando comparados àqueles irrigados com água apenas. A irrigação com EETE contribuiu para elevar as concentrações de carbono e nitrogênio no solo, além de a emissão de N₂O e CO₂ depender predominantemente da temperatura e da umidade ambiente, e o CH₄ foi o único que não apresentou relação direta de sua emissão com a sazonalidade climática. A emissão de CO₂, N₂O e CH₄ pelos solos irrigados com EETE não diferiu das pastagens não irrigadas, ou irrigadas com água, mas foi possível notar que em média a emissão de CO₂ foi sendo reduzida à medida da aproximação da estação seca.

Matsura et al. (2014) utilizaram EETE combinado com adubação complementar na cultura da cana-de-açúcar, e constataram que os tratamentos

irrigados com EETE apresentaram incremento na emissão de CO₂ quando comparados ao irrigado com água apenas, sem complementação nutricional. O cultivo não irrigado emitiu mais óxido nitroso, enquanto os cultivos fertirrigados apresentaram potencial de mitigar a emissão do N₂O em relação ao cultivo com adubação de cobertura. No cultivo da cana-de-açúcar, o metano apresentou baixa influência na emissão total dos gases de efeito estufa. Desse modo, os resultados das pesquisas utilizando os principais resíduos de estações de tratamento de esgoto demonstram a possibilidade do destino ambientalmente apropriado de EETE e lodo de esgoto (biossólido), mas sempre observando os critérios de legislação e monitoramento das áreas que recebem tais resíduos.

1.4.8 Uso de palha na agricultura

A cobertura do solo com materiais fibrosos degradáveis melhora as condições gerais do solo (ZHU et al., 2014; SILVA et al., 2006). A palha diminui a exposição do solo ao calor e ao vento, e atenua as perdas de água por evaporação, evita a compactação e a degradação do solo (COSTA; ALVES; SOUSA, 2015; RAMAKRISHNA et al., 2006), além de contribuir para reduzir as ervas daninhas do solo (ZHU et al., 2014; RAMAKRISHNA et al., 2006) e amenizar os efeitos de períodos de déficit hídrico do solo (ALMEIDA et al., 2014; SÁ et al., 2010), estimulando a renovação do sistema radicular e a absorção de nutrientes (RAMAKRISHNA et al., 2006).

A presença da palha melhora os atributos físicos do solo, tal qual a densidade do solo, a macroporosidade e a microporosidade (SÁ et al., 2010), e os atributos microbiológicos, tais como a maior presença de enzimas, e aumenta a respiração do solo pela atuação de microrganismos (CARNEIRO, 2010), contribuindo na decomposição e na ciclagem de nutrientes, o que propicia um enriquecimento do teor de carbono e de matéria orgânica no solo, evitando a erosão do solo e melhorando sua qualidade (COSTA; ALVES; SOUSA, 2015; CARNEIRO et al., 2009).

Os materiais utilizados com maior frequência na cobertura do solo são as palhas de gramíneas e os restos de colheita de cultura anuais, que são deixados após a colheita (ZHU et al., 2014; SÁ et al., 2010; SILVA et al., 2006), os materiais de espécies lenhosas (CARNEIRO, 2010), ou mesmo o plantio de gramíneas em

consórcio com culturas anuais (SILVA et al.,2006) em sistemas de integração lavoura/ pecuária(COSTA; ALVES; SOUSA; 2015; CARNEIRO et al., 2009), ou são dessecados com herbicidas, para plantio direto de culturas de inverno.

Em estudos realizados por Almeida et al.(2014) com palha sobre o solo, na emissão de CO₂ em cana-de-açúcar, indicaram que maiores temperaturas do solo resultaram em maior emissão de CO₂, e a presença de palha de cana na superfície emitiu menos CO₂ acumulado no período total, quando comparado à palha incorporada. Oliveira et al.(2014) constataram que a manutenção da palha de cana sobre o solo, ou o fato de não queimar a palhada remanescente da cana-de-açúcar, afetou positivamente os atributos microbiológicos, químicos e físicos dos solos, melhorando a qualidade do solo e reduzindo sua degradação.

CAPÍTULO 2 - EMISSÃO DE CO₂ E SUA RELAÇÃO COM ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO COM APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO E TRÊS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

RESUMO: O estabelecimento de práticas de gestão de resíduos aplicados ao solo, com propósito sustentável, implica investigar e minimizar seus riscos ambientais associados às possíveis alterações climáticas globais. A emissão de gases de efeito estufa, a contaminação do solo e os impactos negativos em ecossistemas já fragilizados têm preocupado a comunidade científica nos dias atuais. Neste trabalho, investigaram-se o efeito da aplicação de lodo de esgoto e irrigação na emissão de CO₂ e na alteração dos atributos físicos do solo: temperatura, umidade, porosidade livre de água e pH. O experimento foi conduzido ao longo de 23 dias, em novembro de 2013, em área de 160 m² de Latossolo Vermelho eutrófico, desprovida de vegetação. Os tratamentos constituíram da aplicação de lodo de esgoto (sem lodo de esgoto e com lodo de esgoto, 10 Mg ha⁻¹) e da aplicação de irrigação (L1: 20 mm, L2: 110 mm e L3:184 mm). O solo submetido ao lodo de esgoto emitiu 9,34 % mais CO₂, a temperatura do solo foi 2% superior e o pH do solo foi reduzido em 2,59% em relação ao solo sem aplicação de lodo de esgoto.

Palavras-chave: bio sólidos, propriedades físicas do solo, respiração do solo.

CHAPTER 2 - CO₂ EMISSION AND ITS RELATIONSHIP WITH CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF A LATOSOL WITH SEWAGE SLUDGE APPLICATION AND THREE IRRIGATION

SUMMARY: The establishment of management practices for waste application in agricultural soil, in a sustainable way, implies to investigate and minimize their risks on possible global climate changes. The emissions of greenhouse gases, soil contamination and negative impacts on ecosystems already vulnerables have worried the scientific community today. In this work, we investigated the effect of applying sewage sludge and irrigation in CO₂ emissions and in changing soil physical properties: temperature, humidity, water free of porosity and pH. The experiment was conducted over 23 days in November 2013, in an no vegetated area of 160 m² of Oxisol. The treatments consisted of sewage sludge application (no sewage sludge and sewage sludge application of 10 Mg ha⁻¹) and the application of irrigation (L1: 20 mm L2: 110 mm and L3: 184 mm). The soil under sewage sludge increased CO₂ emission in 9,34% and soil temperature in 2% and reduced soil pH in 2,59% as compared to the soil without application of sewage sludge.

Keywords: biosolids, soil physical properties, soil respiration.

2.1 INTRODUÇÃO

A água é um fator importante na compreensão dos processos das transferências gasosas no sistema solo/atmosfera, dos gases de efeito estufa, os quais apresentam dependência direta com a umidade do solo, e uma correlação significativa dos gases CO₂, CH₄ e N₂O com os teores de carbono e nitrogênio microbiano do solo (DIJKSTRA; MORGAN, 2012; SIQUEIRA NETO et al., 2011). Diferentes solos e sistemas de preparo do solo apresentam comportamentos variáveis no fluxo de carbono para a atmosfera, tais como a prática de manutenção da umidade do solo via plantio direto, ou mesmo pela manutenção de resíduos vegetais sobre o solo (TEIXEIRA et al., 2011; TAVARES FILHO; TESSIER, 2010; CORRADI et al., 2013).

A umidade do solo tem sido reportada como um fator importante que pode influenciar na relação entre as variações das taxas de emissão de CO₂ e na temperatura do solo (ZANINI; BARRETO; LA SCALA JÚNIOR, 2005; PANOSSO et al., 2011) quando se utiliza fertirrigação, uma forma de fornecimento de nutrientes por via hídrica, assim como pode ser feita através do uso de efluentes de estação de tratamento de esgoto. O uso de efluentes de estação tratamento de esgoto ou de resíduos orgânicos adicionados ao solo representa uma oportunidade de reciclagem e de fornecimento de nutrientes (SILVA et al., 2012; STROJAKI et al., 2014), além da redução de custos com formulações minerais (SILVA NETO et al., 2010).

Uma característica importante do uso de resíduos é a taxa de degradabilidade que pode variar de acordo com a composição do resíduo utilizado e com a lâmina de irrigação imposta (SOUZA et al., 2014). Além disso, a utilização de resíduos orgânicos ao solo visa a aumentar a matéria orgânica do solo, a melhorar a taxa de infiltração de água e incrementar a atividade microbiana. Entretanto, pode ocorrer aumentos na emissão de gases de efeito estufa (GEE) dos três principais gases: CO₂, CH₄ e N₂O (FORTES NETO et al., 2012). Atributos físicos, tais como a temperatura, a umidade, a densidade e a macroporosidade, e atributos químicos, tais como teor e quantidade de carbono, e matéria orgânica auxiliam para explicar, em parte, as variações na emissão espacial e temporal do CO₂ (TEIXEIRA et al., 2013; FERREIRA et al., 2011; PANOSSO et al., 2011; SILVA-OLAYA et al., 2013).

A umidade do solo representa um atributo físico que pode interferir na velocidade com que os resíduos utilizados na agricultura são degradados (FORTES NETO et al., 2012; SOUZA et al., 2014), principalmente pelo fato de poder criar uma condição mais propícia aos microrganismos do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; FORTES NETO et al., 2012) de modo que as maiores taxas de aplicação dos resíduos têm uma correspondência com maior emissão de CO₂ (COSCIONE et al., 2014), e maiores lâminas de irrigação encurtam o tempo de degradação dos resíduos (SOUZA et al., 2014).

O lodo de esgoto (LE) é um resíduo gerado nas estações de tratamento de esgoto urbano, rico em macronutrientes, entre os quais o nitrogênio, o potássio e o fósforo (KESKİN; BOZKURT; AKDENİZ, 2012; BONI; ALVES; MANTOVANI, 2015), matéria orgânica e os microelementos (Fe, Mn, Zn e Cu) os quais são benéficos para o crescimento das plantas, melhorando o rendimento das culturas (CARDOSO et al., 2013; MTSHALI; TIRUNEH; FADIRAN, 2014). O LE tem em sua composição elementos que podem ser alvo de risco, tais como os metais pesados Ba, Cr, Pb e Cd (ANGIN et al., 2012; COSCIONE et al., 2014), e avaliar a emissão de CO₂ na aplicação de lodo de esgoto sob irrigação em Latossolo Vermelho eutroférico.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da FCAV-UNESP, Jaboticabal-SP, na latitude de 21°15'22"S, longitude 48°18'58"W e altitude de 595 metros. O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa, de acordo com o sistema de classificação de solos da Embrapa (2013). O clima no local foi classificado como CWA tropical (Köppen), com verão chuvoso e inverno seco, e temperatura média de 22,2 °C. A quantidade média de precipitação anual é de aproximadamente 1.425 milímetros, concentrando-se mais entre outubro e março. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 3, com 4 repetições, no qual o primeiro fator correspondeu a aplicação de lodo de esgoto (SLE igual a zero e CLE igual a 10 Mg ha⁻¹) e o segundo fator, lâminas de irrigação: L1 igual a 20 mm, L2 igual a 110 mm e L3 igual a 184 mm. A área experimental foi inicialmente cultivada com *Brachiaria* (Syn.

Urochloa) brizantha cv. Marandu (Figura 1), de novembro de 2012 a julho de 2013, quando a forrageira foi dessecada com glifosato, seguido de sua remoção da área com enxada. Em seguida, a área experimental foi preparada com enxada rotativa, em duas passadas, na profundidade de 15 cm, e, em seguida, foram demarcadas as parcelas nas dimensões de 1,2 x 2,0 m (Figura 1).

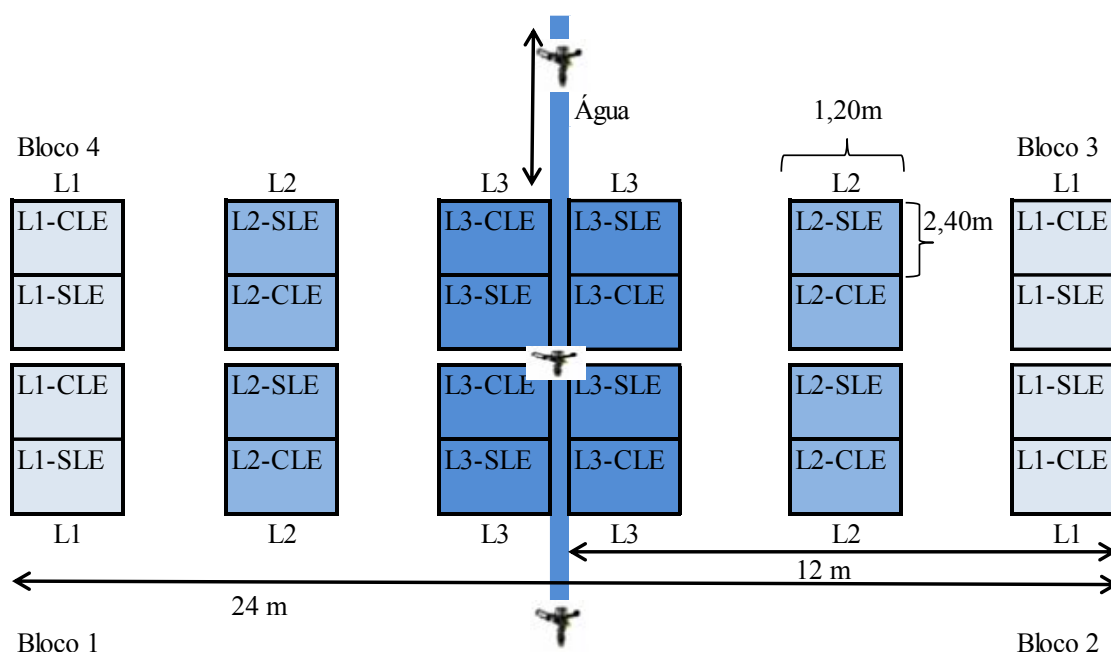


Figura 1. Esquema da área experimental, com linha de distribuição de água e unidades experimentais com tratamentos de lâminas de irrigação (L1, L2 e L3).

Um dia antes do início das medições de CO₂, incorporou-se o lodo de esgoto nas respectivas parcelas. O lodo foi obtido da Estação de Tratamento de Esgoto, ETE de Jaboticabal-SP, a qual tem um sistema misto, primeiro anaeróbio, utilizando a tecnologia de digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA), e complementado com um pós-tratamento aeróbio, através de três lagoas facultativas. O material coletado foi secado ao sol, triturado, e determinada sua matéria seca antes de aplicá-lo ao solo. Informações sobre dados climáticos durante o período experimental e informações sobre evapotranspiração de referência (ET_o), irrigação, precipitação e lâmina total durante o período experimental encontram-se na Figura 2 e Tabela 1.

As lâminas de irrigação L1, L2 e L3 foram 20 mm, 110 mm e 184 mm, respectivamente, aplicadas com frequências de duas vezes por semana (Tabela 1).

A distribuição gradual da precipitação foi obtida por um sistema de aspersão em linha com aspersões Senninger (Modelo 3023-2 com duplo bocal de 8 x 5 mm), operadas com pressão de 300 kPa, vazão de $0,845 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, no espaçamento de 6 m entre aspersões na linha. O sistema de irrigação apresentou coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) de cerca de 89 e 83%, respectivamente. A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método Penneman-Monteith, padronizado pela FAO-56 (ALLEN et al., 1998), com dados meteorológicos diários coletados na Estação Agroclimatológica da FCAV-UNESP, localizada próximo da área experimental, cujos valores totais são apresentados juntamente com lâmina de irrigação, precipitação e lâmina total aplicada. Os dados climáticos durante o período experimental, com informações de temperaturas máxima, média e mínima, precipitação, radiação solar e evapotranspiração são apresentados na Figura 2.

Tabela 1. Totais de evapotranspiração de referência (ET_o), irrigação, precipitação e lâmina total durante o período experimental.

Tratamento	ET _o mm dia ⁻¹	Irrigação mm	Precipitação mm	Lâmina total mm
L1		20		95
L2	119,2	110	75	185
L3		184		259

No dia seguinte à aplicação do LE, iniciou-se o experimento com as leituras de emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo, tomadas entre 8 e 10 h, nas 24 parcelas do experimento. Para a medição da emissão de CO₂, foram implantados em cada parcela colares de PVC de 100 mm de diâmetro, com altura de 10 cm, inseridos 3 cm no solo. As leituras foram registradas utilizando-se de um sistema portátil da companhia LI-COR (LI-8100, Nebraska EUA). Esse sistema consiste em uma câmara fechada, acoplada sobre os colares anteriormente inseridos no solo, nos pontos estudados. Em seu modo de medição, o sistema monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer), de acordo com o descrito por Panosso et al. (2006).

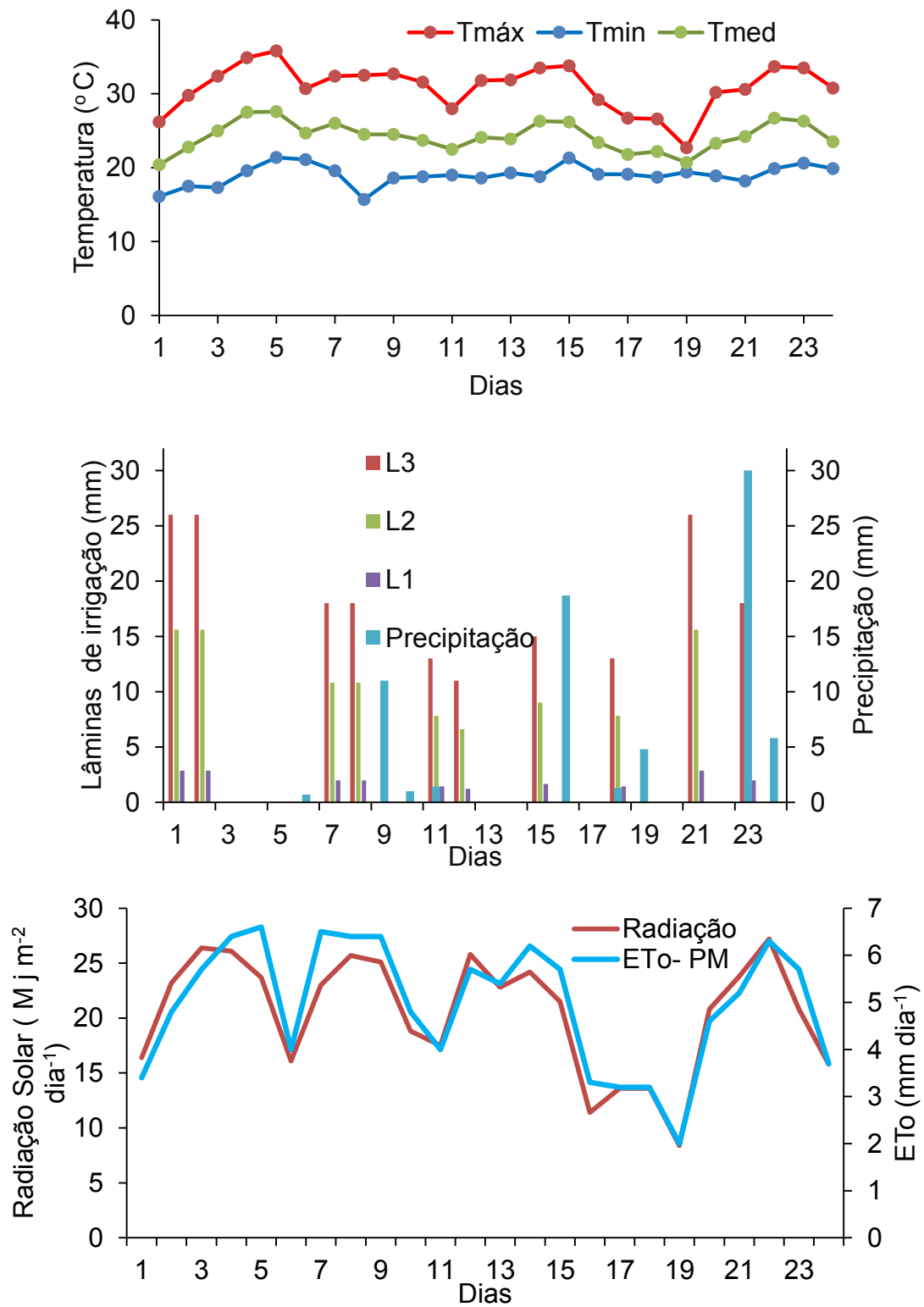


Figura 2. Dados climáticos durante o período experimental

Concomitantemente às leituras de emissão de CO₂, foram tomadas as medidas de temperatura do solo na camada de 0-12 cm de profundidade, utilizando-se de um termômetro (termistor portátil), o qual era parte integrante do sistema ao qual a câmara para solos é acoplada. A umidade do solo foi medida utilizando-se de um sistema portátil do tipo TDR-Campbel® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália), que avalia a umidade disponível do solo (% em volume) na camada de 0-12 cm, conforme descrito por Moitinho (2013). Amostras de solo deformadas foram coletadas também na profundidade de 0-20 cm, com auxílio de um trado tipo holandês, retiradas 3 meses antes do início do experimento e ao final do experimento, próximo da área de cada colar de PVC, para a determinação das características do lodo no solo e na unidade de produção do lodo (Tabela 2).

Tabela 2. Características do solo nas parcelas sem e com a adição de lodo de esgoto no solo, e composição do lodo obtido na estação de tratamento de esgoto de Jaboticabal.

	pH	MO	P	S	Ca	Mg	K	Al	H+Al	SB	CTC	V
LE no												
solo	CaCl ₂	gdm ⁻³	mgdm ⁻³					mmol _c dm ⁻³				%
SLE	5,5	34,5	50,7	6,5	41,0	13,5	2,9	0,4	27,6	58,4	86,0	68,0
CLE	5,4	33,6	59,8	9,3	41,1	12,5	2,8	0,4	34,5	57,3	91,8	62,0

LE da	pH	MO	P	N	Ca	Mg	K	C orgânico	Matéria seca
EETE									
	%								
	5,14	62,8	2,3	1,4	3,5	0,5	0,1	36,4	18,4

Amostras de solo indeformadas para as análises físicas de solo foram coletadas com cilindros metálicos de 95 cm³, ao término do experimento, em pequenas trincheiras, abertas com enxadão, na profundidade de 0-20 cm. Foram determinadas a densidade de partículas, a densidade, a umidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, porosidade livre de água, a porcentagem de argila, silte e areia (EMBRAPA, 2009).

Os dados foram submetidos à análise estatística, utilizando-se do pacote Statistical Analysis System (SAS INSTITUTE, 2009). Inicialmente utilizou-se o procedimento PROC GLM, assumindo-se o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3, no qual a aplicação de esgoto (ALE) representa o primeiro fator, sendo SLE, zero de lodo e CLE, 10 Mg ha⁻¹ de LE, e lâminas de irrigação (LIRR) representam o segundo fator, sendo L1: 20 mm, L2: 110 mm e L3:184 mm, com 4 repetições. Em seguida, foi utilizado o teste F ($p < 0,05$), Tabela 3, e teste de Tukey para cada variável dependente analisada (Tabela 4).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de lodo ao solo influenciou significativamente na emissão de CO₂, a temperatura do solo e o pH. As lâminas de irrigação aplicadas influenciaram significativamente a temperatura, a umidade e a porosidade livre de água do solo (Tabela 3). Em média, a aplicação de lodo ao solo emitiu, significativamente, 9,34 % mais $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO₂ que o solo sem aplicação de lodo de esgoto (Tabela 4). A temperatura do solo onde foi aplicado lodo de esgoto aumentou em 2%, em relação àquele em que não foi aplicado lodo de esgoto.

O pH do solo decresceu significativamente, em 2,59 %, onde foi aplicado lodo de esgoto (Tabela 4). A menor lâmina de irrigação aplicada (L1) decresceu significativamente, em 1,8% e 2,57 %, a temperatura do solo em relação às lâminas L2 e L3, respectivamente. A menor lâmina de irrigação decresceu significativamente a porosidade livre de água, em 12,75 % e 34,32%, em relação às lâminas L2 e L3, respectivamente.

Os resultados verificados na diferença significativa nos atributos químicos(N), físicos (microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo) ou as frações granulométricas(areia), provavelmente se relacionam com a dependência espacial, indicando que esses atributos apresentam maior descontinuidade na distribuição espacial (RESENDE et al., 2014; SILVA NETO et al.,2011).

Tabela 3. Análise de variância da emissão de CO₂ e de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico em função da aplicação de lodo de esgoto (LE) e irrigação (LIRR).

Variaveis	Teste F				CV
	ALE	LIRR	Interação	Bloco	
	ALExLIRR				
ECO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	10,70*	1,07 ^{ns}	0,18 ^{ns}	3,04 ^{ns}	6,68
Temperatura(° C)	127,21*	72,13*	1,51 ^{ns}	5,71 ^{ns}	0,44
Umidade (%)	0,44 ^{ns}	24,64*	0,08 ^{ns}	2,75 ^{ns}	11,21
pH (CaCl ₂)	29,53*	1,59 ^{ns}	4,15*	25,58*	1,16
PLA (%)	1,81 ^{ns}	19,53*	0,04 ^{ns}	3,28*	9,35
MO (g dm ⁻³)	0,65 ^{ns}	2,64 ^{ns}	2,54 ^{ns}	2,16 ^{ns}	7,85
PT (%)	1,23 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,55 ^{ns}	4,76*	3,42
MA (%)	0,32 ^{ns}	6,56*	0,06 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,20
MI (%)	0,29 ^{ns}	12,77*	0,39 ^{ns}	0,84 ^{ns}	5,63
DENS(g cm ⁻³)	0,57 ^{ns}	2,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	11,33*	2,39
N (%)	0,66 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,57 ^{ns}	7,17*	18,97
ARG (%)	0,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,44 ^{ns}	4,94
AREIA (%)	5,05*	0,88 ^{ns}	0,19 ^{ns}	10,49*	2,92
SILTE (%)	0,08 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,69 ^{ns}	8,14

* Significativo pelo teste F ($p < 0,05$); ns: não significativo; ALE: aplicação de lodo de esgoto; LIRR: lâminas de irrigação.

A aplicação de lâminas de irrigação decresceu a temperatura do solo (Tabela 4). A adição de lodo de esgoto manteve o pH do solo estável, independentemente da lâmina de irrigação aplicada, enquanto no tratamento CLE, houve redução do pH para os tratamentos com aplicação de lâmina de irrigação média e alta, em relação ao tratamento com a menor lâmina aplicada. A umidade do solo teve comportamento inverso à temperatura.

Tabela 4. Comparação de médias da emissão de CO₂ e de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférrico em função da aplicação de lodo de esgoto e lâminas de irrigação.

Aplicação de lodo	Lâminas de irrigação			Média
	L1	L 2	L3	
	Emissão de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)			
SLE	4,01	3,88	3,96	3,95B
CLE	4,48	4,22	4,26	4,32A
Média	4,24a	4,04a	4,11a	
	Temperatura do solo (°C)			
SLE	25,23	24,81	24,69	24,91B
CLE	25,83	25,33	25,09	25,41A
Média	25,53a	25,07b	24,89c	
	Umidade do solo (% em volume)			
SLE	16,73	21,46	25,73	21,31A
CLE	17,84	22,21	25,85	21,96A
Média	17,28b	21,83ab	25,79a	
	pH (CaCl ₂)			
SLE	5,44aA	5,55aA	5,58aA	5,53 A
CLE	5,40aA	5,39bB	5,36bB	5,39 B
Média	5,42a	5,47a	5,47a	
	Porosidade livre de água (%)			
SLE	32,17	28,81	24,47	28,48A
CLE	31,15	27,36	22,67	27,06A
Média	31,66a	28,08b	23,57c	
	MA (%)			
SLE	23,24	21,16	20,34	21,58A
CLE	23,18	20,49	19,82	21,16A
Média	23,12a	20,82b	20,08b	
	MI (%)			
SLE	25,66	29,11	29,85	28,21A
CLE	25,81	29,07	28,70	27,86A
Média	25,73b	29,09a	29,28a	
	AREIA (%)			
SLE	22,35	21,85	22,17	22,12A
CLE	22,72	22,50	22,95	22,72A
Média	22,54a	22,17a	22,56a	

*Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna indicam diferença não significativa, a 5 %, pelo teste de Tukey (p<0,05), L1: lâmina de irrigação (20 mm), L2: lâmina de irrigação (110 mm), L3: lâmina de irrigação (184 mm); SLE: sem lodo de esgoto, CLE: com lodo de esgoto.

Os valores de emissão de CO₂ (Tabela 4) foram superiores aos resultados relatados por Panosso (2009b), Panosso (2011), Moitinho et al. (2012) e Moitinho (2013). A maior emissão do uso de lodo de esgoto deve-se principalmente ao aporte de matéria orgânica presente no lodo de esgoto (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BOEIRA; LIGO; MAXIMILIANO, 2009; BADÍA; MARTÍ; AGUIRRE et al., 2012) e à atuação dos microrganismos sobre as diversas frações da matéria orgânica no solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; FERREIRA et al., 2011; BITTAR; FERREIRA; CORREA, 2013).

A temperatura do solo decresceu significativamente com o aumento das lâminas de irrigação, e este fato pode deve-se ao resfriamento proporcionado onde havia maior conteúdo de umidade no solo. Os valores de temperatura do solo na faixa de avaliação de profundidades deste estudo (0 a 10 cm) estão de acordo com relatos de Brito et al.(2009), Moitinho et al. (2012), Carneiro et al. (2014) e Moitinho (2013) (Tabela 4).

O fato de maiores valores de umidade, dentro de uma mesma lâmina de irrigação, não terem proporcionado efeito significativo onde se adicionou lodo, pode ser devido ao aumento da estabilidade dos agregados em água, associado ao aumento da matéria orgânica do solo. Dessa forma, o lodo agiu como condicionador, melhorando a agregação do solo (MARIA; KOCSSI; DECHEN, 2007); além disso, o incremento da atividade microbiana pode ter liberado calor, resultado da atividade enzimática e da taxa de biodegradação da matéria orgânica contida no resíduo (BOEIRA; LIGO; MAXIMILIANO, 2009; SUSZEK et al., 2012; ARMENTA et al., 2012).

Na degradação de materiais orgânicos pelos microrganismos, ocorrem reações de anabolismo e de catabolismo de substâncias orgânicas ao mesmo tempo (SIQUEIRA; MOREIRA, 2006), ação sobre a matéria orgânica do lodo puro, e moléculas inorgânicas do lodo puro, tais como fósforo e enxofre (Tabela 2), formando provavelmente coloides e microagregados que auxiliaram na retenção de moléculas de água, mesmo nas lâminas menores de irrigação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os valores de umidade estão de acordo com Brito et al. (2009) e Moitinho (2013), que, de modo similar aos estudos destes autores, as umidades foram avaliadas na camada de 0 a 10 cm de profundidade, região do solo que drena mais rapidamente por percolação, após os eventos de irrigação ou precipitação.

Os resultados obtidos de menor pH com uso de lodo estão coerentes com a característica do lodo utilizado (BOEIRA; LIGO; MAXIMILIANO, 2009), o qual apresentava característica ácida (Tabela 2). Carmo e Lambais (2013) demonstraram que as variações de pH podem ser dependentes das características químicas dos lodos utilizados, de tal forma que lodos com pH elevado podem aumentar o pH do solo, proporcionalmente aos aumentos nas quantidades de lodos de esgoto adicionados ao solo.

Os achados recentes de Boni, Alves e Mantovani (2015) demonstraram que a utilização de até 30 Mg ha⁻¹ de lodo não proporcionou alterações significativas na matéria orgânica do solo e do pH do solo. Quando estas áreas tiveram correção do solo, seguido de adição de lodo, onde o solo ficou exposto, o pH, H + Al, CTC, SB e matéria orgânica foram significativamente inferiores aos demais tratamentos. A adubação pode interferir no comportamento do pH, conforme relatos de Bays et al. (2015), que constataram redução significativa do pH do solo utilizando sulfato de amônio na adubação do capim-mombaça (*Panicum maximum*).

A redução do pH deste estudo, nas lâminas de irrigação intermediária e maior, pode ser devido à acidez potencial, de H⁺ Al, das parcelas com adição de lodo de esgoto (Tabela 2). A interação entre pH e lâminas de irrigação (Tabela 3) pode ser explicada, provavelmente, pelo poder tampão exercido pela adição de lodo, decorrente da reação do Ca⁺⁺ com agrupamentos carboxílicos dos ácidos fúlvicos.

Neste estudo, o solo tem característica muito argilosa, e os ácidos húmicos e fúlvicos somam-se neste efeito tampão (NOVAIS et al., 2007, p.329), o que pode ter ocorrido nas parcelas CLE, pela ação de microrganismos atuando sobre a matéria orgânica. As diferenças significativas nos atributos nitrogênio, microporosidade, densidade do solo e areia (Tabela 3) indicam que esses atributos apresentam provável descontinuidade na distribuição espacial (RESENDE et al., 2014; SILVA NETO et al.2011).

A água utilizada para irrigação em L2 e L3 corresponde-se a 110 e 184 mm, com pH neutro (pH=7), característico da água de irrigação (LACHI; SIPAÚBA-TAVARES, 2008), demonstrando que não interferiu para alterar o pH do solo, mesmo nas parcelas SLE, onde o pH permaneceu medianamente ácido. Relatos recentes de Silva et al. (2014) denotam os efeitos do pH na emissão de CO₂, a qual foi incrementada pela prática da calagem e pelo preparo do solo em área com

mudança da cultura da laranja para a cultura de cana-de-açúcar. A emissão de CO₂ do solo elevou em 24 % a emissão de CO₂, quando comparada ao solo sem utilização de calcário, e a emissão de CO₂ aumentou linearmente com o aumento das doses. A emissão de CO₂ do solo apresentou correlações positivas com os teores de P, Ca²⁺ e Mg²⁺, e com os valores de pH e de saturação por bases, e negativas com os teores de H + Al e Al³⁺.

As respostas deste estudo onde foi adicionado LE, têm uma relação muito estreita com a atividade microbiana no solo, como ficou confirmado nos relatos de Suszek et al. (2012), que verificaram que a liberação de CO₂ e o número de bactérias e fungos aumentaram significativamente com as doses do composto orgânico à base de lodo de esgoto, o qual tinha pH 6,5 e foi adicionado ao solo. A liberação de CO₂ indicou que a dose de composto acima de 20 Mg ha⁻¹ ocasionou impactos significativos sobre a atividade microbiana do solo.

A emissão de CO₂ foi mais elevada nos tratamentos com lodo de esgoto, em relação ao tratamento SLE (Tabela 4). A resposta da emissão de CO₂ em função da temperatura teve ajuste linear, com taxas de 0,086 e 0,2571 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 3). Brito et al. (2009) constataram uma relação exponencial da temperatura em relação ao aumento da emissão de CO₂. Geralmente, o aumento da temperatura está ligado ao aumento da atividade microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BOUAJILA; SANAA, 2011), uma vez que a média de temperatura deste estudo (25,16 $^{\circ}\text{C}$) favoreceu microrganismos mesófilos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Panosso et al. (2009b) constataram relação negativa entre emissão de CO₂ e temperatura do solo em experimento semelhante a este estudo, envolvendo duas lâminas de irrigação. As oscilações da temperatura deste trabalho estão de acordo com Moitinho et al. (2015) e Carneiro et al. (2014), principalmente em relação ao horário de avaliação desta variável ambiental, que ocorreu entre 7h e 9h.

Moitinho (2013) obteve baixa correlação da temperatura do solo com a emissão de CO₂, e neste estudo esta relação foi linear, crescente e significativa (Figura 3a). A resposta de emissão de CO₂ em função da temperatura foi similar para os tratamentos em função das lâminas de irrigação, havendo aumento da emissão de CO₂ com o aumento da temperatura (Figura 3a). As taxas foram similares (0,45 a 0,57 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}$) para as três lâminas testadas. Estes resultados concordam com os achados de Das; Bhattacharyya e Adhya (2011), que

constatarem, em 4 tipos de solo avaliados em laboratório, que a biomassa microbiana e a emissão de CO₂ do solo aumentaram progressivamente com o aumento da temperatura, afirmando que a taxa de renovação da fração do carbono orgânico foi mediada pelos microrganismos do solo.

No presente experimento, as temperaturas mais altas nas parcelas onde se adicionou lodo, são indicativas de que o resíduo forneceu boa parte de substratos, independentemente da lâmina, e provavelmente o aporte de resíduo foi uma das fontes de nutrientes utilizados pelos microrganismos (LINDAHL et al., 2007; SUSZEK et al., 2012), na degradação e na utilização destes substratos como fonte de energia para o crescimento, resultando em maior emissão de CO₂, além do fato de que os microrganismos presentes no solo não apresentam distribuição espacial e temporal uniforme, mas as lâminas L2 e L3 podem ter facilitado a distribuição dos microrganismos ao solo, devido à maior umidade nas lâminas L2 e L3, resultando em maior fermentação e, conseqüentemente, na liberação de energia térmica.

A relação entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo, aparentemente teve pouca importância (Figura 3b), mas verificando isoladamente a influência das maiores lâminas de irrigação (L2 e L3) na Tabela 4, constata-se um comportamento distinto das três lâminas de irrigação, principalmente entre as lâminas de irrigação L1 e L3, que emitiram mais CO₂, embora de forma não significativa. Os resultados deste estudo, da associação entre emissão de CO₂ e umidade do solo, não concordam com os relatos de Abro et al. (2012), que verificaram correlação positiva entre emissão de CO₂ e a umidade no solo, de 60% até 90% da capacidade de campo, na degradação de resíduos de cultura de milho incorporados ao solo.

Os resultados discordam ainda dos estudos de Panosso et al. (2009b), em experimento semelhante a este estudo, em que as lâminas de irrigação afetaram a emissão de CO₂. Brito et al. (2009) observaram relação linear entre emissão de CO₂ e umidade do solo, considerando diferentes tipos de topografias, côncavas ou convexas, em que elas emitiram, diferentemente, CO₂.

Recentemente, Moitinho (2013) constatou relação negativa e significativa entre emissão de CO₂ e umidade do solo, em áreas de cana-de-açúcar sob diferentes manejos de colheita. Moreira e Siqueira (2006) destacam os gêneros *Sulfurospirillum* e *Desulfumicrobium*, que geralmente são aceptores de elétrons de elementos e substâncias orgânicas, como enxofre, nitrato, tiosulfato e sulfito, e de

substâncias inorgânicas, como o CO_2 , que são chamadas de quimio-organotróficas, e no caso do presente estudo podem ter atuado de forma a mascarar a relação da emissão de CO_2 : temperatura, no consumo de parte do CO_2 produzido por outros organismos, ou mesmo pelo CO_2 liberado de outras reações químicas no solo ou pela entrada de CO_2 pelos poros do solo.

A emissão de CO_2 decresceu com o aumento de pH (Figura 3c). Nos tratamentos SLE, ocorreram os maiores valores de pH e, conseqüentemente, menor emissão de CO_2 que no tratamento CLE. O efeito dentro de lâminas de irrigação apresentou diferença significativa nas lâminas L2 e L3 dos tratamentos SLE, as quais tiveram pH mais alto que as lâminas de irrigação L2 e L3 em relação ao tratamento CLE (Tabela 4). Os resultados deste estudo concordam com os resultados de pH de Eldardiry, El-hady e Zaghloul (2013), que utilizaram água de reúso ácida ao solo, e obtiveram pequenas reduções do pH do solo, e uma correlação positiva do pH com a disponibilidade de água no solo.

Moitinho (2013) constatou baixa correlação entre pH e emissão de CO_2 em áreas de cana-de-açúcar. A água de irrigação na região deste estudo é reportada por apresentar-se neutra (LACHI; SIPAÚBA-TAVARES, 2008), mas parece não ter interferido nas variações de pH. Recentes relatos de Dominguez et al. (2015) denotam claramente que os usos de lodos em doses crescentes, até 4 vezes a dose recomendada com base no nitrogênio do lodo, resultaram em abaixamento do pH do solo, em função das quantidades adicionadas ao longo de 5 anos de uso, considerando-se a profundidade idêntica à deste trabalho (0 a 20 cm).

A relação entre porosidade livre de água do solo (PLA) e emissão de CO_2 foi linear e decrescente (Figura 3d). O decréscimo na emissão de CO_2 com o aumento da PLA foi mais consistente nas lâminas de irrigação L2 e L3, o que pode estar relacionado com as variações na umidade do solo, proporcionadas mais pelas lâminas L1 e L3, motivadas pela lâmina de irrigação imposta durante o período experimental. A condição de drenagem, que altera a movimentação de gases no solo (BITTAR; FERREIRA; CORREA, 2013), pode influenciar na diversidade e na atividade microbiana do solo (BOUAJILA; SANAA, 2011).

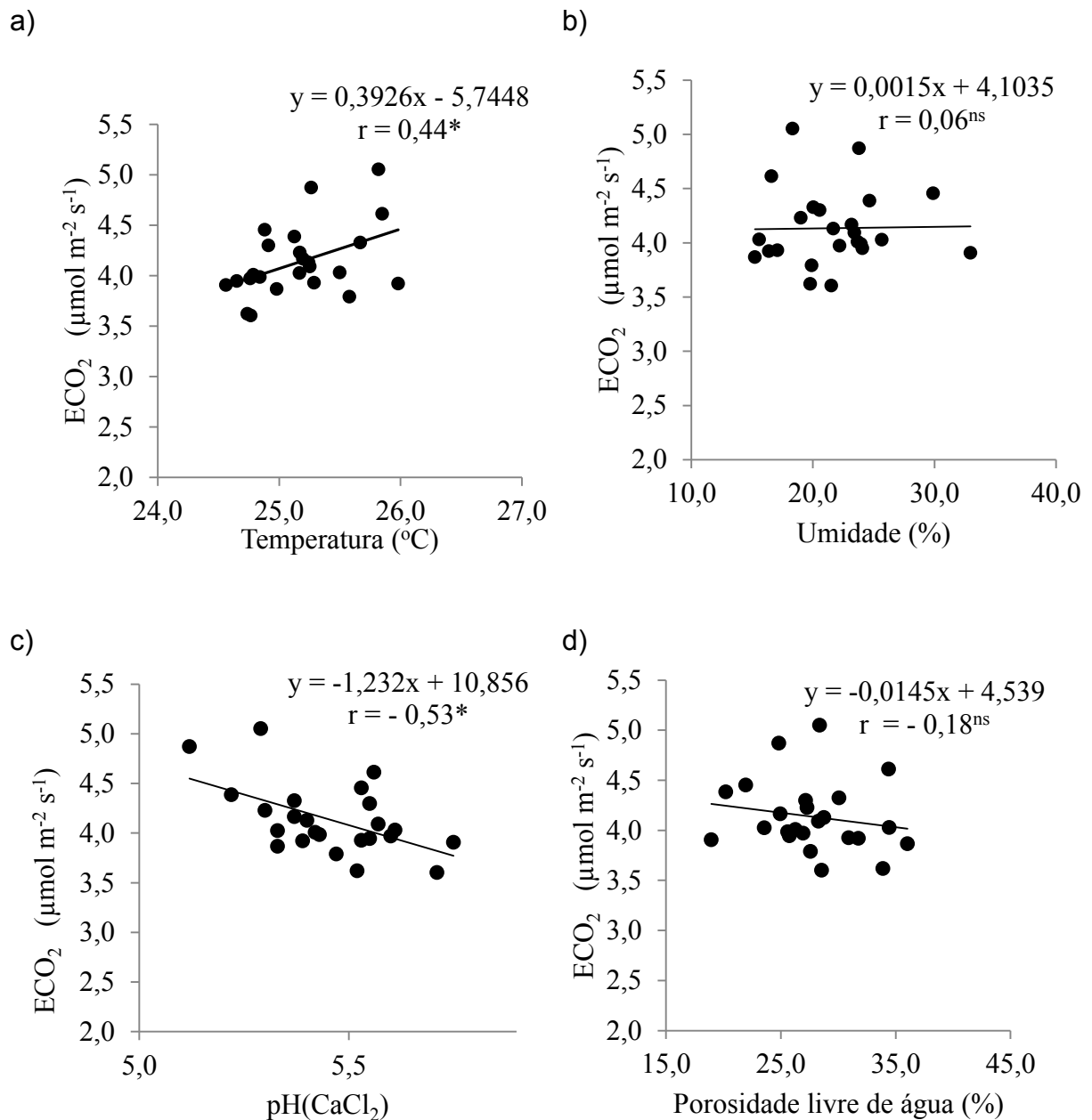


Figura 3. Emissão de CO₂ (ECO₂) em função da temperatura (a), da umidade do solo (b), do pH do solo (c) e da porosidade livre de água (d), dos tratamentos sem lodo (SLE) e com lodo de esgoto (CLE), submetidos a lâminas de irrigação de 20 mm (L1), 110 mm (L2) e 184 mm (L3).

Os relatos verificados por Onwudiwe et al. (2014) reforçam a ideia de que o uso de lodo de esgoto melhora a condição de drenagem do solo, embora estes autores tenham aplicado LE em doses menores que a deste estudo. É possível que o uso de enxada rotativa neste estudo tenha contribuído pouco para alterações na porosidade do solo (MARASCA et al., 2013).

Neste estudo, os resultados das relações entre emissão de CO₂ e temperatura, e entre emissão de CO₂ e pH, foram consistentes, mas são resultados de relações complexas entre variáveis físicas, químicas e ação de microrganismos do solo. Moreira e Siqueira (2006) reforçam a importância da temperatura acelerando reações enzimáticas, principalmente hidrolases e oxirredutases, as quais controlam os processos de decomposição dos materiais orgânicos e as transformações inorgânicas. Evangelista et al.(2013) relatam que a adição de resíduos orgânicos em cana-de-açúcar, combinada em diferentes sistemas de produção, atividade da enzima β -glicosidase variou enormemente com o padrão de manejo de solo, e com a disponibilidade hídrica em relação à estação do ano, resultando em diferentes degradações dos materiais orgânicos, assim como na disponibilização de nutrientes.

Neste aspecto, Dantas e Aquino (2010) constataram que os processos de fermentação no solo, de diferentes resíduos avaliados, dependem de vários fatores, entre os quais do pH, temperatura e umidade do solo, os quais aumentam a taxa de emissão de CO₂ e há liberação de energia térmica. Dos cinco resíduos avaliados, a atividade eletrolítica da lipase foi superior nos resíduos de composição menos proteica e mais celulósica. As atividades das enzimas retratam o crescimento microbiano no solo. O teor de água no solo, quando aumentado, reduziu em todos os resíduos testados a atividade da enzima lipase. Relatam também que o aumento do pH de 2 até 4 resultou em decaimento da atividade da enzima lipase para todos os resíduos testados, estabilizando a atividade a partir de pH 5.

O aumento da temperatura impulsionou a atividade da lipase de 25 °C até 50 °C, sendo a resposta de atividade enzimática, devida a essa elevação de temperatura ser mais rápida no resíduo de natureza mais proteica (torta de mamona). Temperaturas mais elevadas permitem que alguns microrganismos utilizem quimicamente mais eficientemente substratos recalcitrantes que outros (SILVA et al., 2013), além do que a eficiência do crescimento microbiano pode declinar com o aumento de temperatura, se houver queda nas concentrações de enzimas extracelulares que degradam substratos mais recalcitrantes.

2.4 CONCLUSÃO

No experimento com aplicação de lodo de esgoto, a emissão de CO₂, temperatura e pH do solo foi influenciada significativamente pela aplicação de lodo de esgoto. A temperatura e a umidade do solo foram influenciadas pelas lâminas de irrigação. Em média, o solo submetido ao lodo de esgoto emitiu 9,34 % mais CO₂ que o solo sem lodo de esgoto, e a temperatura do solo, em média, foi 2 % superior nos solos com adição de lodo de esgoto. A adição de lodo de esgoto contribuiu para a redução do pH do solo em 2,59%, em média. Os resultados indicam que a utilização de lodo de esgoto combinado com irrigação teve pouca associação com os aumentos de emissão de CO₂.

CAPITULO 3 - EMISSÃO DE CO₂ E SUA RELAÇÃO COM ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO COM USO DE PALHA E IRRIGAÇÃO DE TRÊS FRAÇÕES DO EFLUENTE DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM ÁGUA

RESUMO: O efluente de estação de tratamento de esgoto (EETE) é um resíduo urbano que, por sua composição química, pode ser aproveitado como fonte de macronutrientes e, assim, reduzir o uso de fertilizantes químicos e ter um destino ambientalmente adequado. Neste trabalho, investigaram-se o efeito da aplicação de palha de *Brachiaria brizantha* e irrigação com EETE na emissão de CO₂ e em possíveis alterações nos atributos físico-químicos do solo: temperatura, umidade, porosidade total do solo, pH e porosidade livre de água. O experimento foi conduzido ao longo de 23 dias, em novembro de 2013, em área de 160 m² de Latossolo Vermelho eutrófico, desprovida de vegetação e sem preparo do solo. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 3, com 4 repetições, no qual o primeiro fator correspondeu à aplicação de palha (sem palha e com palha, 10 Mg ha⁻¹) e o segundo fator a frações (F) de EETE em água (F1: 11%, F2: 60% e F3: 100%). As frações de EETE em água foram obtidas por um sistema triplo de aspersão em linha, sendo que uma linha interna de aspersores aplicava EETE e as duas linhas externas aplicavam água, resultando em lâmina de irrigação uniforme de 184 mm, porém gradual do EETE em água. A aplicação de palha incrementou a emissão de CO₂ e a temperatura e umidade do solo em 8,9%, 3,1% e 12,98%, respectivamente, em relação aos tratamentos que não receberam palha. Maior emissão de CO₂ ocorreu nos tratamentos com maiores frações de EETE. Aplicações mais elevadas de EETE aumentaram o teor de matéria orgânica do solo. As relações entre emissão de CO₂ e temperatura do solo e matéria orgânica do solo foram lineares e crescentes.

Palavras-chave: efluente de esgoto, propriedades físicas e químicas do solo, respiração do solo

CHAPTER 3 - CO₂ EMISSION AND ITS RELATIONSHIP WITH PHYSICAL AND ATTRIBUTES OF A LATOSOL QUÍMICOS WITH STRAW USE AND IRRIGATION WASTEWATER FRACTIONS THREE SEWAGE TREATMENT IN WATER

SUMMARY: The effluent of sewage treatment plant (TSE) is a municipal waste that, by its chemical composition, can be used as a source of nutrients and, thus, reducing the use of chemical fertilizers and having an environmentally sound manner. In this work, we investigated the effect of application of *Brachiaria* straw and irrigation with TSE in CO₂ emissions and possible changes in physical-chemical soil temperature, moisture, soil total porosity, pH and water free of porosity. The experiment was conducted over 23 days in November 2013, in an area of 160 m² of no tillage bare Oxisol. The design was a randomized block in a factorial 2 x 3, with four repetitions, in which the first factor corresponded to the application of straw (without straw and straw, 10 Mg ha⁻¹) and the second factor were fractions (F) of TSE in water (F1: 11% F2: 60% and F3: 100%). The TSE fractions in water were obtained by a triple line source sprinkler system, in which an internal line of sprinklers applied TSE and the two outer lines applied water, resulting in 184 mm uniform water depth, but gradual TSE in water. The application of straw increased emission of CO₂, soil temperature and soil moisture by 8,9%, 3,1% and 12,98%, respectively, compared to the treatments without straw. Higher CO₂ emissions occurred in the treatments with higher fractions of TSE applied, which also increased soil organic matter content. Relations between soil emission of CO₂, temperature and organic matter were increasingly linear.

Keywords: sewage effluent, physical and chemical properties of soil, soil respiration

3.1 INTRODUÇÃO

Os esgotos domésticos ou sanitários têm sua origem em residências, comércio e instituições, e a quantidade de esgoto sanitário produzida é proporcional à população envolvida. A vazão do esgoto sanitário é medida em hidrogramas, os quais mostram uma taxa variável de acordo com as horas do dia, atingindo valores menores de vazão na madrugada, e valores maiores ao longo do dia (PANTOJA et al., 2005). O EETE foi recentemente estudado por Morata et al.(2014) com boa perspectiva na irrigação localizada, sendo avaliada a eficiência de diferentes tipos de gotejadores. Tem como características químicas a presença de compostos orgânicos, como proteínas, carboidratos, gordura e óleos, e compostos inorgânicos, entre os quais o nitrogênio em diferentes formas, como enxofre, sódio e metais pesados (ROMEIRO, 2012; SANTIN, 2012), surfactantes, fenóis, pesticidas, entre outros compostos tóxicos (PANTOJA et al., 2005; JÜSCHKE et al., 2009; SANTIN, 2012).

Fonseca (2005), Khai et al.(2008) e Romeiro (2012) relatam a presença em águas residuárias (efluente de estação de tratamento de esgoto - EETE) de nitrogênio total, o qual se apresenta nas formas amoniacal, na forma de nitrato e de nitrito. Tem outros elementos, tais como fósforo, enxofre, cálcio, magnésio e potássio, os quais podem ser utilizados pelas plantas como nutrientes. Além disso, o EETE apresenta teores de carbono total em grande quantidade e pH muito variável, de acordo com a característica do tratamento imposto ao efluente bruto, que pode ocasionar a eutrofização dos corpos receptores (FONSECA et al., 2007). O EETE, pela sua composição química, pode proporcionar benefícios econômicos, e aumentos em quantidade e qualidade da forragem fertirrigada, conforme relatos de Santin (2012) e Santos et al. (2013). Podem ser utilizados em vários tipos de culturas, conforme estudos de Santos et al. (2014b), que utilizaram EETE em *Brachiaria brizantha* e verificaram que a oferta dos nutrientes nitrogênio e potássio via EETE foi considerável, e também os relatos de Santos et al. (2006), que utilizaram EETE no cafeeiro e verificaram aumentos significativos de nitrogênio total no solo.

A magnitude de resposta da forrageira ao EETE pode proporcionar economia de formulações minerais e amenizar o impacto ambiental da disposição desta água

residuária nos corpos d'água, conforme relatos de Gomes (2011), que mostrou a viabilidade econômica da utilização de águas residuárias. Uma contribuição positiva para o solo reside na quantidade de carbono e outros nutrientes, que podem acelerar o grau de humificação da matéria orgânica de solos irrigados com EETE (SANTOS et al., 2009), e, como consequência, pode ocorrer aumento da atividade de decomposição da matéria orgânica, a qual é estimulada pelo aumento de umidade no solo.

Fonseca et al. (2007), Nogueira (2008) e Simões et al. (2013) relatam que o uso de EETE permite um incremento na população microbiana no solo, a qual geralmente é proporcional à quantidade de EETE utilizado. Medeiros et al. (2008) ressaltam que a aplicação de EETE deve ser monitorada principalmente quanto aos atributos do solo, a fim de se identificar possíveis contaminações decorrentes da aplicação de água residuária.

O tratamento de águas residuária pode contribuir para o acúmulo de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, de tal forma que uma redução na eficiência no tratamento do esgoto bruto pode implicar a redução da emissão de CO₂, não apenas na estação de tratamento, mas caso a matéria orgânica não seja completamente degradada na estação de tratamento, a emissão de CO₂ remanescente à degradação da matéria orgânica poderá ocorrer nos corpos receptores (SILVA; DUARTE; SOUZA, 2012).

Nogueira (2008) e Santin (2012) avaliaram a emissão de CO₂ utilizando EETE na irrigação do capim-bermuda e verificaram que a maior emissão de CO₂ se relacionaram com os períodos de maior precipitação e/ou também com a irrigação. A maior umidade do solo em um dos anos agrícolas dos estudos propiciou condições mais favoráveis para a disponibilização de carbono, implicando diretamente a respiração microbiana do solo, de tal forma que as menores lâminas de irrigação reduziram o carbono e a respiração microbiana. Neste aspecto, Castro et al. (2009) avaliaram o efeito da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com EETE, e constataram que a irrigação com EETE promoveu aumento linear na emissão de CO₂ na lâmina com 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c) e de 200% da ET_c, elevando a emissão de CO₂ em 33 e 146% para o solo cultivado com cana-de-açúcar.

A aplicação de água residuária pode acarretar alterações no solo, principalmente na elevação da condutividade elétrica, pH, além do percentual de sódio trocável e do teor de sódio trocável no solo (FONSECA et al., 2007). A aplicação de águas residuárias elevou o teor de sódio no tecido foliar das plantas de algodoeiro, sem, no entanto, prejudicar a cultura (SILVA et al., 2013). Mais recentemente, Oliveira et al.(2014a) avaliaram o uso de águas residuárias de tratamento de esgoto doméstico e verificaram que os teores de cobre, zinco, ferro e manganês do solo estudado não foram influenciados pelas proporções de água residuária doméstica tratada utilizada.

Os valores de pH do solo apresentaram tendência de redução com adição de mais água residuária doméstica em relação à água de poço tratada. Santos et al. (2014a, b) constataram variações sazonais na composição do EETE utilizado na fertirrigação de gramínea do gênero *Brachiaria*, e não verificaram riscos de contaminação por metais pesados e salinização do solo, mas apresentou risco de contaminação por coliformes fecais termotolerantes. Entretanto, o EETE utilizado ao longo de sucessivas estações climáticas resultou em aporte de quantidade considerável de nitrogênio e potássio ao solo, o que pode resultar em economia de formulações minerais comerciais. Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar a associação da emissão de CO₂ com os atributos físicos e químicos de um Latossolo fertirrigado com efluente de estação de tratamento de esgoto (EETE) com diferentes aplicações de palha sobre o solo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da FCAV-UNESP, Jaboticabal-SP, na latitude de 21°15'22" S, longitude 48°18'58" W e altitude de 595 metros. O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho eutroférico, textura argilosa, de acordo com a classificação de solos da Embrapa (2006).

A área experimental foi inicialmente cultivada com *Urocloa brizantha* (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), de novembro de 2012 a julho de 2013, quando a forrageira foi dessecada com glifosato, seguido da retirada do material vegetativo remanescente da área experimental, com enxada, e o terreno mantido sem preparo

e livre de ervas daninhas. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 3, com 4 repetições, no qual o primeiro fator correspondeu à aplicação de palha (APA), sendo SPA: sem palha e CPA: igual a 10 Mg ha⁻¹ de palha de *Brachiaria brizantha*, e o segundo fator frações de efluente de esgoto em água (FE) foi constituído de F1 igual a 11% de EETE ou 20 mm de EETE, F 2 igual a 60 % de EETE ou 110 mm de EETE e F 3 igual a 100 % de EETE ou 184 mm de EETE (Figura 4).

As frações de distribuição do EETE em água foram obtidas por um sistema triplo de aspersão em linha, no qual a linha central de aspersores aplicava EETE e as externas aplicavam água (Figura 4), resultando em lâmina de irrigação uniforme, porém gradual do EETE em água (Figura 5). Nas linhas de aspersores, foram instaladas aspersões Senninger (Modelo 3023-2 com duplo bocal de 8 x 5 mm, operados com pressão de 300 kPa, vazão de 0,845 m³ h⁻¹, no espaçamento de 6 m entre aspersores na linha. O sistema de irrigação apresentou coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) com cerca de 89 e 83%, respectivamente.

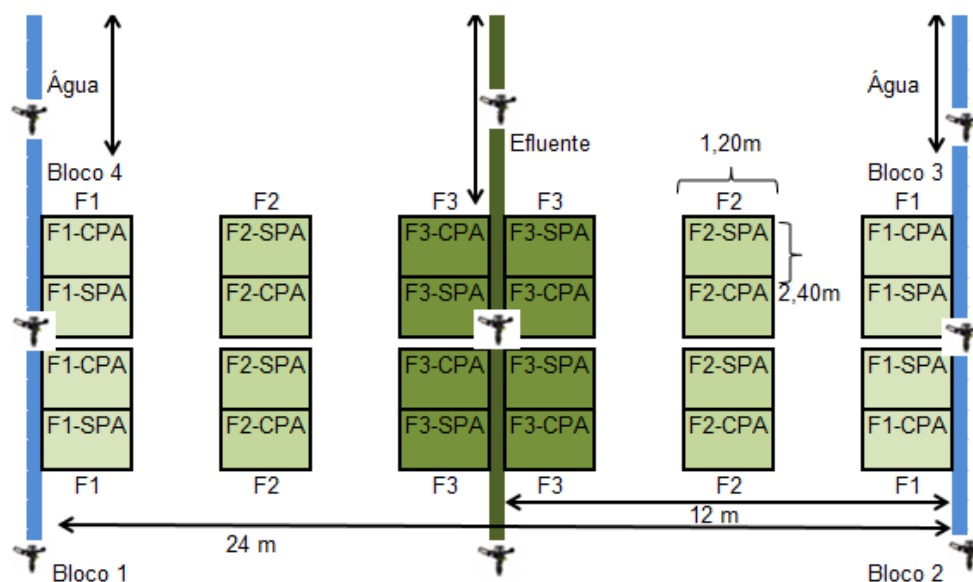


Figura 4. Esquema experimental com sistema de aspersão em linha e unidades experimentais com tratamentos de frações de efluente em água (F1: 11% de EETE ou 20 mm de EETE; F2: 60% de EETE ou 110 mm de EETE, e F3: 100% de EETE ou 184 mm de EETE) e aplicação de palha (SPA: sem palha, e CPA: 10 Mg ha⁻¹ com palha).

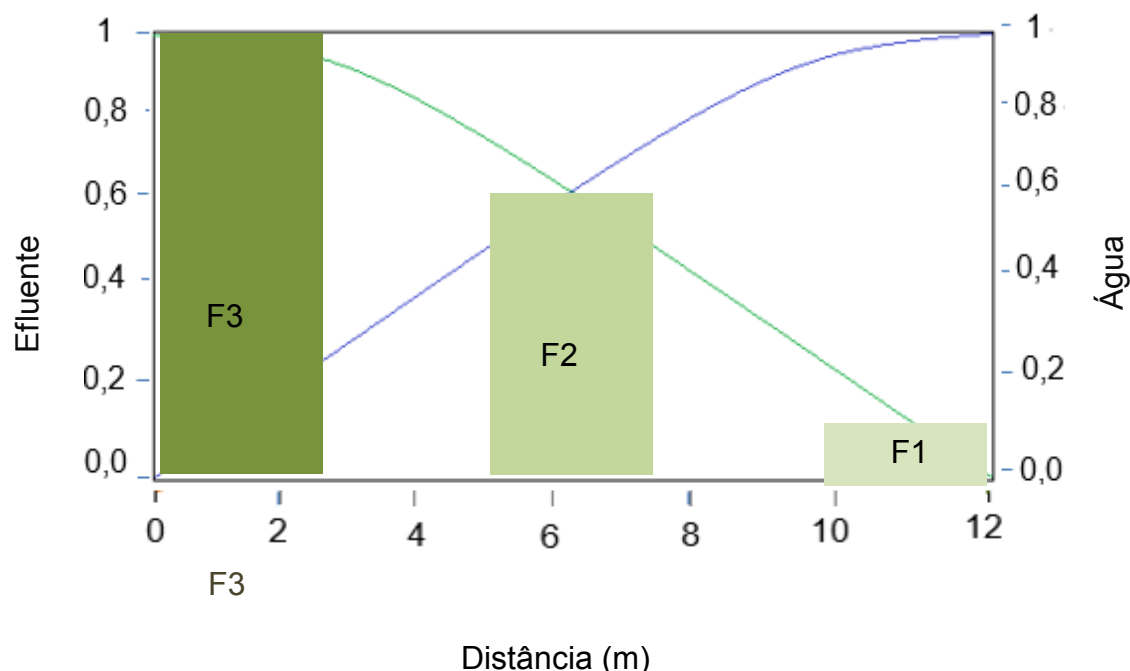


Figura 5. Frações de distribuição da precipitação de EETE em água em função da distância das linhas de aspersores.

O material forrageiro utilizado como cobertura morta foi colhido dentro do período que antecedeu o experimento, fenado e reservado no próprio local com lona plástica, sem contato direto com o solo. Após a demarcação das parcelas, que tinham dimensões de 1,2 x 2,40 m, a palha teve sua matéria seca determinada (15% de matéria seca) e foi colocado, em cada parcela, o equivalente à quantidade de 10 Mg ha⁻¹, uma semana antes do início do experimento.

Semanalmente, foram realizadas irrigações, de acordo com a evapotranspiração de referência acumulada na semana anterior. A lâmina de irrigação aplicada foi de 184 mm, com frequências de duas vezes por semana. A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método Penman-Monteith padronizado pela FAO-56 (ALLEN et al., 1998), com dados meteorológicos diários coletados na Estação Agroclimatológica da FCAV-UNESP, localizada próximo da área experimental.

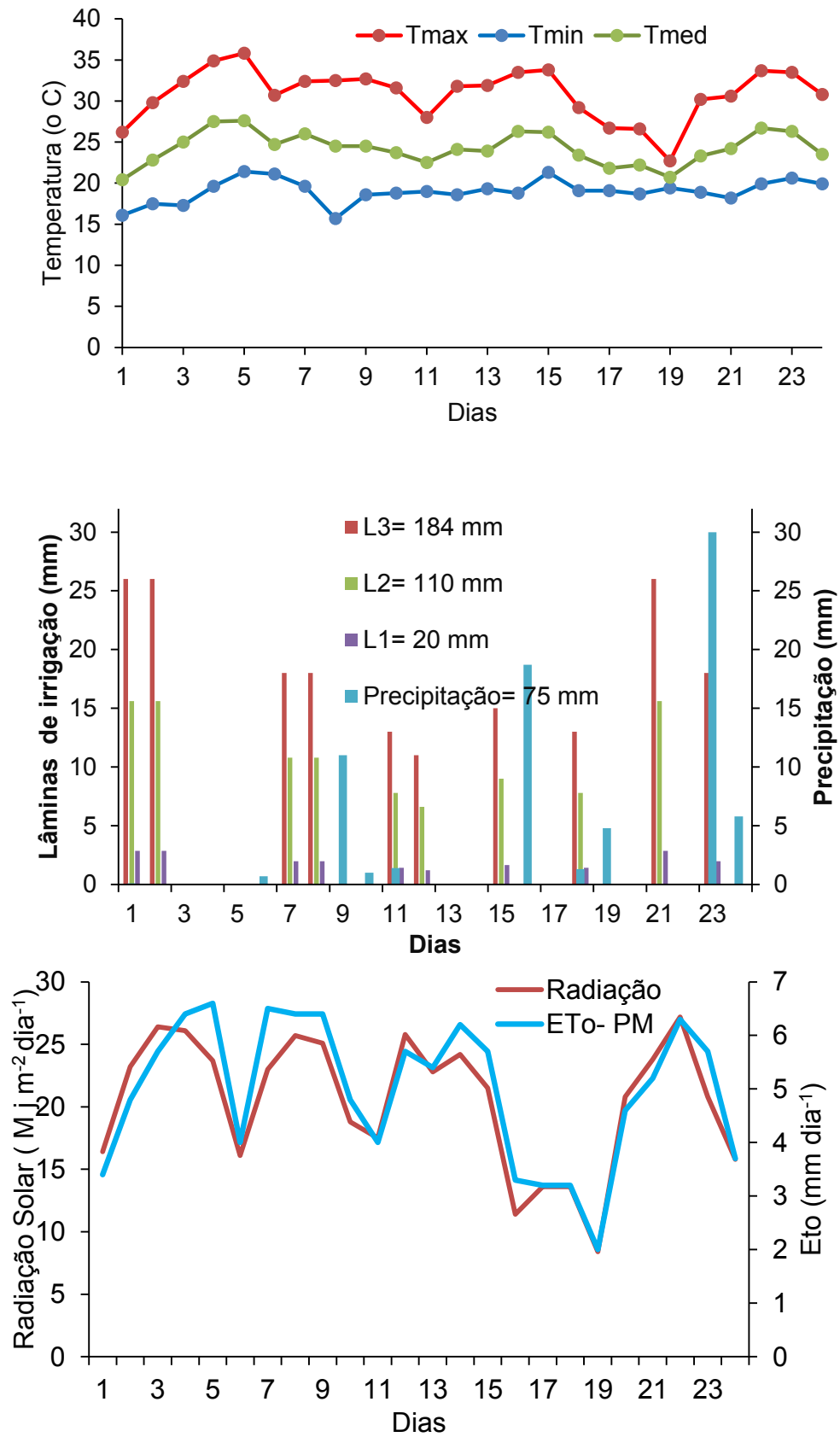


Figura 6. Dados climáticos durante o período experimental

Na Figura 6 são apresentados dados de ETo, juntamente com lâmina de irrigação do efluente, precipitação e lâmina total aplicada. Os dados climáticos durante o período experimental com informações de temperaturas máxima, média e mínima, precipitação, radiação solar e evapotranspiração são apresentados na Figura 6.

Para a medição de emissão de CO₂, foram implantados em cada parcela colares de PVC de 100 mm de diâmetro, com altura de 10 cm, inseridos 3 cm no solo. As leituras foram registradas utilizando-se de um sistema portátil da companhia LI-COR (LI-8100, Nebraska-EUA). Esse sistema consiste em uma câmara fechada, acoplada sobre os colares anteriormente inseridos no solo, nos pontos estudados. Em seu modo de medição, o sistema monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho (IRGA, Infrared Gas Analyzer), de acordo o descrito por Panosso (2006) e Panosso et al. (2011).

No dia seguinte à aplicação do EETE, iniciou-se o experimento com as leituras da emissão de CO₂, medição de temperatura e umidade do solo, tomadas entre 8 e 10 h, nas 24 parcelas do experimento. Concomitantemente às leituras de emissão de CO₂, foram tomadas as medidas de temperatura do solo na camada de 0-12 cm de profundidade, utilizando-se de um termômetro (termistor portátil), o qual era parte integrante do sistema, ao qual a câmara para solos é acoplada. A umidade do solo foi medida utilizando-se de um sistema portátil do tipo TDR-Campbel® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália), que avalia a umidade disponível do solo (% em volume) na camada de 0-12 cm, conforme descrito por Moitinho (2013).

Amostras de solo deformadas foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, com auxílio de um trado tipo holandês, retiradas 3 meses antes do início do experimento e ao final do experimento, próximo da área de cada colar de PVC, para as análises químicas de rotina (Tabela 5). Amostras do EETE, que foi resultado de um sistema de tratamento misto, primeiro anaeróbio, utilizando a tecnologia de digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA) e complementado com um pós-tratamento aeróbio, através de três lagoas facultativas, foram coletadas do reservatório de 15.000 litros, junto à área experimental. As características químicas do EETE utilizado no experimento são mostradas na Tabela 6.

Amostras de solo indeformadas para as análises físicas de solo foram coletadas com cilindros metálicos de 95 cm³ ao término do experimento, em pequenas trincheiras, de cada parcela, próximo ao colar de PVC, abertas com enxada, na profundidade de 0-20 cm. Foram determinadas a densidade de partículas, a densidade e a umidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade livre de água, a porcentagem de argila, silte e areia (EMBRAPA, 2009). O característica do solo, antes e depois do início do experimento, encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5. Características químicas do solo antes e após o período experimental

Análise de solo e acidez antes de iniciar o experimento											
Antes	P	S	MO	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	V%	pH
	mg L ⁻¹				mmol _c dm ⁻³						
	52,2	6,2	33,2	2,8	42,6	13,6	1,3	27,6	58,6	70,7	5,5
Análise de solo e acidez ao final do experimento											
Após	P	S	MO	K	Ca	Mg	AL	H + AL	SB	V%	pH
	mg L ⁻¹				mmol _c dm ⁻³						
	F1	55,8	6,7	38,1	5,3	37,9	13,4	0,6	40,2	58,4	58,4
F2	58,1	7,9	38,9	5,6	38,1	11,9	0,6	33,6	62,1	62,1	5,7
F3	69,8	10,7	43,7	5,2	41,8	11,2	0,6	27,8	68,6	68,6	5,6

Os dados foram submetidos à análise estatística, utilizando-se do pacote Statistical Analysis System (SAS INSTITUTE, 2009). Inicialmente, utilizou-se do procedimento PROC GLM, assumindo-se o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3, no qual a aplicação de palha (APA) constituiu o primeiro fator, sendo SPA: sem palha e CPA: 10 Mg ha⁻¹ de palha de *Brachiaria brizantha*, e o segundo fator constou de frações de efluente de esgoto em água (FE), em que F1: 11% de EETE ou 20 mm de EETE; F2: 60 % de EETE ou 110 mm de EETE, e F3:

100 % de EETE ou 184 mm de EETE. Em seguida, procedeu-se à análise de variância, utilizando o teste F ($p < 0,05$) na Tabela 7, e o teste de Tukey ($p < 0,05$) para cada variável independente analisada na Tabela 8.

Tabela 6. Características químicas do efluente de estação de tratamento de esgoto e quantidade de nutrientes aplicados nos tratamentos

Elementos no efluente de tratamento de esgoto puro e acidez											
Frações	N	P	S	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	pH
	%	mg L ⁻¹		mmolc dm ⁻³							
de	51,9	1	20,7	18,8	15,3	5,7	47	0,4	0,1	1	
Elementos nas frações do efluente diluído em água											
EETE	Kg ha ⁻¹										
F1	10,4	0,2	4,2	3,8	3,1	1,1	9,4	0,1	0,1	0,2	7,1
F2	57,1	1,1	22,8	20,7	16,8	6,3	51,7	0,4	0,1	1,1	7,1
F3	95,5	1,8	38,1	34,6	28,2	10,5	86,5	0,7	0,2	1,8	7,1

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de EETE e a aplicação de palha afetaram significativamente a média de emissão de CO₂ durante os 23 dias do experimento (Tabela 7). A umidade, a temperatura e o teor de matéria orgânica do solo foram significativamente influenciados pela palha sobre o solo (Tabela 7). A comparação de médias (Tabela 8) mostrou que os tratamentos CPA emitiram 0,25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO₂ a mais que os tratamentos SPA sobre o solo. Verificou-se ainda que frações crescentes de EETE aplicadas resultaram em maiores emissões de CO₂.

O resultado significativo no atributo da fração granulométrica argila, provavelmente tem relação com a dependência espacial, indicando que esse

atributo apresenta maior descontinuidade na distribuição espacial (RESENDE et al., 2014; SILVA NETO et al., 2011).

Tabela 7. Análise de variância das médias das emissão de CO₂ em 23 dias e dos atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico ao final do experimento, em função da aplicação de palha (APA) e frações de efluente em água (FE).

Variável	APA	FE	Interação APAx FE	Bloco	CV
ECO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	7,14*	5,80*	1,910 ^{ns}	2,21 ^{ns}	8,09
Temperatura do solo(°C)	69,19*	0,13 ^{ns}	2,59 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,90
Umidade do solo (%)	10,93*	2,82 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,13 ^{ns}	9,04
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	1,68 ^{ns}	5,34 ^{ns}	1,590 ^{ns}	1,74 ^{ns}	9,80
PT (%)	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,53 ^{ns}	3,41
MA (%)	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,58 ^{ns}	9,08
MI (%)	0,11 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,75 ^{ns}	1,27 ^{ns}	4,11
DENS (g cm ⁻³)	0,08 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,83 ^{ns}	2,09
pH (CaCl ₂)	0,54 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,46 ^{ns}	1,85
N (%)	0,05 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,97 ^{ns}	6,80*	19,47
ARG (%)	2,86 ^{ns}	4,40*	0,08 ^{ns}	9,81*	2,78
AREIA (%)	0,90 ^{ns}	1,99 ^{ns}	0,79 ^{ns}	12,89*	2,00
SILTE (%)	1,36 ^{ns}	2,03 ^{ns}	0,25 ^{ns}	13,19*	5,52

* Significativo pelo teste F (p < 0,05); ns: não significativo; APA: efeito de aplicação de palha; FE: efeito de frações de efluente em água; CV: coeficiente de variação (%).

A temperatura do solo foi maior, em média, nos tratamentos CPA sobre o solo, correspondente a 0,77 °C a mais (13%) que nos tratamentos SPA, enquanto as frações de EETE não influenciaram na temperatura do solo (Tabela 8). A umidade do solo foi influenciada, significativamente, pela presença de palha sobre o solo, resultando em diferença a mais de 12,98 (% em volume) em relação ao solo SPA, e as frações de EETE não afetaram a umidade do solo. O teor de matéria orgânica não foi influenciado pelo nível de palha sobre o solo, entretanto frações crescentes de EETE resultaram em maiores teores de matéria orgânica sobre o solo, mas com

diferença significativa apenas entre a menor fração de EETE (F1) e maior fração de EETE (F3), a qual superou F 1 em 17,41% (Tabela 8).

Tabela 8. Comparação de médias de emissão de CO₂ e de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho eutrófico, em função da aplicação de palha (APA) e frações de efluente de estação de Tratamento de esgoto em água (FE).

APA	FE			Média
	F1	F 2	F 3	
	Emissão de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)			
SPA	2,78	2,61	2,97	2,79B
CPA	2,78	3,04	3,32	3,04A
Média	2,78b	2,83b	3,15a	
	Temperatura do solo (°C)			
SPA	24,95	25,12	24,95	25,01B
CPA	25,88	25,60	25,88	25,78A
Média	25,41a	25,36a	25,41a	
	Umidade do solo (% em volume)			
SPA	41,02	38,88	39,55	39,82B
CPA	48,02	41,10	45,85	44,99A
Média	44,52a	39,99a	42,70a	
	Matéria orgânica (g dm ⁻³)			
SPA	30,76	33,32	36,09	33,39A
CPA	32,19	35,48	37,83	35,17A
Média	31,48 b	34,39ab	36,96a	
	ARG (%)			
SPA	50,15	49,09	47,87	49,03A
CPA	48,99	48,07	47,25	48,10A
Média	49,57a	48,58ab	47,56b	

* Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula nas colunas e minúsculas na linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade; FE: aplicação de EETE; F1: 11% de EETE ou 20 mm de EETE; F2: 60% de EETE ou 110 mm de EETE e F3: 100% de EETE ou 184 mm de EETE) e aplicação de palha (SPA: sem palha e CPA: 10 Mg ha⁻¹ com palha).

Neste estudo, teores de umidade maiores foram associados com à aplicação de palha, em que a presença de palha propiciou maiores umidades e, conseqüentemente, maior emissão de CO₂, diferentemente de Panosso et al. (2009), para quem maiores umidades condicionaram menor emissão de CO₂ em

experimento com duas lâminas de irrigação, mas com o diferencial do solo ser desprovido de vegetação.

Os resultados deste estudo contrastam com os resultados de Moitinho et al. (2012), que constataram que a presença da palha de cana sobre o solo, sem revolvimento, foi associada com menor emissão de CO₂. A resposta diferente na emissão de CO₂ neste trabalho reside principalmente no aporte de água no solo, proporcionado pela lâmina de irrigação, que foram iguais (184 mm), mas houve aporte de nutrientes diferentes nas frações F1, F2 e F3, em relação ao N, P, Mg e S, elementos estes que estimulam a atividade da microbiota do solo (Tabela 5 e 6).

Nos resultados de Corradi (2011), estudando diferentes aplicações de palha sobre o solo, abaixo da aplicação de palha deste estudo, também emitiram menos CO₂. Os resultados deste trabalho concordam com os relatos de Silva et al. (2014), que verificaram associação positiva entre emissão de CO₂ e umidade do solo, em área com mudança da cultura da laranja para a cultura de cana, mas apenas quando comparados à emissão de CO₂ de estudo, das frações de EETE da F2 e F3.

O fato de a adição de resíduos vegetais em 10 Mg ha⁻¹ sobre o solo resultar em maiores teores de umidade, tem importância para a melhora da dinâmica deste microambiente em favorecer a atividade de microrganismos, destacando-se, provavelmente, os gêneros *Sulfurospirillum* e *Desulfumicrobium*, os quais geralmente são aceptores de elétrons de elementos e substâncias orgânicas, tais como enxofre, nitrato, tiosulfato e sulfito, e substâncias inorgânicas, como o CO₂ (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Nas Tabelas 5 e 6, os conteúdos de enxofre presentes na maior fração F3 sugerem que a emissão de CO₂ possa ser resultado da maior degradação por parte dos gêneros de microrganismos citados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), resultando em acúmulo de matéria orgânica e enxofre por parte do EETE. Lindall et al. (2007) relatam que materiais orgânicos, com composição de celulose e lignina, são decompostos principalmente por fungos, os quais têm uma distribuição espacialmente determinada por dois grupos distintos. Um tipo de fungo saprófita que atua mais superficialmente, mineralizando o carbono, e outro fungo que atua mais profundamente à rizosfera, que decompõe materiais orgânicos de composição mais variada e complexa. Green e Bohannan (2007) relatam que os fatores que regulam a diversidade microbiana na escala temporal e espacial são complexos. Fraga et al.

(2012) constataram prevalência de actinomicetos e bactérias em solos antropizados em relação aos solos pouco antropizados, na degradação da serapilheira.

A faixa de temperatura do ar no momento das avaliações pode ter exercido o efeito de acréscimo na temperatura do solo, onde havia cobertura de palha, conforme os relatos recentes de Belan et al. (2013), que avaliaram as temperaturas do solo em diferentes profundidades (2; 5; 10 e 20 cm), em solo sem cobertura e com palha, semelhante a este trabalho. Estes autores verificaram que a temperatura do ar apresentou correlação significativa com a temperatura do solo, a qual foi mais pronunciada nas camadas de 2 e 5 cm, e com menor intensidade nas camadas de 10 e 20 cm. A palha sobre o solo funcionou como isolante térmico entre o fluxo de calor do ar atmosférico e o solo coberto com palha, sendo o fluxo de calor maior no solo com cobertura (SENTELHAS et al., 2002; BRITO-COSTA et al., 2006).

Os resultados de emissão de CO₂ deste estudo concordam com os relatos de Zotelli (2012), que utilizou resíduo industrial do setor sucroenergético (vinhaça) e avaliou a emissão de CO₂, constatando que a manutenção de níveis crescentes de palha, de 7; 14 e 21 Mg ha⁻¹ sobre o solo, incrementou a emissão de CO₂, fertirrigados ou não. O solo desprovido de cobertura de palha, mas fertirrigado com vinhaça, emitiu mais CO₂ que o solo desprovido de palha sem fertirrigação, nas entrelinhas da cultura de cana-de-açúcar.

A associação entre emissão de CO₂ e temperatura do solo foi linear e crescente (Figura 7a), e foi maior nos tratamentos CPA (Tabela 8), ao passo que maiores frações de EETE, F2 e F3, a emissão de CO₂ foram crescentes. As frações maiores de EETE provavelmente ofereceram maior aporte de nutrientes, principalmente o fósforo e teores de carbono, o que refletiu em estímulo ao crescimento microbiano, decompondo parte da palha sobre o solo (Tabela 6). Os resultados concordam com Zanini et al. (2005), que obtiveram relação positiva na emissão de CO₂ e temperatura do solo, e discordam de Panosso et al. (2009), em que a temperatura do solo teve baixa associação com emissão de CO₂.

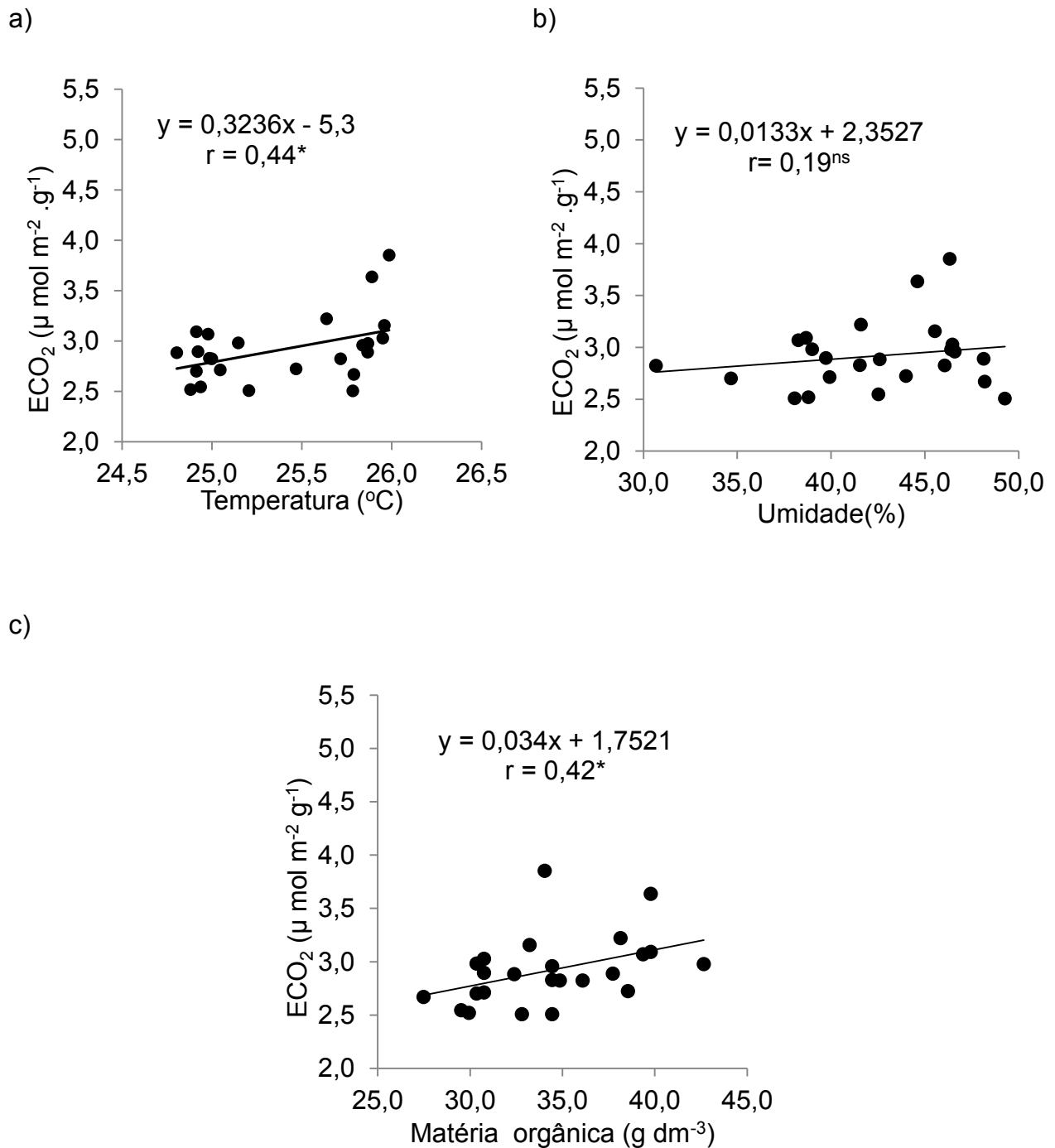


Figura 7. Relação entre a emissão de CO_2 (ECO_2) em função da temperatura (a), da umidade (b), e da matéria orgânica do solo (c), dos tratamentos sem palha (SPA) e com palha (CPA), submetidos a frações de efluente de estação de tratamento de esgoto em água (F1: 11% de EETE ou 20 mm de EETE; F2: 60% de EETE ou 110 mm de EETE e F3: 100% de EETE ou 184 mm de EETE) e aplicação de palha (SPA: sem palha e CPA: 10 Mg ha^{-1} com palha).

A associação entre umidade do solo e emissão de CO₂ foi pouco influenciada pela presença de palha sobre o solo (Figura 7b) e apenas a fração F3 (100% de EETE) exibiu associação consistente com maior emissão de CO₂ (Tabela 8). Panosso et al. (2009) relatam que maior emissão de CO₂ se associaram com maiores lâminas de irrigação. Estes resultados concordam também com Zotelli (2012), em que maiores umidades no solo propiciaram relação positiva entre CO₂ e umidade do solo. Diferentemente, Moitinho et al. (2012) que constataram que a presença de palha sobre o solo implicou em menor emissão de CO₂, menores temperaturas e maiores teores de umidade. D'Andrea (2004) não verificou associação de emissão de CO₂ com umidade do solo, tanto em ambiente natural quanto em área reflorestada. Entretanto, Fernandes (2008) relata que a distribuição sazonal da umidade do solo explica em grande parte as emissões de CO₂.

A associação entre matéria orgânica e emissão de CO₂ foi linear e crescente (Figura 7c), e o tratamento CPA sobre o solo, não mostrou efeito médio da palha em relação ao tratamento SPA (Tabela 8). Entretanto, na associação de emissão de CO₂ e diferentes frações F1, F2 e F3, constataram-se valores crescentes de MO com o aumento das frações de EETE, em que a diferença foi maior a favor da fração F3 (+17,41%), em relação apenas à fração F1, a qual tem concentração de nutrientes inferior às demais (Tabela 8) e emitiu menos CO₂.

O teor de MO maior na fração F3 pode ser justificado pelo aporte maior de nutrientes P, N, Mg e S presentes no EETE (Tabela 6). Simões et al. (2013) e Sparling et al. (2006) verificaram maior atividade microbiana em solos que tiveram aplicações de frações maiores de EETE, fato este que, provavelmente, explica os resultados de maior emissão de CO₂ com maiores frações de EETE deste estudo, e a provável maior condutividade elétrica dos tratamentos com F3 (HANKO; SUMMES, 2006).

D'Andrea (2004) relata que não foi verificada associação satisfatória da matéria orgânica do solo, do carbono microbiano total e dos atributos físicos, temperatura e umidade, para explicar a emissão de CO₂ em ambiente florestais naturais e reflorestados. Estas informações corroboram semelhante estudo relatadas por Fernandes (2008) em relação apenas a emissão de óxido nitroso (N-N₂O).

Evangelista et al. (2012) relatam que, na comparação de diferentes sistemas de produção orgânica e convencional, ficou evidente que, dos diferentes sistemas

orgânicos testados, a atividade da enzima β -glicosidases foi superior nos tratamentos sem revolvimento do solo, indicando maior ciclagem de nutrientes neste sistema, em relação aos demais. O mesmo ocorreu com a enzima fosfatase ácida, fato associado com a maior atividade microbiana e com o equilíbrio do sistema solo/atmosfera.

3.4 CONCLUSÕES

A aplicação de palha incrementou a emissão de CO₂, a temperatura e umidade do solo em 8,9%, 3,1% e 12,98%, respectivamente, em relação aos tratamentos que não receberam palha. Maior emissão de CO₂ ocorreu nos tratamentos com maiores frações de EETE. Aplicações mais elevadas de EETE aumentaram o teor de matéria orgânica do solo. A relação entre emissão de CO₂ e temperatura do solo e matéria orgânica do solo foram lineares e crescentes.

3.5 REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos do Brasil**. São Paulo, 2013. 112 p. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm>. Acesso em: 20 fev. 2015.

ABRO, S. A.; TIAN, X.; HUSSAIN, Q.; TALPUR, M.; SINGH, U. Carbon dioxide emission from maize straw incubated with soil under various moisture and nitrogen levels. **Journal of the Chemical Society of Pakistan**, Karachi, v. 34, n. 1, p. 22-27, 2012. Disponível em: <http://www.academia.edu/2089847/Carbon_Dioxide_Emission_from_Maize_Straw_Incubated_with_Soil_under_Various_Moisture_and_Nitrogen_Levels>. Acesso em: 20. fev. 2015.

AGUIAR, C. M. de; LUCENA, S. L. de. Hidrólise enzimática de resíduos lignocelulósicos: produção de celulases por *Aspergillus niger* e efeitos do pré-tratamento. **Acta Scientiarum: technology**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 385-391, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i4.10204>>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <<http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

ALMEIDA, T. L. de; PANOSSO, A.; BERALDO, J. M. G.; GAIAD, S.; MILORI, D. M. B. P.; LA SCALA JÚNIOR, N.; MARTIN NETO, L. Estudo da emissão de CO₂ do solo em áreas submetidas a aplicação de biossólido. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 11, 2011, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Departamento de Química da UFS/ Grupo Brasileiro do IHSS, 2011. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, R. F. de, SILVEIRA, C. H.; MIKHAEL, J. E. R.; FRANCO, F.O.; RIBEIRO, B. T.; FERREIRA, A. de S.; MENDONÇA, E. de Sá; WENDLING, B. CO₂ emissions from soil incubated with sugarcane straw and nitrogen fertilizer. **African Journal of Biotechnology**, vol. 13, n.33, p. 3376-3384, 2014. Disponível em: <www.academicjournals.org/journal/AJB/article-abstract/64A511E46620>. Acesso em 05-09-2015. DOI: 10.5897/AJB2014.13790

ANGIN, I.; ASLANTAS, R.; KOSE, M.; KARAKURT, H.; OZKAN, G. Changes in chemical properties of soil and sour cherry as a result of sewage sludge application. **Horticultural Science**, Prague, v. 39, n. 2, p. 61-66, 2012. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/260133246_Changes_in_chemical_properties_of_soil_and_sour_cherry_as_a_result_of_sewage_sludge_application>. Acesso em: 13 mar. 2015.

ARMENTA, R.; VACA, R.; LUGO, J.; AGUILA, P. del. Microbiological and biochemical properties of an agricultural mexican soil amended with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1646-1655, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500029>>.

BADÍA, D.; MARTÍ, C.; AGUIRRE, A.J. Straw management effects on CO₂ efflux and C storage in different Mediterranean agricultural soils. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 465, p. 233-239, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.006>>.

BAYS, A. P.; CABRAL, A. C. E.; ABREU, J. G. de; FIORI, A. M. R.; CARDOSO, G. L. S.; MENDONÇA, L. F.; ANDRADE, F. C. F.; ROSA, M. S. Adubações fosfatadas e nitrogenadas na rebrota do capim Mombaça. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 25, 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2015. 1 CD-ROM.

BELAN, L. L.; XAVIER, T. M. T.; TORRES, H.; TOLEDO, J. V.; PEZZOPANE, J. E. M. Dinâmica entre temperaturas do ar e do solo sob duas condições de cobertura. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 11, supl. 1, p. s147-s154, 2013. Disponível em: <<http://www2.pucpr.br/reol/pb/index.php/academica?dd1=>>>. Acesso em: 09 jul. 2015.

BERTON, R. S.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 187-192, 1989.

BHUYAN, S. I.; TRIPATHI, O. P.; KHAN, M. L. Seasonal changes in soil microbial biomass under different agro-ecosystems of Arunachal Pradesh, North East Índia. **Journal of Agricultural Sciences**, Cambridge, v. 8, n. 3, p. 142-152, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4038/jas.v8i3.6087>>.

BITTAR, I. M. B.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma cerrado sob condições de incubação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1952-1960, nov./dec. 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/19825>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; MAXIMILIANO, V. C. B. Emissão de CO₂ em amostras de latossolo tratadas com lodos de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 53). Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=20146&secao=Agrotemas>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

BONINI, C.S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.4, p.388-393, 2015. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em 12-09-2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p388-393>.

BOUAJILA, K.; SANAA, M. Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological properties. **Journal of Materials and Environmental Science**, Oujda, v. 2, suppl. 1, p. 485-490, 2011. Disponível em: <http://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol2/vol2_S1/12-GSO-S1-01-Bouajila%20kkedija.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Organização Pan-Americana da Saúde. Representação da OPAS/OMS no Brasil. **Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento**: marco conceitual e estratégia metodológica. Brasília, 2004. 116 p.

BRASIL. Associação Brasileira de Agências de Regulação. ABAR. **Saneamento básico**: regulação 2013. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2013. 92 p.
BUSTAMANTE, M.; SCARANO, F. R.; JOLY, C. A. Biodiversidade: composição, estrutura e função de ecossistemas nos Biomas Cerrado e Mata Atlântica: respostas à mudança climática. In: INCT. Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia. Estudos de impactos, adaptação e vulnerabilidade. São Jose do Campos, 2010. 96 p.

BRITO, L. F.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. R. T.; MENEZES, Z. S.; LA SCALA JÚNIOR, N. Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 77-83, jan./fev. 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000100011>>.

BUSTAMANTE, M.; SCARANO, F. R.; JOLY, C. A. Biodiversidade: composição, estrutura e função de ecossistemas nos Biomas Cerrado e Mata Atlântica: respostas à mudança climática. In: INCT. Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia. Estudos de impactos, adaptação e vulnerabilidade. São Jose do Campos, 2010. 96 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasil. Resoluções do Conama: resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 1126 p., 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>>. Acesso em 10-09-2015.

CARDOSO, E. J. B. N.; RAFAEL L. F. V.; DANIEL, B.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A. dos; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M. de; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; CARMO, J. B. do; LAMBAIS, M. R. Transformações do nitrogênio em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 152-162, 2013. Disponível em: <<http://www.abagroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/13266/9908>>. Acesso em: 12 fev. 2015.

CARMO, J. B. do; LAMBAIS, M. R. Transformações do nitrogênio em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 152-162, 2013. Disponível em: <<http://www.abagroecologia.org.br/revistas/index.php/rbagroecologia/article/view/13266/9908>>. Acesso em: 20 fev. 2015.

CARNEIRO, R. G.; MOURA, M. A. L., SILVA, V. DE P. R. da; SILVA JUNIOR, R. S.; ANDRADE, A. M. D. de; SANTOS, A. B. dos. Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 99-108, 2014.

CARNEIRO, M. A.O C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, vol. 33, no.1, 2009. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n1/16.pdf> >. Acesso em: 05-09-2015.

CARNEIRO, S. P. **Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado**. 2010.125p. Dissertação. (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2010.

CASTRO, B. S.; PAULA, A. M. de; NOGUEIRA, S. F.; GOMES, T.M.; DEON, M. D.; PEREIRA CASTRO, B. F. F.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Fluxo de gases (CH₄, N₂O e CO₂) em área de cana-de-açúcar sem queima irrigada com efluente de esgoto tratado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. Fortaleza: UFC: SBCS, 4p., 2009. CD-ROM. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/660464/1/2413.pdf>>. Acesso em 12-09-2015.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo. 2.ed São Paulo, 2011. 192 p. Disponível em: <http://inventariogeesp.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/30/2014/01/Primeiro_Inventario_GEE_WEB_Segunda-Edicao-v1.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2015.

CORRADI, M. M. **Efeito dos resíduos de cana-de-açúcar na emissão de CO₂ em condição sem distúrbio e após preparo do solo, em áreas de produção no sudeste do Brasil**. 2011. 53 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

CORRADI, M. M.; PANOSSO, A. R.; FILHO, M. V. M.; La SCALA JUNIOR, N. Crop residues on short-term CO₂ emissions in sugarcane production areas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, jul./aug. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000400009>>.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 420–426, 2007.

COSCIONE, A. R.; SILVA, L. F. M.; MARIA, I. C. de; ANDRADE, C. A. de; FERRACINI, V. L. Solução do solo e análise de componentes principais para monitoramento da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1654-1662, set./out. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000500030>>.

COSTA, C.D. de O.; ALVES, M. C.; SOUSA, A. de P. Atributos químicos dos solos sob diferentes usos e manejos em uma sub-bacia no noroeste do estado de São Paulo. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 2, p. 119-126, 2015. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/index>>. DOI: <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v14n2p119-126>.

COSTA, F. O.; BERTON, R. S. Sistema especialista como uma ferramenta para uso de lodo de esgoto na agricultura no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agroinformática**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2004.

COSTA, D. M. A. da; MELO, H. N. S.; FERREIRA, S. R. Eficiência da cobertura morta na retenção de umidade no solo. **Holos**, Natal, v. 23, maio, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15628/holos.2007.6>>.

COSTA, G.B., CHAGAS, G.F.B., DA COSTA, W.C., RIBEIRO, J. B.M. Análise do comportamento da temperatura do ar e temperatura foliar em uma região de manguezal na cidade de Bragança-PA. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIV, Florianópolis-SC. P. 1-5, 2006. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/view/9806/5873>>. Acesso em: 12-09-2015.

COSTA G. B.; MENEZES, S. M. C. de; NUNES, H. G. C.; CHAGAS, G. F. B.; RIBEIRO, J. B. M. Comportamento das temperaturas do ar, foliar e do solo em manguezal natural na Amazônia. **Ciência e Natura**, Santa Maria, n. esp., p. 79-82, 2006. Disponível em:<<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/view/9806/>>. Acesso em: 09 jul. 2015.

D'ANDREA, A. F. **Fluxo de CO₂ do solo em áreas de cafeeiro e povoamentos florestais**. 2004. 97 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

DANTAS, E. M.; AQUINO, L. C. L. de. Fermentação em estado sólido de diferentes resíduos para a obtenção de lipase microbiana. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 81-87, 2010. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev121/Art12111.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

DANTAS, F. A.; LEONETI, A. B.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; OLIVEIRA, M. M. B. Uma análise da situação do saneamento no Brasil. **Revista FACEF Pesquisa: desenvolvimento e gestão**, Franca, v. 15, n. 3, p. 272-284, set/dez. 2012. Disponível em: <<http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/facefpesquisa/article/viewFile/549>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

DAS, S.; BHATTACHARYYA, P.; ADHYA, T. K. Interaction effects of elevated CO₂ and temperature on microbial biomass and enzyme activities in tropical rice soils. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 182, n. 1-4, p. 555-569, nov. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10661-011-1897-x>>. MUDAR ANO CITAÇÃO PARA 2011.

DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. da. Produtividade e qualidade da cana de açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p.1149-1156, out., 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v45n10/14.pdf>. Acesso em: 10-09-2015.

DIJKSTRA, F. A.; MORGAN, J. A. Elevated CO₂ and warming effects on soil carbon sequestration and greenhouse gas exchange in agroecosystems: a review. In: LIEBIG, M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; FOLLETT, R. F. **Managing agricultural greenhouse gases**. London: Elsevier Science & Technology, 2012. chap. 27, sect. 7, p. 467-486. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-386897-8.00027-9>>.

DOMINGUEZ, D. X.; GÜNTHER, W. M. R.; PEREZ, D. V.; ALCANTARA, S. M. Impactos no solo associados à utilização agrícola de lodo de esgoto como condicionador e fertilizante de solo. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 6, 2015, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Venturi para Estudos Ambientais, 2015. 10 p. Disponível em: <<http://www.6firs.institutoventuri.org.br/images/trabalhos/T09.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

ELDARDIRY, E. I.; EL-HADY, M. A.; ZAGHLOUL, A. M. Relationship between soil physical and chemical properties and hydrophysical soil properties under reuse of agricultural drainage water. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science**, Dubai, v. 13, n. 1, p. 1-6, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2013.13.01.1913>>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2013. 306 p.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; FERREIRA, ENDERSON P. B.; CORRECHEL, V. Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, jul./ago. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n4p1251>>.

FERNANDES, E. B. **Emissão de CO₂, NO_x e N₂O em solos sob diferentes cultivos na região do cerrado**. 2008. 152 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

FERREIRA, S. R. de; MELO, W. J. de; OLIVEIRA, J. T. R. de; MESSIAS, A. S.; ALVES E SILVA, H.; NASCIMENTO, A. E. do; FEITOSA, M. C. A. Condutividade hidráulica e interações solo-biossólidos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35 n. 5, sept./oct. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000500011>>.

FONSECA, A. F. da. **Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem**. 2005. 174 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FONSECA, A. F. da; HERPIN, U.; PAULA, A. M. de; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brasil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 194-209, mar./apr. 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S01039016200700020004>>.

FORTES NETO, P.; FORTES, N. L. P.; SILVA, E. M. A. M. da; BRAMBATTI, F.; SILVA, C. R. A qualidade do solo medida pela liberação de Co₂ e pelo número de bactérias e fungos num solo fertilizado com composto de lodo de esgoto. Associação Educacional Dom Bosco. In: SIMPÓSIO DE EXCELENCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 9, 2012, Rezende, RJ. 12 p.

FORTES, F. C. A. **Manejo do solo com lodo de esgoto na produção e qualidade de frutos em bananeira irrigada**. 2011. 113 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/103413>>.

FRAGA, M. E. A. S.; BRAZ, D. M.; ROCHA, J. F.; PEREIRA, M. G.; FIGUEIREDO, D. V. Interação microrganismo, solo e flora como condutores da diversidade na Mata Atlântica. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 26, n. 4, p. 857-865, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062012000400015>>.

GALVÃO JUNIOR, A. C.; NISHIO, S. R.; BOUVIER, B. B.; TUROLLA, F. A. Marcos regulatórios estaduais em saneamento básico no Brasil. **Revista de Administração Pública, RAP**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 1, p. 207-227, 2009.

GOMES, S. O. F. R. **Análise da viabilidade econômica de utilização de águas residuária tratadas: o caso do ETAR do Ave**. 2011. 174 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho, 2011.

GREEN, J.; BOHANNAN, B. J. M. Spatial scaling of microbial biodiversity. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 21, n. 9, p. 501-507, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2006.06.012>>.

HADY, M. A.; ZAGHLOUL, A. M. Relationship between soil physical and chemical properties and hydrophysical soil properties under reuse of agricultural drainage water. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, Dubai, v. 13, n. 1, p. 1-6, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2013.13.01.1913>>.

HANKO, R. M.; SUMMES, S. A. Effects of land application of farm dairy effluent on soil properties: a literature review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 49, n. 3, p. 307-320, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00288233.2006.9513721>>.

HOGAN, D. J.; MARANDOLA, J. R. E. (Org.). **População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais**. Campinas: Núcleo de Estudos de População – NEPO, 2009. p. 137-158.

HUI, L.; PING, Z.; PING, L.; YUE-SI, W.; YONG-BIAO, L.; XING-QUAN, R. Greenhouse gas fluxes from soils of different land-use types in a hilly area of South China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 124, n. 1-2, p. 125-135, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2007.09.002>>.

INCT. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas. **INCT para mudanças climáticas, 2009-2010**: relatório de atividades. São José dos Campos: INPE, 2010. 96 p. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/inct/INCT_report_digital_port.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2015a.

INCT. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas. **INCT para mudanças climáticas 2011-2013**: relatório de atividades. São José dos Campos Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/Relatorio_INCT_2011_2013_V0808.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2015b.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: synthesis report. In: PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (Ed.). **Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland, 2007. 104 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2015.

JÜSCHKE, E.; MARSCHNER, B.; CHEN, Y.; TARCHITZKY, J. Effects of treated wastewater irrigation on contents and dynamics of soil organic carbon and microbial activity. **Geophysical Research Abstracts**, Gottingen, v. 11, EGU2009-4780, 2009. Disponível em: <<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2009/EGU2009-4780.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2015. MUDAR ANO NA CITAÇÃO PARA 2015.

KAUTHALE, V. K.; TAKAWALE, P. S.; KULKARNI, P. K.; DANIEL, L. N. Influence of flyash and sewage sludge application on growth and yield of annual crops. **International Journal of Tropical Agriculture**, Hissar, v. 23, n. 1-4, p. 49-54, 2005. Disponível em: <http://www.academia.edu/233479/SEWAGE_SLUDGE_AS_NUTRIENT_SOURCE_FOR_BIOENERGY_CROPS>. Acesso em: 30 ago. 2015.

KESKİN, B.; BOZKURT, M. A.; AKDENİZ, H. Effects of Sewage Sludge and Nitrogen Fertilizer Application on Nutrient and Heavy Metal Concentrations in Grass-legume. **University Journal Institute Scientia anda Technology**, vol 2, n.3), p.93-102, 2012. Disponível em: <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/igdirfbed/article/viewFile/5000093794/5000087337>. Acesso em 12-09-2015.

KHAI, N. M.; TUAN, P. T.; VINH, N. C.; OBORN, I.; MARIOTONI, C. A.; CUNHA, M. E. G.; MARTÍNEZ-PRADO, A.; PÉREZ-LÓPEZ, M. E.; PINTO-ESPINOZA, J.; GURROLA-NEVÁREZ, B. A.; OSORIO-RODRÍGUEZ, A. L. Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando biossólidos residuales como fuentes alterna de nutrientes. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, México, v. 27, n. 3, p. 241-252, 2011.

KHAI, N. M.; TUAN, P. T.; VINH, N. C.; OBORN, I. Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in peri-urban agricultural systems. **VNU Journal of Science: earth sciences**, Hanói, v. 24, p. 87-95, 2008. Disponível em: <http://tapchi.vnu.edu.vn/e_2_08/bai4.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2015.

KHALEEL, R. K.; REDDY, K. R.; OVERCASH, M. R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 10, n. 2, p. 133-141, 1981. Disponível em: <<https://soils.ifas.ufl.edu/wetlands/publications/PDF-articles/49>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

KUMAR, V.; CHOPRA, A. K. Accumulation and translocation of metals in soil and different parts of French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) amended with sewage sludge. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 92, n. 1, p. 103-108, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00128-013-1142-0>>.

LACHI, G. B.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Qualidade da água e composição fitoplanctônica de um viveiro de piscicultura utilizado para fins de pesca esportiva e irrigação. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 29-38, 2008. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftppeca/34_1_29-38.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2015.

LIMA, F. A.; NASCIMENTO, C. R.; SAMPAIO, R. A. Caracterização de áreas potenciais para aplicação de lodo de esgoto utilizando Sistema de Informações Geográficas no município de Montes Claros, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, 2013, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais...** Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0406.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

LINDAHL, B. D.; IHRMARK, K.; BOBERG, J.; TRUMBORE, S. E.; HOGBERG, P.; STENLID, J. Spatial separation of litter decomposition and mycorrhizal nitrogen uptake in a boreal forest. **The New Phytologist**, London, v. 173, n. 3, p. 611-620, 2007. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17244056>>. Acesso em: 04 jul. 2015.

LIRA, A. C. S. de; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 207-216, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522008000200011>>.

MARCELINO, R. B. P.; FRADE, P. R.; AMORIM, C. C.; LEÃO, M. M. D. Tendências e desafios na aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes industriais não biodegradáveis: atuação do grupo de pesquisas POA control da UFMG. **Revista UFMG**, v. 20, n.2, p. 358-383, jul./dez., 2013. Disponível em:<www.ufmg.br/revistaufmg/downloads/20-2/17> . Acesso em 10-09-2015.

MAGALHÃES, D. N de **Toxicidade no cotratamento de esgoto sanitário e lixiviado de aterro sanitário**. 2012.31p. Dissertação(Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, UFV, 2012.

MARASCA, I.; GONÇALVES, F. C.; MORAES, M. H.; BALLARIN, A.W.; GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P. Propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho em função dos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1160–1166, 2013. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n11/v17n11a05.pdf>>. Acesso em:12-09-2015.

MARENGO, J. A. (Coord.). Riscos das mudanças climáticas no Brasil. Análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. CCST/INPE & Met Office Hadley Centre, maio de 2011, vários autores, 55 p. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/relatorio_port.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2015.

MARIA, I. C. de; KOCSSI, M. A. M. I.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 291-298, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200013>>.

MATSURA, E. E.; BARBOSA, E. A. A.; NAZARIO, A. A.; SANTOS, L.N.S.; GONÇALVES, I. Z. Aplicação de esgoto via gotejamento subsuperficial e emissão de gases de efeito estufa no cultivo de cana-de-açúcar. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XLIII, CONBEA, 2014, 27 a 31 de julho de 2014, Campo Grande, MS, Brasil, **Anais...**

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; SOUZA, J. A. de. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 109–115, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000200001>>.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R. A.; LEITE, S. A. S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações de matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, p. 449-455, 1994.

MOITINHO, M. R. **Emissão de CO₂ e sua relação com propriedades, manejo do solo e palha em áreas de cana-de-açúcar**. 2013. 57 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; BRITO, G. de; LA SCALA JR, N. Variações diurnas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo sobre diferentes manejos pós-colheita da cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, dez. 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69062/1/098-moitinho-variacoes.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

MORATA, G. T., DALRI, A. B.; SANTOS, G. O.; PALARETTI, L. F.; FARIA, R. T. de. Uniformidade de aplicação de água pelos emissores com uso de efluente de esgoto tratado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, CONBEA, 43, 2014, Campo Grande, MS, Brasil. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br/conbea/2014/livro/R0196-1.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MOTTA, R. S. da; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; SARMIENTO GUTIERREZ, B. **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília: Ipea, 2011. 440 p.

MTSHALI, J.S.; TIRUNEH, A. T.; FADIRAN, A.O. Characterization of Sewage Sludge Generated from Wastewater Treatment Plants in Swaziland in Relation to Agricultural Uses. **Resources and Environment**, vol. 4, n.4,190-199, 2014. Disponível em:<<http://article.sapub.org/10.5923.j.re.20140404.02.html>>.Acesso em:12-09-2015. doi:10.5923/j.re.20140404.02

NOGUEIRA, S. F. **Efeitos da irrigação com esgoto tratado e fertilização nitrogenada na ciclagem de carbono e nitrogênio e no metabolismo microbiano de um solo cultivado com capim-Bermuda Tifton 85**. 2008. 138 p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

NOGUEIRA, S. F.; CASTRO, B. S.; PAULA, A. M. de; GOMES, T. M.; DEON, M. D.; PEREIRA, B. F. F.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Fluxo de gases (CH₄, N₂O e CO₂) em área de cana-de-açúcar sem queima irrigada com efluente de esgoto tratado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32, 2009, Fortaleza. Fortaleza: UFC: SBCS, 2009. p. 4. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34991/1/>>.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.V. H.; BARROS, N. F. de; FONTE, R.L. F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J. C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 229, 319.

OLIVEIRA, F. C. **Comportamento de metais pesados e formas nitrogenadas em solos tratados com lodo de esgoto**. 1995. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

OLIVEIRA, A. F. M.; FERNANDES, G. B. C.; BATISTA, O.; SOUZA, L. de; GURGEL, M. T. Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 2, p. 302-312, apr./jun. 2014a.

OLIVEIRA, A. P. P. de; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. dos; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.9, p.939–947, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p939-947>

ONWUDIWE, N.; BENEDICT, O. U.; OGBONNA, P. E; EJIOFOR, E. E. Municipal solid waste and NPK fertilizer effects on soil physical properties and maize performance in Nsukka, Southeast Nigeria, **African Journal of Biotechnology**, Vol. 13(1), pp. 68-75, 1 January, 2014.

PAKHENENKOA, E. P.; ERMAKOVA, A. V.; UBUGUNOV, L. L. Influence of sewage sludge from sludge beds of Ulan-Ude on the soil properties and the yield and quality of potatoes. **Moscow University Soil Science Bulletin**, New York, v. 64, n. 4, p. 175–181, 2009. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.3103%2FS0147687409040061>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

PANOSSO, A. R. **Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade em latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar em sistemas de colheita manual com queima e mecanizada**. 2006. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil Tillage Research**, New York, v. 105, n. 2, p. 275-282, 2009a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2009.09.008>>.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de irrigação. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 30, supl. 1, p. 1017-1034, 2009b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n4Sup1p1017>>.

PANOSSO, A. R.; MARQUES JR, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JR, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil Tillage Research**, New York, v. 111, p. 190–196, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.10.002>>.

PANTOJA, J. L. R.; GUIMARAES, E.; SILVA, V. M. da; SOARES, J. M.; RODRIGUES, P. J. A. Elaboração de histograma de vazão na estação de esgoto do Uma, região metropolitana de Belém, PA. In: Rio CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. Rio de Janeiro: ABES, 2005. p. 1-7.

PAULA, A. M. de **Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem irrigados com lâminas excedentes de efluente de esgoto tratado**. 2008. 120 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 47). Rome: FAO, 1992. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e00.htm>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

PINTO, M. C. K.; CRUZ, R. L.; FRIGO, E. P.; FRIGO, M. S.; HERMES, E. Contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido à irrigação com efluente do tratamento de esgoto. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 270-281, 2013.

PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A. de. **Recomendação de dose de lodo de esgoto: a questão do nitrogênio**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2014. 7 p. (Comunicado Técnico, 52).

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. 61 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agronômico, Campinas, 2011.

RAMAKRISHNA, A.; TAM, H. M.; WANI, S. P.; LONG, T. D. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. **Field Crops Research**, 95, p. 115–125, 2006. Disponível em :< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429005000560>>. Acesso em: 05-09-2015.

RESENDE, J. M. do A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J. S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. De B. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, vol.38, n.4, p.1077-1090, 2014. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v38n4/04.pdf> >. Acesso em 06-09-2015.

ROMEIRO, J. C. T. **Atributos químicos do solo e crescimento de laranjeiras pera irrigadas com efluente de esgoto tratado e fertilizadas com lodo de esgoto compostado**. 2012. 158 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2012.

ROSSMANN, M.; VIEIRA, D. B.; AVELAR, F. F.; MATOS, A. T. de. Redução da viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto doméstico caleado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 43-49, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13083/14143984v22n01a05>>.

SÁ, J. C. de M.; FERREIRA, A. de O.; BRIEDIS, C.; VIEIRA, Â. M.; FIGUEIREDO, A. G. de CRESCIMENTO RADICULAR, EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES E PRODUÇÃO DE GRÃOS DE GENÓTIPOS DE MILHO EM DIFERENTES QUANTIDADES DE PALHA DE AVEIA-PRETA EM PLANTIO DIRETO. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 34:1207-1216, 2010. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/20.pdf>>. Acesso em: 05-09-2015.

SALATI, E. **Economia das mudanças climáticas no Brasil**: estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015-2100). FBDS, 2009.82 p. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/files/2011/12/Economia_MC_Brasil_Salati.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2015.

SANTIN, R. C. **Emissão de gases de efeito estufa em solo cultivado com pastagem (Tifton85) e irrigado com efluente de esgoto tratado**. 2012. 82 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SANTOS, H. F.; TSUTIYA, M. T. Aproveitamento e disposição final do lodo de esgoto de estações de tratamento do Estado de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 70-81, 1997.

SANTOS, S. S. dos; SOARES, A. A.; MATOS, A. T. de; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 32-38, jan./mar. 2006.

SANTOS, L. M. dos; SIMÕES, M. L.; SILVA, W. T. L.S. da; MILORI, D. M. B. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; MARTIN-NETO, L. Caracterização química e espectroscópica de solos irrigados com efluente de esgoto tratado. **Eclética Química**, São Paulo, v. 34, n. 1, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S010046702009000100006>>.

SANTOS, G. O.; FARIA, R. T. de; SOARES, C. A.; ZANINI, J. R.; DALRI, A. B. Potencial de reuso de efluente de estação de tratamento de esgoto no município de Jaboticabal-SP. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42., 2013, Fortaleza - CE. **Anais...**

SANTOS, G. O.; FARIA, R. T. de; RODRIGUÊS, G. A.; DONALONSO, G. S. Produção e qualidade de matéria seca de *Brachiaria brizantha* fertirrigada com efluente de esgoto tratado. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2014a, Zurich.

SANTOS, G. O.; FARIA, R. T. de; RODRIGUES, G. A.; DALRI, A. B.; FIGUEREDO, G. D. Variação sazonal e potencial de reúso de efluente de esgoto tratado como fertilizante na *Brachiaria brizantha* cv. marandu. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 11, 2014b, Cancún, Quintana Roo, México.

SAS INSTITUTE. SAS online DOC ® 9.2. Cary, 2009.

SILVA, N. B. **Avaliação química e ecotoxicológica de lodos e esgoto visando à utilização na agricultura**. 2012, 81p. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 2012.

SILVA NETO, S. P. da; SANTOS, A. C. dos; LEITE, R. L. DE L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S. da; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. das Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 541-552, 2011. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/3925>>. Acesso em: 06-09-2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32n2p541

SANTOS, A. P. R. dos **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um Argissolo Vermelho distrófico cultivado com capim-Tifton 85**. 2004. 79 p. Dissertação(Mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, 2004.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônômica para o bio sólido produzido no Distrito Federal. I-Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 487-495, 2002.

SILVA, W. T. P. da; DUARTE, A. C. L.; SOUZA, M. A. A. de Implementação e otimização de projeto para certificação do MDL em estação de tratamento de águas residuais. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 13-24, jan./mar. 2012.

SILVA, A. A.; COSTA, A. M.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q. Reciclagem de nutrientes com aplicação de resíduos orgânicos em pastagem degradada. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 32, n. 2, p. 405-414, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000200020>>.

SILVA, C. F. da; PEREIRA, G. H. A.; PEREIRA, M. G.; SILVA, A. N. da; MENEZES, L. F. T. de. Fauna edáfica em área periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 587-595, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000300004>>.

SILVA, E. F.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. B.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JUNIOR, N. Emissão de CO₂ do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, set./out. 2014.

SILVA, L. V. B. D.; LIMA, V. L. A.; OLIVEIRA, F. A. de; SILVA, V. N. B.; SOFIATTI, V. I. Irrigação com água residuária e adubação com torta de mamona: efeito sobre a salinidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SALINIDADE, 2010, Fortaleza, CE, Brasil. p. 1-6. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/870692/1/valdinei.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2015a.

SILVA, L. V. B. D.; LIMA, V. L. A. de; SILVA, V. N. B.; SOFIATTI, V. I.; PEREIRA, T. L. P. Torta de mamona residual e irrigação com efluente sobre crescimento e produção de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1264-1270, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v17n12/v17n12a03.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015b.

SILVA NETO, S. P.; SILVA, J. E. C.; SANTOS, A. C.; CASTRO, J. G. D.; DIM, V. P.; ARAÚJO, A. S. Características agrônômicas e nutricionais do capim Marandu em função da aplicação de resíduo líquido de frigorífico. **Acta Scientiarum: animal sciences**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 9-17, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v32i1.6247>>.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA JR., N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, London, v. 8, p. 1-8, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015014>>.

SIMÕES, K. S.; PEIXOTO, M. F. S. P.; ALMEIDA, A. T.; LEDO, C. A. S.; PEIXOTO, C. P.; PEREIRA, F. A. C. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 518–523, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S141543662013000500008>>.

SINAENCO. Sindicato de Arquitetura e da Engenharia. **Panorama do saneamento básico no Brasil: situação em 2008 e os investimentos previstos para a Copa do Mundo de 2014.** 55 p. Disponível em: <<http://www.sinaenco.com.br/downloads/Saneamento%20Copa.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 35, n. 1, jan./fev. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100006>>.

SOUZA, A. P. de; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. B. D. da; GUERRA, J. G. M.; COSTA, J. R. Taxas de decomposição de resíduos vegetais submetidos a lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 512-526, jul./set. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2014v19n3p512>>.

SPARLING, G. P.; BARTON, L.; DUNCAN, L.; MCGILL, A.; SPEIR, T. W.; SCHIPPER, L. A.; ARNOLD, G.; SCHAIK, A. van. Nutrient leaching and changes in soil characteristics of four contrasting soils irrigated with secondary-treated municipal wastewater for four years. **Soil Research**, Collingwood, v. 44, n. 2, p. 107-116, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1071/SR05084>>.

STROJAKI, T. V.; SILVA, V. R. da; ROS, C. O. da; SILVA, R. F. da; SOMAVILLA, A. Alterações químicas em latossolo vermelho submetido a doses crescentes de resíduo orgânico de agroindústria frigorífica. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 190, 2014. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/alteracoes%20quimicas.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2015.

STYŁA, K.; SAWICKA, A. Microbiological activity of soil against the background of differentiated irrigation and fertilization in apple (*Malus domestica*) orchard after replantation. **Agronomy Research**, Tartu, v. 8, n. 1, p. 827–836, 2010.

SUSZEK, E. B.; FORTES NETO, P.; FORTES, N. L. P.; SILVA, E. M. A. M.; BRAMBATTI, F.; SILVA, C. R.; PATROCINIO, D. D. Atributos microbianos do solo fertilizado com composto de lodo de esgoto. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 49-61, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.915>>.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of different management systems on porosity of oxisols in Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 899-906, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300031>>.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 867-876, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300021>>.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA JÚNIOR, N. Spatial variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area characterized by secondary. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 3, p. 195-203, may/jun. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162013000300008>>.

TELES, C. R.; MUNARO, C. J.; CASSINI, S. T. A. Modelagem da decomposição aeróbia de biossólidos de esgoto em solos com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 197-203, 2009.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000. v. 4, p. 69-106.

VARELA, S. A.; GOBBI, M. E.; LAOS, F. Can biosolids compost improve, in the short term, native vegetation and soils fertility in burned *Nothofagus pumilio* forest in Patagonia, Argentina? **Bosque**, Valdivia, v. 32, n. 3, p. 267-278, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002011000300008>>.

WONG, J. W.C., LAI, K.M., SU, D. S.; FANG, M. Availability of Heavy Metals for Brassica Chinensis grown in an acidic loamy soil amended with domestic and industrial sewage sludge. **Water Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 128, p. 339-353, 2001. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1010353107240>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

YILMAZ, D. D.; TEMIZGUL A. Assessment of arsenic and selenium concentration with chlorophyll contents of sugar beet (*Beta vulgaris* var. saccharifera) and wheat (*Triticum aestivum*) exposed to municipal sewage sludge doses. **Water Air Soil Pollution**, Dordrecht, v. 223, p. 3057-3066, 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11270-012-1088-6#page-1>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

ZAMAN M., CAMERON K. C., DI, H. J.; INUBUSHI, K. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications of dairy shed effluent and chemical fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 63, n. 2, p. 275-290, 2002. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1021167211955#page-1>>. Acesso em: 30 ago. 2015.

ZANINI, J. R., BARRETO, A. K. G.; LA SCALA JÚNIOR, N. Taxa de emissão de CO₂ de um latossolo fertirrigado com ácido fosfórico por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 179-188, jan./abr. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100020>>.

ZHU, L.; HU, N.; YANG, M.; ZHAN, X.; ZHANG, Z. Effects of Different Tillage and Straw Return on Soil Organic Carbon in a Rice-Wheat Rotation System **PLOS ONE** / **www.plosone.org**, Vol. 9, n. 2, 2014. Disponível em: <
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0088900>>.
Acessado em 05-09-2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0088900

ZOTELLI, L. C. **Palha e vinhaça**: emissão de CO₂, N₂O e CH₄ em solo com cana-de-açúcar. 2012. 77 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2012.

ZSCHORNACK, T.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; ANGHINONI, I. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from flood-irrigated rice by no incorporation of winter crop residues into the soil(1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 623-634, 2011.