



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



TALLES IWASAWA NEVES

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOSSÓLIDO
GERADO POR INDÚSTRIA TÊXTIL COMO
FERTILIZANTE PARA PRODUÇÃO DE CAPIM-
ELEFANTE – *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone**

JOÃO PESSOA - PB
2017

TALLES IWASAWA NEVES

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOSSÓLIDO GERADO POR
INDÚSTRIA TÊXTIL COMO FERTILIZANTE PARA PRODUÇÃO DE
CAPIM-ELEFANTE — *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento energético, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Raphael Abrahão

Coorientador
Dr. Claudio Augusto Uyeda

**JOÃO PESSOA - PB
2017**

N518a Neves, Talles Iwasawa.

Aproveitamento energético do biossólido gerado por indústria têxtil como fertilizante para produção de capim-elefante - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone / Talles Iwasawa Neves.- João Pessoa, 2017.

114 f. : il.-

Orientador: Prof. Dr. Raphael Abrahão.

Dissertação (Mestrado) – UFPB/CEAR

1. Estação de Tratamento de Efluentes. 2. Biossólido.
3. Adubo Químico. 4. Forrageira. 5. Avaliação de Ciclo de Vida.

I. Título

UFPB/BC

CDU – 620.91(043)

TALLES IWASAWA NEVES

**APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BISSÓLIDO GERADO POR
INDÚSTRIA TÊXTIL COMO FERTILIZANTE PARA PRODUÇÃO DE
CAPIM-ELEFANTE – *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento Energético para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de Fevereiro de 2017

Prof. Dr. Wellington Costa da Silva – Instituto Federal de Pernambuco (IFPE)

Prof. Dra. Monica Carvalho – Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB)

Prof. Dr. Raphael Abrahão - Departamento de Engenharia de Energias Renováveis (UFPB)

Orientador (a)
Dr. Raphael Abrahão

Coorientador (a)
Dr. Claudio Augusto Uyeda

**JOÃO PESSOA - PB
2017**

Dedico a Deus e minha família, em
especial minha esposa Carol,
pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me proporcionar o dom da vida.

A minha esposa Ana Carolina pelo companheirismo diário e apoio incondicional.

A minha família que mesmo de longe sempre esteve me apoiando.

Ao Professor Raphael Abrahão, por ser um orientador dedicado, presente no dia a dia dos trabalhos.

Ao Professor Claudio Uyeda, pela contribuição de saberes e conhecimentos que enriqueceram o trabalho.

A Professora Monica Carvalho, pelo conhecimento e dicas valiosas ao desenvolvimento do trabalho.

A Professora Kelly Gomes, pela contribuição nas análises de solo necessárias ao experimento.

Ao amigo Cleiton de Souza, pela contribuição nos trabalhos e no desenvolvimento do experimento.

Ao Eng. Julio Torres, pela compreensão e flexibilidade de horários para cursar o mestrado.

A Coteminas S.A. pelo financiamento de algumas análises necessárias ao bom andamento do experimento.

A PB Ambiental pela disponibilidade da área para o experimento e o financiamento dos custos do mesmo.

Ao amigo Robson Monteiro, gestor da PB Ambiental pelo apoio incomensurável para o desenvolvimento do experimento.

A equipe da PB Ambiental, na figura de Carlinhos, pela ajuda durante todo o período experimental.

A Equipe do Instituto Agronômico de Pernambuco pela ajuda nas análises laboratoriais.

E a todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho acadêmico, eu agradeço.

RESUMO

O lodo gerado por estações de tratamento de efluentes normalmente era disposto em aterros sanitários, o que a partir de agosto de 2014 foi proibido no Brasil. Portanto, o seu aproveitamento se torna necessário. Por apresentar em sua composição boas concentrações de nutrientes e matéria orgânica, o lodo é denominado bio sólido, e sua utilização como fertilizante agrícola é bastante viável. Para o presente trabalho, um experimento foi conduzido em uma fazenda experimental em Pedras de Fogo/PB, onde o objetivo foi comparar a produção de capim-elefante - *Cenchrus purpureus* (Schumach.). Morrone - os ganhos e perdas físico-químicas no solo e a avaliação de ciclo de vida da aplicação dos fertilizantes, através de um delineamento experimental em blocos casualizado com três blocos, onde os tratamentos consistiram em: sem adubação, adubação convencional, 1 x, 2 x, 4 x e 8 x Resolução do CONAMA. Foi verificada a viabilidade da aplicação de bio sólido como fertilizante, desde que seja feita de acordo com o que delimita a Resolução Conama 375/06. Nessa dosagem, a produção de capim-elefante, em média, foi semelhante aos tratamentos com fertilização química, incrementando nutrientes ao solo, sem causar qualquer tipo de contaminação ao mesmo. De acordo com o estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), observou-se que a dosagem de bio sólido de acordo com o que preconiza a Resolução Conama 375/06 apresentou aproximadamente 17,7% a menos em emissões de CO₂ equivalente do que a dosagem de fertilizante químico recomendada e uma quantidade de 0,16 kg de CO₂ equivalente menos emissões por tonelada de capim-elefante produzido.

Palavras-Chave: Estação de tratamento de efluentes, bio sólido, adubo químico, forrageira, avaliação de ciclo de vida.

ABSTRACT

Sludge generated by effluent treatment plants was normally disposed of in landfills, which, as of August 2014, was banned in Brazil. Therefore, its utilization becomes necessary. Due to its good composition of nutrients and organic matter, sludge is called biosolid, and its use as agricultural fertilizer is quite feasible. For the present work, an experiment was conducted at an experimental farm in Pedras de Fogo / PB, where the objective was to compare the production of elephantgrass - *Cenchrus purpureus* (Schumach.). Morrone - physical-chemical gains and losses in the soil and the evaluation of the life cycle of the fertilizer application, through a randomized block design with three blocks, where the treatments consisted of: no fertilization, conventional fertilization, 1 x, 2 x, 4 x and 8 x Resolution of CONAMA. The feasibility of the application of biosolids as fertilizer was verified, provided that it is made according to the Conama Resolution 375/06. In this dosage, elephant grass production, on average, was similar to treatments with chemical fertilization, increasing nutrients to the soil, without causing any type of contamination to the same. According to the Life Cycle Assessment (LCA) study, it was observed that the dosage of biosolids according to the Conama Resolution 375/06, presented approximately 17,7% less in CO₂ emissions equivalent to than the recommended chemical fertilizer dosage and an amount of 0.16 kg of CO₂ equivalent less emissions per ton of elephant grass produced.

Keywords: Effluent treatment plant, biosolids, chemical fertilizer, forage, life cycle assessment

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema simplificado de uma E.T.E. baseada no sistema de lodos ativados de aeração prolongada.....	25
Figura 1.2. Fases do desenvolvimento da avaliação do ciclo de vida de um processo ou produto.....	38
Figura 2.1. Representação esquemática do delineamento experimental.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Média de consumo de água de processos têxteis para dois diferentes tipos de fibra.....	18
Tabela 1.2. Caracterização dos despejos em processos têxteis para a fibra de algodão.	20
Tabela 1.3. Valor médio de caracterização de parâmetros de efluente têxtil bruto.....	21
Tabela 1.4. Tipos e processos de tratamento de efluentes.....	22
Tabela 1.5. Geração de lodo por tipo de sistema de tratamento de efluente.....	27
Tabela 1.6. Composição físico-química de lodo gerado por indústria têxtil.....	28
Tabela 1.7. Teor de sólidos resultantes a partir da escolha do tipo de estabilização e desaguamento escolhidos para o tratamento do lodo.....	30
Tabela 2.1. Quantidade aplicada de biossólido.....	45
Tabela 2.2. Valores médios da radiação extraterrestre de acordo com a latitude e o mês.....	48
Tabela 2.3. Caracterização do solo da área experimental e do biossólido aplicado.....	51
Tabela 2.4. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: N – Kjeldhal, Nitrato, Nitrito e N - Total do solo 1 dia antes do primeiro corte de capim-elefante.....	52
Tabela 2.5. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Fósforo (P1), pH (pH1), cálcio (Ca1), magnésio (Mg1), sódio (Na1), potássio (K1), Capacidade de Troca Catiônica (CTC1) e matéria orgânica (MO1) do solo 1 dia antes do primeiro corte do capim-elefante.....	53
Tabela 2.6. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Fósforo (P2), pH (pH2), cálcio (Ca2), magnésio (Mg2), sódio (Na2), potássio (K2), Capacidade de Troca Catiônica (CTC2) e matéria orgânica (MO2) do solo 1 dia antes do segundo corte do capim-elefante.....	54
Tabela 2.7. Resultados dos coliformes termotolerantes 1 dia antes do primeiro corte do capim-elefante.....	57
Tabela 3.1. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Altura da planta no primeiro (AP1) e segundo ciclo (AP2), relação Talo/Folha no primeiro (T/F_1) e segundo ciclo (T/F_2), produção total no primeiro (PT1) e segundo ciclo	

(PT2) e número de colmos no primeiro (NC1) e segundo ciclo (NC2) do capim- elefante utilizando lodo tratado.....	69
Tabela 3.2. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Matéria Seca (MS1), Matéria Mineral (MM1), Nitrogênio Total (NT1), Proteína Total (p1), Fibra Detergente ácido (FDA1), Fibra Detergente Neutro (FDN1), no primeiro corte do capim-elefante.....	71
Tabela 3.3. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Matéria Seca (MS2), Matéria Mineral (MM2), Nitrogênio Total (NT2), Proteína Total (p2), Fibra Detergente ácido (FDA2), Fibra Detergente Neutro (FDN2), no segundo corte do capim-elefante.....	72
Tabela 4.1. Esquemática utilizada no delineamento experimental.....	82
Tabela 4.2. Inventário da fertilização utilizando os fertilizantes químicos.....	84
Tabela 4.3. Inventário da fertilização utilizando o bio sólido.....	84
Tabela 4.4. Emissões de CO ₂ -eq. oriundas do uso da fertilização química.....	86
Tabela 4.5. Emissões de CO ₂ –eq. oriundas do uso do bio sólido.....	87
Tabela 4.6. Produtividade por corte e total de capim-elefante alcançada para cada tratamento e emissões geradas em relação à quantidade produzida.....	88

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos

Ca - Cálcio

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMC - Carboximetilcelulose

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

FDA – Fibra em Detergente Ácido

FDN – Fibra em Detergente Neutro

GWP - *Global Warming Potencial*

H₂O₂ – Peróxido de hidrogênio

ISO - *International Organization for Standardization*

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

K - Potássio

KCl - Cloreto de potássio

Mg – Magnésio

MM – Matéria mineral

MO – Matéria orgânica

MS – Matéria seca

NaOH – Hidróxido de sódio

NBR – Norma Brasileira

NMP – Número Mais Provável

P - Fósforo

P₂O₅ - Superfosfato simples

PB - Paraíba

pH – Potencial hidrogeniônico

PPGER – Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis

PVA – Acetato de Polivinila

N - Nitrogênio

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

TKN – Nitrogênio Kjeldal Total

T/F – Relação Talo/Folha

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	12
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.1. OBJETIVOS	17
1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
1.2.1. Indústria têxtil e a água.....	17
1.2.2. Caracterização e tratamento de efluentes na indústria têxtil.....	19
1.2.2.1. Lodos ativados.....	23
1.2.3. Geração de lodo em ETE's.....	25
1.2.3.1. Caracterização do lodo gerado na indústria têxtil.....	27
1.2.3.2. Tratamento do lodo gerado.....	28
1.2.4. Energia, fertilizantes químicos e biossólido.....	30
1.2.5. Aproveitamento energético do biossólido para uso agrícola.....	32
1.2.5.1. Normativas para o uso de lodos oriundos de ETE's em solos agrícolas.....	34
1.2.6. Cultura do capim–elefante.....	36
1.2.7. Avaliação do Ciclo de Vida.....	37
CAPITULO 2: ARTIGO: Avaliação das características físico-químicas do solo no plantio de capim-elefante - <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone - sob a aplicação de biossólido e fertilização química.....	40
RESUMO.....	40
ABSTRACT.....	40
2.1. INTRODUÇÃO.....	40
2.2. METODOLOGIA.....	42
2.2.1. Área experimental.....	42
2.2.2. Fertilização e estabilização do biossólido.....	43
2.2.2.1. Taxa de aplicação e estabilização do biossólido.....	43
2.2.2.2. Taxa de aplicação do fertilizante químico.....	46
2.2.3. Método de plantio.....	46

2.2.4. Irrigação.....	47
2.2.5. Coleta e processamento das amostras de solo.....	49
2.2.6. Análise estatística.....	50
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
2.4. CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
CAPÍTULO 3: ARTIGO: Avaliação da produtividade e características bromatológicas do capim-elefante – <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone – plantado sob a aplicação de biossólido e fertilização química.....	63
RESUMO.....	63
ABSTRACT.....	63
3.1. INTRODUÇÃO.....	64
3.2. METODOLOGIA.....	65
3.2.1.Colheita e processamento das amostras.....	65
3.2.2. Análise estatística.....	66
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
3.4. CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
CAPÍTULO 4 - ARTIGO: Avaliação de ciclo de vida da fertilização do capim-elefante – <i>Cenchrus purpureus</i> (Schumach.) Morrone – utilizando fertilização química e biossólido.....	78
RESUMO.....	78
ABSTRACT.....	78
4.1. INTRODUÇÃO.....	79
4.2. METODOLOGIA.....	80
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
4.4. CONCLUSÃO.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO GERAL	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA A DISSERTAÇÃO.....	96

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento industrial em áreas urbanas causa grandes impactos sociais, ambientais e econômicos, sejam eles positivos ou negativos. Um impacto ambiental negativo a ser considerado é a contaminação dos recursos hídricos, muito influenciado pelo despejo de águas residuárias em mananciais hídricos. A poluição dos corpos hídricos que recebem rejeitos industriais tem aumentado significativamente, o que pode causar problemas patológicos para a saúde humana com reflexo na qualidade de vida da população, tornando a água um recurso mais escasso (STACHIW, 2005).

Segundo Pedroza *et al.* (2010), os sistemas de tratamento de águas residuárias, a água retorna aos mananciais com certo grau de pureza. No entanto, na maioria dos tratamentos, principalmente os de natureza biológica ocorre à geração de um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, chamado de lodo de esgoto (ANDRADE, 1999).

O processamento e a disposição final do lodo podem representar até 60% do custo operacional de uma ETE (SPERLING, 2001). Normalmente, o lodo oriundo de ETE's era desidratado e disposto em aterros sanitários, porém desde agosto de 2014 essa disposição é proibida pela lei 12305/10 – Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Essa prática sobrecarregava os aterros, diminuía sua vida útil e era uma disposição muito onerosa, desperdiçando um resíduo que possui diversas formas energéticas de ser aproveitado: agricultura, incineração como forma de se produzir algum tipo de energia, matéria-prima para fabricação de tijolos, biomassa para queima, entre outros.

Devido ao seu grande potencial em disponibilização de matéria orgânica e nutriente, uma alternativa muito utilizada para o seu aproveitamento é o uso como fertilizante. Segundo Andreolli *et al.* (2006), o lodo de esgoto quando apresenta características que permitam o seu uso agrícola é denominado de biossólido. Uma boa alternativa de cultura a ser utilizada é o capim elefante - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. Segundo Lima *et al.* (2010), ele é adaptado às condições de clima e solo em quase todo o Brasil, sendo uma boa alternativa de forrageira perene, de alto potencial de formação de matéria seca e valor nutritivo. Assim ele pode ser utilizado tanto para alimentação animal quanto para a produção de energia a partir da queima de sua biomassa.

1.1. OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo geral verificar a viabilidade da disposição do biossólido produzido pela ETE de uma indústria têxtil do pólo industrial de João Pessoa/PB no solo, como potencial fonte de nutrientes e água para o plantio de capim elefante, com os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a produção e o ganho energético da cultura do capim elefante com o uso do biossólido como fertilizante e também com o uso de fertilizantes químicos;
- Verificar o potencial de contaminação do solo com a aplicação do biossólido;
- Avaliar os potenciais ganhos físico-químicos no solo com a aplicação do biossólido;
- Quantificar as emissões atmosféricas evitadas com o uso do biossólido em substituição aos fertilizantes químicos na produção de capim elefante - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone - utilizando a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida para análise e quantificação das emissões geradas.

1.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1. Indústria têxtil e a água

A indústria têxtil representa um extraordinário valor econômico-social, absorvendo expressiva quantidade de mão de obra e gerando divisas. Situam-se, na economia brasileira, dentre 24 setores de atividades industriais, no quinto lugar em empregos diretos, e no sexto em faturamento (CONCHON, 1999).

Apesar de ser um dos pilares do desenvolvimento industrial brasileiro, esse segmento se caracteriza por consumir muita água no processamento da matéria-prima até a formação do produto final. No que se refere ao consumo de água da indústria em sua totalidade, a área têxtil consome aproximadamente 15%. O seu potencial contaminante é considerado médio, sendo a tinturaria e o acabamento do produto as etapas do processo produtivo mais contaminantes se comparadas com a fiação e a tecelagem (TOLEDO, 2004). O consumo de água da indústria têxtil depende do tipo de equipamento, da fibra processada e do processo utilizado.

Devido ao grande consumo e as conseqüências geradas ao meio ambiente, vem se criando a necessidade de mudanças na questão do uso da água, impulsionadas por uma legislação ambiental rígida e cobranças da sociedade cível pelos seus direitos no

quesito água (FREITAS, 2002). Os despejos industriais líquidos correspondem a maior parte dos despejos do setor têxtil e em resumo originam-se nas etapas de: tinturarias de fios e tecidos, estamparia, lavanderia, engomadeiras e toda a parte restante do beneficiamento onde se utiliza água. Os despejos domésticos, com 9,37% de representação, correspondem às águas usadas na cozinha e sanitários da indústria. As perdas por evaporação, com 3,13%, são decorrentes dos processos de utilidades, como os oriundos das caldeiras e retornos de condensado (FREITAS, 2002). A Tabela 1 demonstra o consumo de água em processos têxteis para dois diferentes tipos de fibra.

Tabela 1.1. Média de consumo de água de processos têxteis para dois diferentes tipos de fibra.

Tipo de Fibra	Processo	Varição média do consumo (L/kg)
Algodão	Desengomagem	20 - 92
	Purga em contínuo	3 - 94
	Purga em Jigger	1 - 48
	Alvejamento contínuo (hipoclorito)	4 - 13
	Alvejamento (em banho hipoclorito)	21 - 173
	Alvejamento contínuo (peróxido)	13 - 64
	Alvejamento autoclave (peróxido)	8 - 30
	Alvejamento contínuo (clorito)	10 - 13
Algodão e fibras químicas	Tingimento contínuo	9 - 63
	Tingimento em jigger	4 - 298
	Tingimento em barca a molinete	28 - 541
	Tingimento em autoclave para urdume	31 - 166

Fonte: Adaptado de Little (1975).

Segundo Hassemer e Sens (2002), o processamento têxtil é gerador de grande quantidade de despejos altamente poluidores, devido à alta carga orgânica, cor acentuada em decorrência do uso dos corantes e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Os processos e despejos gerados pelo setor variam à medida que a pesquisa e o desenvolvimento produzem novos reagentes, novos processos e novas técnicas, e também de acordo com a demanda do consumo por outros tipos de tecidos e

cores. Numerosas operações são necessárias a fim de dar ao tecido o máximo de propriedades, gerando assim, em cada etapa, diferentes despejos, principalmente os despejos hídricos.

1.2.2. Caracterização e tratamento de efluentes na indústria têxtil

De acordo com Twardokuz (2004), a água é utilizada no processo têxtil como transporte para os químicos que participam do processamento, funcionando também como fluido para remoção de produtos indesejáveis. Grande parte da carga poluente dos efluentes líquidos advém de impurezas contidas nas matérias-primas, principalmente nos processos de tecelagem e acabamento úmido (FREITAS, 2002).

Para o controle e monitoramento da poluição causada pelos despejos industriais, o procedimento adotado é o investimento em tecnologias de tratamento dos efluentes líquidos gerados, as quais representam despesas de investimentos e custos de operação elevados (15 a 20% do investimento inicial), que aumentam à medida que as instalações vão se deteriorando (MARTINS, 1997). Esses resíduos produzidos dentro da atividade industrial devem ser tratados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE's), a fim de remover os poluentes oriundos desses efluentes com intuito de diminuir e minimizar os efeitos poluentes sobre o meio ambiente e proteger a saúde pública (LAMBOLEZ *et al.*, 1994; FERNÁNDEZ *et al.*, 1995).

Segundo Correia *et al.* (1994), a diversidade de matérias-primas e esquemas de produção empregados pelo segmento têxtil atribui problemas característicos ao efluente produzido e dificulta a escolha das tecnologias de controle de poluição a serem empregadas. De acordo com Martins (1997), a caracterização do efluente têxtil é de difícil descrição, devido à descontinuidade do processo e a diversidade de produtos utilizados. Mesmo com essa dificuldade, alguns autores conseguiram uma média de caracterização para alguns parâmetros em efluentes têxteis. Segundo Soares (1998), a composição média de alguns parâmetros em efluentes têxteis varia: sólidos totais (1000 – 1600 mg/L); Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (200 – 600 mg/L); alcalinidade total (300 – 900 mg/L); sólidos em suspensão (30 a 50 mg/L). O autor salienta que esses valores ainda vão depender da composição do efluente e do tipo de fibra e processo utilizados. Na Tabela 1.2 é caracterizado o efluente gerado do processamento de fibras de algodão.

Tabela 1.2. Caracterização dos despejos em processos têxteis para a fibra de algodão.

Processo	Composição	DBO (mg/L)	pH	Consumo de água (L/kg processado)
Engomagem	Amidos naturais, Acetato de Ponivinila (PVA) e carboximetilcelulose (CMC)	620 a 2500	7,0 a 9,0	0,5 a 7,8
Desengomagem	Glicose da hidrólise do amido, PVA solúvel e CMC solúvel	200 a 5200	6,0 a 8,0	2,5 a 20,8
Cozimento	Ceras, pectinas, álcoois, gomas, óleos e graxas, detergente e NaOH	100 a 2900	10,0 a 13,0	2,5 a 42,6
Merceirização	NaOH	50 a 800	5,5 a 14,0	16,7 a 309,0
Alvejamento	Agentes oxidantes: hipoclorito de sódio, H ₂ O ₂	100 a 1700	8,5 a 12,0	2,5 a 124,5
Tingimento e Estamparia	Corantes e auxiliares de tingimento	60 a 600	6,0 a 12,0	41,8 a 250,6
Acabamento	Amidos, resinas, surfactantes, etc.	20 a 500	6,0 a 8,0	12,5

Fonte: Soares (1998).

Freitas (2002) também caracterizou o efluente oriundo de uma grande indústria têxtil do estado de Santa Catarina, visando aumentar a eficiência do processo e também fazer o reuso dessa água. Foram diversos parâmetros caracterizados, dentre eles: DQO (Demanda Química de Oxigênio), condutividade, sólidos totais e em suas conclusões o autor destaca que os despejos líquidos gerados em diversas etapas do processo têxtil apresentam teores de contaminantes diversos, característicos de cada processo de preparação e tingimento, dificultando o tratamento e reuso desse despejo.

A caracterização do efluente têxtil destinado a um tratamento físico-químico e biológico foi realizado por Storti (2001), conforme Tabela 1.3.

Tabela 1.3. Valor médio de caracterização de parâmetros de efluente têxtil bruto.

Parâmetro	Valor médio
Temperatura	35° C
DBO ₅	300 mg/L
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	1000 mg/L
Sólidos em suspensão	200 mg/L
Sólidos sedimentáveis	0 – 1/3 mg/L
Nitrogênio Kjeldal Total (TKN)	30 – 40 mg/L
Fenóis	5 – 10 mg/L
Nitrogênio amoniacal (NH ₃)	20 – 30 mg/L
Fósforo	5 – 10 mg/L
Tensoativos	30 – 40 mg/L
Cloretos	1000 – 1500 mg/L
Sulfatos	1000 – 150 mg/L
Cor perceptível após diluição	1/40
Óleos e graxas	30 – 40 mg/L
pH	7 – 10

Fonte: Storti (2001).

O despejo poluidor oriundo dos processos de engomagem é advindo de aditivos utilizados nas receitas das gomas utilizadas, surfactantes, enzimas e ácidos. Muitas impurezas oriundas do processo de purga (pesticidas, agentes anti-estáticos, dentre outros) muitas vezes são tóxicos e não biodegradável, podendo causar dificuldade de remoção e problemas na operação em sistemas biológicos (PERES e ABRAHÃO, 1998).

Martins (1997) relata que no processo de tingimento, as principais causas de poluição são as perdas de corantes que não fixaram no tecido e também a perda de sais, ácidos, produtos que irão auxiliar esse processo, que irá depender da taxa de esgotamento do banho e da massa de tecido tingido por volume de banho. Os corantes não fixados acabam saindo após o banho do tecido. Essa poluição no processo de tingimento representa de 30 a 40% do conjunto de poluição orgânica do processo de beneficiamento dos produtos têxteis.

Os efluentes líquidos oriundos da indústria têxtil em sua maioria são tóxicos e geralmente não biodegradáveis e também resistentes ao processo de tratamento físico-químico. Essa não biodegradabilidade se deve ao alto consumo de corantes, surfactantes e aditivos nos processos têxteis que geralmente são compostos orgânicos de estruturas grandes e complexas (LEDAKOWICZ e GONERA, 1999). Hassemer e Sens (2002)

relatam que os efluentes gerados são tratados geralmente por processos físico-químicos e biológicos convencionais.

O efluente líquido gerado nos processos têxteis contém alto teor de corantes, sólidos suspensos e alcalinidade. Para reduzir esses problemas, se utiliza de operações físicas, químicas e biológicas ou até mesmo uma combinação destas, utilizando-se de tratamentos primários, secundários e terciários com o objetivo de remover estas partículas e poluentes gerados, diminuindo assim os sólidos totais, turbidez, cor, tentando oxidar química e biologicamente essas substâncias, eliminando ou reduzindo consideravelmente a toxicidade destas (FREITAS, 2002).

Peres e Abrahão (1998) resumem as opções de tratamento para cada tipo de processo (Tabela 1.4).

Tabela 1.4. Tipos e processos de tratamento de efluentes.

Tratamento	Tipo de processo	Operação unitária
Primário	Físico	Equalização Gradeamento Clarificação/Sedimentação Flotação
	Químico	Neutralização Coagulação/Precipitação
Secundário	Biológico	Lodos ativados Lagoas de estabilização Filtros biológicos
Terciário	Químico	Coagulação/Precipitação Ozonização Cloração
	Físico	Clarificação (carvão ativado) Ultrafiltração
Avançado	Físico	Osmose reversa Evaporação

Fonte: Peres e Abrahão (1998).

Kunz e Zamora (2002) relatam que na indústria têxtil, os processos de tratamento dos efluentes produzidos estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de sedimentação-coagulação, seguidos de tratamento biológico, na

maioria das vezes consistindo no sistema de lodos ativados e suas variantes. O sistema apresenta uma eficiência satisfatória, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes.

Segundo Carreira (2006), os processos secundários biológicos são amplamente utilizados para o tratamento de efluentes têxteis. Eles possuem alto grau de depuração devido à degradação biológica da matéria orgânica e remoção da cor dos efluentes. Porém, em alguns casos, principalmente devido a corantes não biodegradáveis que não conseguem ser removidos por esses tratamentos, são utilizados os processos terciários de tratamento para polimento final do efluente têxtil, principalmente para melhorar o parâmetro cor.

Devido a algumas limitações dos tratamentos biológicos secundários, como grande área requerida e elevada geração de lodo, muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos com a utilização de membranas, enzimas e métodos físicos ou físico-químicos como ozonização, flotação, eletrofloculação, coagulação, dentre outros (FREITAS, 2002).

1.2.2.1. Lodos ativados

O sistema de lodos ativados, baseado em tecnologias biológicas de remoção de compostos orgânicos, é muito utilizado para tratamento de efluentes na indústria têxtil. Segundo Von Sperling (1997), esse sistema é utilizado em escala mundial para tratamento de despejos domésticos e industriais, em situações em que é necessária uma eficiência de depuração alta e baixos requisitos de área. Ele é utilizado para efluentes mais complexos, pois tem um alto nível de eficiência, embora o processo anaeróbico também apresente bons resultados (JENKINS *et al.*, 2003).

Esse sistema é caracterizado como um processo fermentativo contínuo, que se processa na presença de oxigênio, baseado no reciclo da biomassa, que nada mais é que um inóculo permanente e aclimatado (VAZOLLÉR *et al.*, 1991). Cordi *et al.* (2008) relatam que o sistema opera com pouco substrato e consegue remover a toxicidade e a carga orgânica com tempos de detenção hidráulica reduzidos. Nesse processo, o efluente que entra nos reatores aeróbicos (tanques de aeração) e o lodo ativado são misturados e agitados, formando assim os flocos de lodo que serão enviados a um decantador secundário, onde o lodo será separado do efluente tratado por sedimentação (FERREIRA, 2008).

O processo de lodos ativados se baseia em uma gama de microrganismos associados (bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários) que vão promover a oxidação dos compostos orgânicos e inorgânicos afluentes no processo (BENTO *et al.*, 2005; DAVIES, 2005). Cada espécie tem sua importância para o sistema, sendo o dinamismo estabelecido entre elas de fundamental importância para o sucesso do sistema (AMMAN *et al.*, 1997). Ferreira (2008) relata que as bactérias são os microrganismos mais importantes, devido à degradação da matéria orgânica e para a formação dos flocos necessários para a sedimentação, enquanto que os fungos e as algas filamentosas são elementos indesejáveis, já que dificultam a formação dos flocos. A estrutura dessa comunidade de microrganismos se relaciona intimamente com os aspectos operacionais e com a quantidade e qualidade do afluente que entra no processo, tornando a avaliação microbiológica do lodo uma boa ferramenta para se obter informações a cerca da eficiência da estação (POOLE, 1984; VAZOLLER, 1989). Mudanças das características físico-químicas da composição do afluente do reator, ou mesmo na mudança de aspectos operacionais, podem impactar diretamente os processos de biodegradação, podendo reduzir a qualidade do efluente tratado (MADONI *et al.*, 1996; FORNEY *et al.*, 2001; DALZELL *et al.*, 2002).

O sistema de lodos ativados possui mais de uma variante, sendo bastante empregada a sistemática baseada na aeração prolongada. De acordo com Von Sperling (2005), essa variante do sistema de lodos ativados possui uma idade de lodo maior, entre 18 e 30 dias, ocasionando um volume de reatores biológicos maiores, portanto menores quantidades de matéria orgânica por unidade de volume. Com isso, as bactérias passam a ter uma menor quantidade de componentes orgânicos disponíveis para degradação e passam a utilizar da própria matéria orgânica constituinte de suas células nos seus processos metabólicos. Essa matéria orgânica é convertida em gás carbônico e água por processos respiratórios, correspondendo assim a uma estabilização da biomassa dentro do próprio reator biológico, não necessitando assim de etapas adicionais para a estabilização do lodo como nos sistemas convencionais. Assim, o sistema de aeração prolongada dispensa a etapa de digestão para o tratamento do lodo excedente (VON SPERLING, 2005).

Com a estabilização do lodo nos próprios reatores, evita-se qualquer sistema adicional que venha a produzir algum tipo de lodo não estabilizado. Assim, evita-se a utilização de decantadores primários, obtendo assim uma grande simplificação do sistema. Uma das consequências dessa simplificação é o maior gasto com energia para a

aeração, já que o lodo será todo estabilizado por processos aeróbicos nos reatores. No entanto, essa pouca disponibilidade de matéria orgânica e sua assimilação quase que total, torna essa variante uma das mais eficientes em remoção de DBO (VON SPERLING, 2005). Na figura 1.1, segue o fluxograma do sistema de lodos ativados de aeração prolongada.



Figura 1.1 Sistema simplificado de uma ETE baseada no sistema de lodos ativados de aeração prolongada.

Fonte: Von Sperling (1996).

1.2.3. Geração de lodo em ETE's

As ETE's têm como objetivo tratar as águas residuárias para que estas atendam as legislações vigentes caso sejam desaguadas, após tratadas, em algum corpo hídrico ou até mesmo para que façam algum tipo de reuso dessa água. Elas operam com diferentes tecnologias dependendo das características dos efluentes, do grau de investimento, do grau de eficiência do tratamento, entre outros. No entanto, elas acabam produzindo resíduos sólidos. O mais significativo é um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza orgânica, chamado de lodo de esgoto (ANDRADE, 1999).

De acordo com levantamentos realizados em diversos países, a produção de lodo em uma Estação de Tratamento de Efluentes varia de 1 a 2% do total do volume de efluente tratado e seu tratamento e disposição final onera de 30 a 50% dos custos operacionais da estação (SANEPAR, 1999).

A indústria têxtil é caracterizada por ser uma das maiores consumidoras de água dentre os segmentos industriais existentes, além de também ser uma das maiores produtoras de lodo oriundo de ETE's (ASIA *et al.*, 2006). Segundo Knuth (2001), estudos realizados em várias ETE's têxteis do estado de Santa Catarina indicam uma produção de 5,0 kg lodo/m³ de efluente tratado, representando uma produção aproximada de 30 mil toneladas de lodo mensais somente em Santa Catarina.

Segundo Pedroza *et al.* (2010), projeta-se que a produção de lodo no Brasil está na faixa de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Considerando que apenas 30% do esgoto doméstico é coletado e tratado, essa geração superaria os 400 mil toneladas de lodo por ano, supostamente considerando todo o esgoto tratado no país (SOARES, 2004). Há de se considerar ainda o lodo produzido em ETE's de efluentes industriais, o que aumentaria mais ainda esse número. Andreoli (2002) relata que o surgimento de novas redes de coletas e ETE's para suprir essa deficiência tem um potencial de se ampliar a produção desse lodo de três a quatro vezes.

A produção de lodo varia de acordo com a tecnologia de tratamento empregada para a água residuária a ser tratada; em princípio todos os tratamentos biológicos geram lodo (PEDROZA *et al.*, 2010). Os mesmos autores relatam que as ETE's que recebem o esgoto bruto em decantadores primários geram o chamado lodo primário, lodo caracterizado por ainda não estar estabilizado. Andreoli *et al.* (1998) relata que os decantadores primários produzem de 2500 a 3500 litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, contendo de 3 a 7% de sólidos e 60 a 80% de matéria orgânica. De acordo com Von Sperling (2002) esse material pode exalar fortes odores se mantido por tempo elevado no decantador, principalmente quando exposto a altas temperaturas.

Nas etapas biológicas secundárias de tratamento, tem-se a geração do chamado lodo biológico ou secundário, caracterizado por ser um lodo estabilizado, não havendo necessidade de uma pós-digestão para sua estabilização, ao contrário dos lodos primários. O lodo gerado nesse processo é formado por flocos constituídos de materiais orgânicos não digeridos, pela fração orgânica, células mortas e substancialmente da microbiota presente no sistema (FERREIRA, 2008). O lodo secundário é a massa biológica que se desenvolveu a custa dos componentes oriundos do afluente de entrada

nos reatores biológicos, e seu excedente deve ser retirado do sistema para que não saia junto com efluente final (PEDROZA *et al.*, 2010). Ainda segundo Pedroza *et al.* (2010), o lodo primário e secundário podem ser misturados formando o chamado lodo misto.

É importante salientar que em todos os tipos de tratamento biológico de efluentes é necessário o descarte do excedente de lodo produzido. Porém, a continuidade desse descarte vai depender do tipo de tratamento utilizado (METCALF, 2002). Os processos aeróbios produzem de 15 a 20 mil litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, contendo de 0,5 a 2,0% de sólidos e 50 a 60% de matéria orgânica (OUTWATER, 1994). Andreoli *et al.* (1998) relatam que os processos anaeróbios produzem menos lodo.

De acordo com a Tabela 1.5, das tecnologias de tratamento biológico mais utilizadas, nesse caso para tratamento de esgoto, as lagoas de estabilização são as que geram menor quantidade de lodo enquanto que os lodos ativados convencionais são as que mais produzem (ANDREOLI *et al.*, 2001).

Tabela 1.5. Geração de lodo por tipo de sistema de tratamento de efluente.

Tipo de sistema	Volume de lodo produzido (L/hab.dia)
Lagoas facultativas	0,05 – 0,15
Reator UASB	0,2 – 0,6
Lodos ativados convencionais	3,1 – 8,2
Aeração prolongada	3,3 – 5,6
Lagoa anaeróbia	0,1 – 0,3
Filtro biológico de alta carga	1,4 – 5,2
Lagoa aerada facultativa	0,08 – 0,22

Fonte: Metcalf e Eddy (2002).

1.2.3.1. Caracterização do lodo gerado na indústria têxtil

Segundo Bettiol e Fernandes (2004), a composição química do lodo depende do local onde foi gerado (ETE's de diferentes indústrias ou de esgoto doméstico), do sistema de tratamento empregado e de fatores sazonais.

O lodo biológico gerado por ETE's de indústria têxtil tem variadas composições, possuindo teores altos de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e micronutrientes, com a possibilidade de conter metais pesados e substâncias tóxicas, uma vez que são utilizados vários produtos químicos nos processos têxteis (BORGES, 2008). Corantes com metais pesados e agentes patogênicos são outros componentes constantes em sua composição (BALAN e MONTEIRO, 2001; MARTINELLI *et al.*, 2002).

Colanzi e Pietrobon (2002) relatam que nos lodos têxteis ocorre alta presença de alumínio, ferro, sódio e silício. Os mesmos autores realizaram uma caracterização térmica desse resíduo, obtendo resultados satisfatórios para o calor específico e condutividade térmica do mesmo.

A tabela 1.6 apresenta a composição físico-química de lodo gerado por ETE de indústria têxtil.

Tabela 1.6. Composição físico-química de lodo gerado por indústria têxtil.

Parâmetros	Resultados
DQO (mg/L)	39326
Densidade (g/mL)	1,090
Teor de umidade (%)	94,5
Teor de Sólidos Totais (mg/L)	42899
Sólidos Fixos (%)	49,9
pH	4,46
Sulfetos (mg/L)	62,6
SiO ₂ (%)	3,5
Al ₂ O ₃ (%)	11,50
SO _x (%)	3,98
Fe ₂ O ₃ (%)	0,15
P ₂ O ₅ (%)	6,05
Cl (%)	0,34
TiO ₂ (%)	0,34
MgO (%)	0,22
K ₂ O (%)	0,006
CaO (%)	0,22
ZnO (%)	0,025
CuO (%)	0,052

Fonte: adaptado de Andreoli *et al.* (2001).

1.2.3.2. Tratamento do lodo gerado

O tratamento do lodo gerado em ETE's vem ganhando cada vez mais importância no Brasil, pelo aumento do número de novas estações criadas e pelas demandas oriundas das legislações em vigor (PEDROZA *et al.*, 2010). O surgimento de novas tecnologias vem de encontro com a demanda de disposições mais seguras e que diminuam o impacto ambiental gerado, garantindo assim maior bem-estar e segurança às populações envolvidas (VAN HAANDEL, 2006).

Mesmo com o desenvolvimento de novas tecnologias que venham a diminuir a produção de lodo em ETE's, a tendência é um alto crescimento de sua produção com o

surgimento de novas estações. Essa questão da geração e produção de lodo e sua disposição talvez seja o problema mais complexo que a engenharia sanitária tenha para resolver (ANDREOLI *et al.*, 2006)

O tratamento do lodo é realizado a partir de processos físico-químicos e biológicos com o objetivo de gerar um lodo mais estável e com menor volume, com vistas a reduzir os custos dos processos de tratamento e disposição, além de facilitar o seu manuseio (PEDROZA *et al.*, 2010). Normalmente, o tratamento é feito a partir de uma ou mais das seguintes etapas (CASSINI, 2003):

1. Adensamento: redução da umidade e volume;
2. Estabilização: redução da matéria orgânica e consequente redução dos sólidos voláteis;
3. Condicionamento: preparação para desidratação;
4. Desidratação: redução adicional da umidade e volume;
5. Disposição final: destinação final do subproduto após desidratação.

O adensamento tem como principal objetivo concentrar os sólidos no lodo, diminuindo os requerimentos volumétricos das unidades subsequentes e também no uso de bombas (PEDROZA *et al.*, 2010). Outros benefícios que são considerados são a diminuição do consumo de químicos no desaguamento e de energia no aquecimento de digestores (MIKI *et al.*, 2006). O processo de adensamento pode concentrar os sólidos em até 12% e os seus principais tipos são: por processos físicos de gravidade, flotação com ar difuso, centrífuga, adensador de esteira e tambor rotativo (BITTON, 2001; METCALF, 2002).

Os processos de estabilização se baseiam na mineralização biológica da fração biodegradável da matéria orgânica presente no lodo, diminuindo a concentração de patógenos e os riscos de exalação de odores desagradáveis (METCALF, 2002). Segundo Ludovice (2001) a estabilização é promovida pelos seguintes processos: digestão aeróbia, compostagem, digestão anaeróbica e estabilização química e térmica.

O condicionamento é realizado através de meios físicos ou químicos utilizados para o melhoramento das condições de separação das fases líquido-sólido do lodo (MIKI *et al.*, 2006; PEDROZA *et al.*, 2010). O processo químico é realizado com a adição de polímeros orgânicos ou sais de ferro e alumínio com o intuito de realizar a desestabilização das partículas constituintes do lodo para formação dos flocos com maiores dimensões (BITTON, 2001; MIKI *et al.*, 2006). O condicionamento físico,

realizado principalmente por tratamentos de natureza térmica, pode conseguir um lodo com menores quantidades de sólidos (VAN HAANDEL, 2006).

Segundo Fernandes *et al.* (1996) a etapa do desaguamento/desidratação pode ser dividida em dois métodos: a secagem natural e processos mecânicos. Os métodos de secagem natural mais comuns são: lagoa de lodo e leito de secagem, já os mecânicos: filtro prensa de esteira, centrífugas, filtro prensa de placas e prensa parafuso (VAN HAANDEL, 2006). Segundo Sayeg *et al.* (2005) o tipo de biossólido, a área disponível, a destinação final e as condições econômicas são os fatores a serem levados em conta na escolha do processo de desidratação. Na Tabela 1.7 são apresentados os teores de sólidos conseguidos pelo tipo de estabilização e desaguamento utilizado para o tratamento do lodo.

Tabela 1.7. Teor de sólidos resultantes a partir da escolha do tipo de estabilização e desaguamento escolhidos para o tratamento do lodo.

Tipo de estabilização	Desaguamento	Teor de sólidos no resíduo (%)
Digestão anaeróbia	Filtro prensa de placas	30 a 40
	Filtro prensa de esteiras	16 a 25
	Centrífugas	25 a 30
	Leitos de secagem	20 a 30
Digestão aeróbia	Filtro prensa de placas	25 a 35
	Filtro prensa de esteiras	13 a 18
	Centrífugas	20 a 25
	Leitos de secagem	25 a 30

Fonte: Alem Sobrinho (2001).

1.2.4. Energia, fertilizantes químicos e biossólido

Segundo Varandas *et al.* (2005), os problemas que envolvem a produção de energia têm proporcionado o desenvolvimento de sistemas sustentáveis em nossa sociedade, devido a implicações do clima e também do ambiente em que estamos inseridos. Os mesmos autores relatam que além do surgimento de novas políticas de eficiência energética e do aumento dos incentivos ao uso de energias renováveis, os governos devem investir na busca por novas tecnologias energéticas que sirvam de

alternativa aos combustíveis fósseis e que proporcionem soluções aos problemas energéticos enfrentados pela sociedade.

Grande parte da energia consumida mundialmente é baseada no tripé petróleo, gás natural e carvão, sendo fontes limitadas e esgotáveis em horizonte próximo, tornando a busca por fontes renováveis de energia cada vez mais necessárias (SHUCHRDT *et al.*, 1998). Zanini *et al.* (2003) alcançaram como resultado no estudo do consumo de energia para plantio do milho que aproximadamente 84% do consumo é oriundo do consumo de combustíveis, lubrificantes, defensivos e fertilizantes.

Segundo Gomes *et al.* (2014), o Brasil é o sexto maior produtor e o quarto maior consumidor de fertilizantes no mundo. Segundo dados da ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos), em 2007 o Brasil produziu somente 36% dos fertilizantes que consumiu, sendo o restante importado (ANDA, 2008). Seixas e Marchetti (1982) estimaram que somente os fertilizantes representavam 58% da energia utilizada na agricultura brasileira. Além disso, Boyeldieu (1975) afirma que não se devem considerar somente as questões energéticas, mas sim incluir também as questões ambientais, advertindo para a valorização dos resíduos, principalmente os orgânicos, para melhor aproveitamento dos fertilizantes e corretivos.

Os principais fertilizantes utilizados no Brasil são a base de nitrogênio e fósforo. Segundo Ribeiro (2009), a indústria de fertilizantes nitrogenados utiliza-se de gás natural, onde 65% do total são utilizados nos processos de obtenção da amônia, matéria-prima responsável pela produção de todos os fertilizantes nitrogenados, o restante (35%) como combustível para gerar vapor e eletricidade para o restante do processo; petróleo como fonte de hidrogênio e enxofre como fonte para obtenção de ácido sulfúrico. Já os fertilizantes potássicos, utilizam-se em sua síntese de combustíveis fósseis, energia elétrica e térmica, através principalmente da queima da lenha, no processo de lavra, beneficiamento da rocha fosfática e na produção de ácido sulfúrico (MONTEIRO, 2008). O processo produtivo dos fertilizantes é muito impactante por demandar um grande aporte energético e por explorar recursos naturais não renováveis (GOMES *et al.*, 2014). Como a maior parte dos fertilizantes utilizados no país são importados, o consumo energético aumenta ainda mais pelo transporte até o Brasil.

O uso como fertilizante para plantio agrícola é considerada hoje uma das mais promissoras alternativas para utilização do lodo oriundo de ETE's, devido a sua sustentabilidade (ROCHA, 1998). Algumas características como a presença de componentes orgânicos e minerais em sua composição, confere ao lodo potencial para

ser utilizado como fertilizante, sendo denominado biossólido (PEDROZA *et al.*, 2011). A partir da promulgação da lei 12305/10 (BRASIL, 2010), que disciplina a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a disposição do lodo em aterros, forma mais usual de disposição final desse resíduo, foi proibida.

Diversos autores pesquisaram os benefícios da adubação com o lodo em substituição a adubação convencional ou até mesmo o consórcio entre as duas. Silva *et al.* (2008), concluíram que a adubação realizada com o lodo em consórcio com adubação convencional aumentou a produção de madeira de eucalipto e foi uma fonte de nutrientes, podendo substituir a adubação convencional nitrogenada e fosfatada. Ceolato (2007), em seu experimento encontrou um aumento de matéria orgânica, fósforo lábil e zinco em um argissolo sob aplicação de lodo. Melo e Marques (2000), Oliveira (2000), observaram aumento de matéria orgânica e carbono orgânico a medida que se cresceram as dosagens de lodo ao solo.

A busca por opções de disposição que sejam ambientalmente corretas e economicamente viáveis se tornam necessárias. Este resíduo possui bom percentual de matéria orgânica e nutrientes essenciais às plantas, podendo substituir parcialmente fertilizantes químicos, desempenhando papel de importância na produção agrícola e manutenção da fertilidade do solo (NASCIMENTO *et al.*, 2004).

1.2.5. Aproveitamento energético do biossólido para uso agrícola

O aumento da poluição ambiental, o alto consumo energético utilizado na cadeia de fertilizantes e os custos elevados de produção fazem das alternativas para o uso de resíduos orgânicos em áreas agrícolas uma opção viável do ponto de vista econômico e também sócio-ambiental. Isto gera um aumento na demanda por informações para analisar a viabilidade técnica e econômica para a disposição de alguns resíduos em áreas agrícolas (SANTOS *et al.*, 2011).

O lodo de esgoto quando tratado e processado é denominado biossólido, pois acaba por adquirir características que viabilizam o uso agrícola do mesmo. Este se caracteriza por ser um subproduto do funcionamento de ETE's, possui grandes quantidades de nutrientes essenciais às plantas, é rico em matéria orgânica e funciona como um bom condicionador do solo, melhorando sua estrutura. Pesquisas indicam que os biossólidos são ricos em nitrogênio, fósforo, micronutrientes, matéria orgânica e apresentam teores de umidade variáveis (BARBOSA, 2006).

O uso agrícola do biossólido é a disposição no solo, que pode ser considerada a mais correta em termos técnicos, econômicos e ambientais, se aplicada corretamente, sendo uma alternativa de menor custo para reciclagem de nutrientes e matéria orgânica (MATTHEWS, 1998; ANDREOLI, 1999; TSUTIYA, 1999a). Do total de lodo produzido e utilizado como fertilizante para o solo em diversos países, a Alemanha dispõe 27% no solo; Bélgica, 29%; Itália, 33%; Reino Unido, 44%; Espanha, 50%; Dinamarca, 54%; França, 58%, o uso como fertilizante nos Estados Unidos data de 1927 (NEIVA, 1999).

Ferreira e Andreoli (1999) relatam que a reciclagem agrícola do biossólido é de baixo custo e apresenta impacto ambiental positivo porque promove o retorno dos nutrientes ao solo, fechando o ciclo dos elementos, quando realizado em condições seguras. Segundo os mesmos autores, a análise dessa alternativa de disposição final deve passar pelos seguintes estudos: sazonalidade das demandas, os custos envolvidos no seu beneficiamento e transporte, plano gerencial para a atividade, valor agrícola dos biossólidos como insumo e o valor de seu beneficiamento e transporte.

O aproveitamento de forma racional desse resíduo exige estudos mais aprofundados, que contemplem aspectos científicos e parâmetros em relação ao quanto, quando e quantas aplicações a serem feitas nas áreas agrícolas (ANDREOLI, 1999). Fernandes *et al.* (1996) indicam que existem riscos associados à utilização do biossólido como fonte de nutrientes e matéria orgânica, principalmente no que diz respeito a metais pesados e presença de patógenos. Os principais riscos associados à prática da aplicação do biossólido em solos agrícolas estão associados aos aspectos sanitários (alguns microrganismos tendem a precipitar, se concentrando no lodo), aos micro poluentes orgânicos, ao nitrogênio e também aos metais pesados (que também tendem a precipitar) (FERREIRA, 1999).

Segundo Ferreira e Andreoli (1999), o uso agrícola deve necessariamente passar por regras que definam as exigências de qualidade do material a ser reciclado, os métodos de estabilização do resíduo, sua desinfecção e também exigências que impeçam o seu uso em determinadas situações. Segundo os mesmos autores, a regulamentação assegura a proteção à saúde humana e animal, e a proteção do meio ambiente, sendo um pré-requisito básico para utilização desta prática ainda com dificuldades de definições, garantindo um uso seguro sem inviabilizar o uso por excesso de exigências.

A prática de disposição agrícola dos bissólidos é uma alternativa muito válida para o Brasil, onde é necessária a reposição de componentes orgânicos no solo devido a processos de intemperismo provocados pelas nossas condições climáticas (FERREIRA e ANDREOLI, 1999).

1.2.5.1. Normativas para o uso de lodos oriundos de ETE's em solos agrícolas

Para minimizar os riscos inerentes ao uso agrícola do biossólido é necessária a criação e aprovação de leis que disciplinem o uso agrícola do lodo, como já ocorre em outras localidades, como na Europa e nos Estados Unidos (SILVA *et al.*, 2000). Segundo BARBOSA (2006), existe normas regulamentadoras na maioria dos países para destinação final do lodo, garantindo uma disposição correta e segura. O mesmo autor relata que a Europa, por exemplo, procura unificar para conseguir uma padrão comum de disposição, respeitando as variedades e particularidades climáticas e geográficas de cada país.

A disposição do biossólido em áreas agrícolas deve estar regulamentada a regras que definam cuidados para desinfecção, estabilização que assegurem a qualidade do resíduo a ser utilizado (ANDREOLI, 1999). Segundo Tsutiya (1999) as regulamentações devem considerar os seguintes aspectos: condição inicial do solo, características inerentes a área a ser utilizada e a cultura agrícola a ser explorada.

O estado de São Paulo foi o primeiro a ter alguma regulamentação quanto à aplicação do biossólido no solo. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estabeleceu em 1999 normas provisórias estaduais, a NT PR.230 (CESTESB, 1999) que regulamenta o uso agrícola de lodos obtidos por tratamentos biológicos, incluindo o lodo de esgoto. Os limites adotados na norma foram os adotados pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) em 1993 nos EUA, porém devido às características edafoclimáticas diferentes, esses parâmetros possam apresentar algum tipo de erro (BARBOSA, 2006).

No Brasil, devido as suas mudanças edafoclimáticas, alguns Estados disciplinaram de alguma forma o aproveitamento do lodo: no Distrito Federal, a Companhia de Saneamento Ambiental do distrito Federal (CAESB) distribuía lodo de esgoto mediante ao fato do usuário respeitar as normas da USEPA. No Paraná, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) lançou em 1999 um manual para orientar os usuários sobre os procedimentos para gerenciamento do lodo (BARBOSA, 2006).

Apesar da variação das diretrizes e regras entre os países e até mesmo entre estados, no caso do Brasil, a experiência no mundo demonstra que a aplicação de lodo seguindo essas mesmas diretrizes e regras não ocasiona efeitos negativos ao ambiente e ao homem (WEBBER, 1998).

Em 2006, a aplicação do lodo oriundo de sistema de tratamento de esgoto sanitário em solo agrícola foi regulamentada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução 375/06 (BRASIL, 2006), que define os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Esta resolução regulamenta como o resíduo deve ser utilizado, estabelecendo as dosagens, limites seguros para contaminantes presentes no resíduo, destacando-se o teor de metais e os microrganismos patogênicos. Primeiramente é necessário realizar a caracterização do lodo, com limite pré-estabelecido de alguns parâmetros para dosagem, contidos no artigo 11 da Resolução. É feito também a caracterização do solo antes mesmo de se começar a dosagem, sendo analisados os parâmetros contidos no artigo 21. Caracterizado o lodo e o solo, a norma, através do artigo 17, estabelece os critérios para a taxa de aplicação no solo:

“A aplicação máxima anual de lodo de esgoto e produtos derivados em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha), segundo a recomendação agronômica oficial do Estado, e o teor de nitrogênio disponível no lodo de esgoto ou produto derivado (N_{disp} em kg/t), calculado de acordo com o Anexo III desta Resolução”. (BRASIL, 2006).

Como todo resíduo sólido, o lodo tem que ser classificado de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). A norma estabelece 3 classificações de resíduos: classe 1 que são os resíduos perigosos e classe 2 que são os não perigosos. Ainda dentro da classe 2 existe 2 classificações: classe IIA que são os não inertes e classe IIB que são os inertes. Em seu artigo 13, a Resolução Conama 375/06 (Brasil, 2006) estabelece que os lodos classificados como classe A poderão ser aplicados para o cultivo de qualquer cultura, enquanto que os classificados na classe B ficam restritos ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada.

1.2.6. Cultura do capim–elefante

O capim-elefante - *Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone - tem sua origem vinculada ao continente Africano, tendo sido descoberto pelo coronel Napier, difundido por toda África e trazido ao Brasil em 1920, vindo de Cuba (RODRIGUES *et al.*, 2005).

Alguns autores o descrevem como uma gramínea perene que atinge de 3 a 5m de altura, dispostos em touceiras de colmos eretos, de crescimento cespitoso, normalmente com parênquimas suculentos (ALCÂNTARA, 1983; DERESZ, 1999).

Segundo Alcântara e Bufarah (1983), Jacques (1994) e Moss (1964) a cultura do capim-elefante é de fácil adaptação e normalmente se desenvolve bem em altitudes abaixo de 1500m, com temperaturas ótimas variando de 18 a 30 °C e dependendo do cultivar, pode suportar temperaturas mais baixas. É exigente em relação aos nutrientes e não tolera pH baixo e presença de alumínio no solo. Possui alta eficiência fotossintética, se adaptando a diferentes tipos de solo, com exceção dos solos inundados e com drenagem deficiente. Possui pouca tolerância a estações secas e por ser uma forrageira estacional, sua maior produção se concentra no período das chuvas.

Segundo Lima *et al.* (2010), as gramíneas possuem grande importância no Brasil, devido ao fato de constituírem a base para alimentação animal dos rebanhos leiteiros e de corte. Os mesmos autores relatam que o capim-elefante tem um papel de destaque nesse cenário, já que é uma forrageira perene, de alta produção de matéria seca e alto valor nutritivo.

O capim-elefante é adaptado às condições climáticas e de solo em quase todo o Brasil, se tornando uma cultura muito interessante a ser implantada para nutrição alimentar animal, pois tem crescimento rápido e produção de proteína bruta alta. Por ser adaptado facilmente a várias regiões do país, tem sido muito utilizado por pequenos produtores rurais (LIMA *et al.*, 2010). Segundo os mesmos autores, essa gramínea é apontada como uma das soluções para o reforço da dieta animal e incremento de produtividade.

Há alguns anos, principalmente devido à crise do setor energético, vem se procurando alternativas energéticas para suprir a demanda e que sejam tecnologias mais limpas. Uma dessas alternativas é a produção de energia através da biomassa vegetal. O setor agrícola é visto como uma das principais alternativas quando se busca uma produção mais sustentável da biomassa com fins energéticos, se destacando como alternativas promissoras a cana-de-açúcar e o capim-elefante, por suas características

quantitativas e qualitativas de biomassa (URQUIAGA *et al.*, 1992; BODDEY, 1995; SAMSON *et al.*, 2005).

O capim-elefante vem apresentando resultados excelentes no quesito produção de biomassa, especialmente as variedades que são menos apropriadas para alimentação de animais (ZANETTI, 2010). Alguns genótipos apresentam valores superiores a 40 Mg/ha.ano de biomassa com consumo mínimo de fertilizantes nitrogenados (QUESADA, 2001; REIS *et al.*, 2001). Samson *et al.* (2005) relata que esse valor corresponde ao dobro da biomassa produzida por eucaliptos, espécie muito utilizada também para fins energéticos. Portanto, essa é mais uma alternativa a ser avaliada para os produtores de capim-elefante.

1.2.7 Avaliação do Ciclo de Vida

Define-se Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como um processo ou produto para a avaliação e determinação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema ao longo do seu ciclo de vida (ABNT, 2001). Boullay (2011) descreve a ACV como uma ferramenta que quantifica e considera os impactos e insumos associados a um processo ou produto ao longo do seu ciclo, avaliando o seu desempenho e suas influências ao longo das fases do ciclo de vida, permitindo alcançar oportunidades de melhoria e desempenho do sistema (BENETTO *et al.*, 2009).

A ACV permite realizar a avaliação dos efeitos ambientais ao longo da trajetória de vida de certo produto ou processo, tornando-se uma ferramenta de gestão ambiental, que considera desde o processo de obtenção da matéria prima até a sua disposição final (MONTEIRO, 2008). Segundo o mesmo autor, a técnica da ACV tem diferentes aplicações: desenvolver produtos e processos com menor impacto ao meio ambiente e também pode ser utilizada como marketing ambiental, divulgando melhorias nos aspectos ambientais de produtos e processos, ou ainda comparando sua qualidade com outros segmentos do ramo.

Em 1997 as normas ISO começaram a estabelecer os princípios e requisitos gerais da ACV, a partir da primeira norma ISO 14040, sendo publicadas posteriormente mais três normas (ISO 14041, 14042 e 14043) e mais dois relatórios técnicos (SOUSA, 2008). Esses documentos passaram por uma revisão geral em 2006, reformulando apenas duas normas. Sendo assim, a ACV estruturada segundo a ISO, normalmente é dividida em quatro fases, conforme pode ser visto na Figura 1.2.

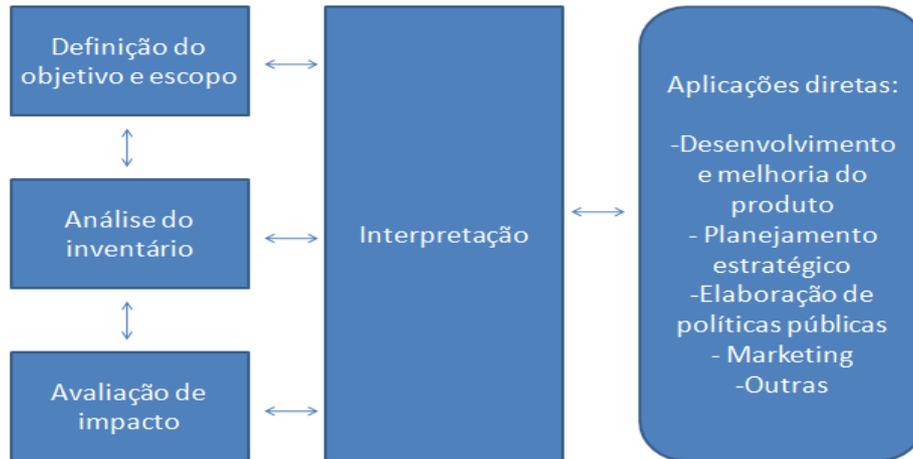


Figura 1.2. Fases do desenvolvimento da avaliação do ciclo de vida de um processo ou produto.

Fonte: Adaptado de ISO 14040 (ISO, 2006).

A definição do objetivo e escopo é a primeira etapa a ser concluída na ACV. O escopo deve ser bem delineado para que o grau de detalhamento, a profundidade e sua extensão estejam em conformidade para atender o objetivo pré-estabelecido (ABNT, 2014). O escopo define todos os meios para que o objetivo seja alcançado (SOUSA, 2008).

Na sequência vem a etapa da análise de inventário. Essa etapa compreende a fase de estudos e efetivação das informações para se alcançar o objetivo almejado. Nessa etapa, são expostas e quantificadas as principais entradas e saídas de cada processo na construção de um produto ou atividade. As entradas e saídas são expostas e quantificadas por qualquer insumo ou energia que entra ou sai do processo (ABNT, 2014a).

Segundo Sousa (2008), a etapa de avaliação de impactos do produto ou serviço é julgado sob a ótica ambiental, correlacionando os resultados da avaliação do ciclo de vida às categorias de impacto pré-estabelecidas em resultados dos indicadores ou um índice ambiental de um sistema ou produto. O resultado dos indicadores é o esqueleto do perfil da avaliação do ciclo de vida, informando assim às questões ambientais relativas associadas à entrada e saída do produto ou serviço (ABNT, 2014b). Existem vários métodos de avaliação dos impactos, sendo um deles, muito utilizado e desenvolvido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) intitulado *Global Warming Potencial* (GWP) (IPCC, 2013). Esse método é baseado na estimativa

de capacidade direta das emissões atmosféricas em contribuir com o aquecimento global, agregando os resultados em uma métrica comum (CO₂ equivalente), sendo esse indicador de alcance global (Pré-consultants, 2014a).

Para a última etapa do processo de avaliação de ciclo de vida é necessário realizar a interpretação dos resultados, confrontando com os objetivos propostos no início do trabalho, possibilitando chegar à conclusão e recomendações finais do trabalho, direcionando-os as partes interessadas (SOUSA, 2008).

Com o objetivo de facilitar e compilar todas as informações adquiridas durante as etapas de avaliação do ciclo de vida, diversos softwares foram desenvolvidos. Todos os programas devem ser testados e conferidos antes do seu uso, variando bastante a qualidade dos mesmos, com a dificuldade em se verificar a qualidade dos dados, sendo o maior problema (PEREIRA, 2004). Um dos programas de ACV mais utilizados é o SimaPro®, que foi desenvolvido pela empresa Pré-consultants, incluindo diversas bases de dados e processos para inventários, estando no mercado desde 1990 (Pré-consultants, 2014b).

CAPÍTULO 2

ARTIGO: Avaliação das características físico-químicas do solo no plantio de capim-elefante - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone - sob a aplicação de biossólido e fertilização química

Resumo: Biossólido é o lodo desidratado oriundo de Estações de Tratamento de Efluentes, que por suas características de alta disponibilização de matéria orgânica e nutrientes possui a possibilidade de uso como fertilizante na agricultura. Sua disposição final normalmente ocorreria em aterros, ficando proibida com a promulgação da Lei 12305/10. Assim, torna-se necessário o seu aproveitamento e o uso na agricultura é uma alternativa. O trabalho teve como objetivo avaliar as os ganhos e perdas físico-químicas no solo com aplicação do biossólido e fertilização química recomendada para a cultura do capim-elefante. Para isto, foi feito um experimento em campo utilizando o delineamento em blocos casualizados com três blocos, onde os tratamentos consistiram em: Sem Adubação, Adubação Convencional, 1 x, 2 x, 4 x e 8 x Recomendação do CONAMA, sob irrigação por gotejamento utilizando gotejadores de 1,5 L/h. Os resultados foram analisados a partir do teste de Tukey, onde foi demonstrado a viabilidade da aplicação do biossólido, com o mesmo proporcionando incrementos até mesmo superiores de alguns elementos fertilizantes como o fósforo, o cálcio e o sódio em relação aos tratamentos com a fertilização química e não causando qualquer tipo de contaminação ao solo, seja ela por metais pesados, microrganismos patogênicos e nitrogênio. Assim, consegue-se fazer uma disposição ambientalmente correta de um resíduo normalmente não aproveitável.

Palavras-chave: Lodo tratado, contaminação, nutrients, planta forrageira.

Abstract: Biosolid is the dehydrated sludge from Effluent Treatment Stations, which due to its characteristics of high availability of organic matter and nutrients has the possibility of use as fertilizer in agriculture. Its final disposition usually occurs in landfills, being forbidden with the enactment of Law 12305/10. Thus, it is necessary to use it and the use in agriculture is an alternative. The objective of this work was to evaluate the physical and chemical losses and losses in the soil with application of biosolids and chemical fertilization recommended for the elephant grass crop. For this, a field experiment was carried out using a randomized block design with three blocks, where treatments consisted of: No Composting, Conventional Fertilization, 1 x, 2 x, 4 x and 8 x CONAMA Recommendation, under drip irrigation using Drippers of 1,5 L / h. The results were analyzed from the Tukey test, where it was demonstrated the viability of the biosolid application, with the same one providing even higher increases of some fertilizer elements such as phosphorus, calcium and sodium in relation to the treatments with the chemical fertilization And not causing any contamination to the soil, be it by heavy metals, pathogenic microorganisms and nitrogen. Thus, an environmentally correct arrangement of a normally non-usable residue is achieved.

Keywords: treated sludge, contamination, nutrients, forage plant.

2.1. INTRODUÇÃO

Biossólido é o lodo desidratado proveniente de estações de tratamento de efluentes, que por suas características de composição, principalmente o alto teor de nutrientes, o capacita a ser altamente aproveitado como fertilizante. Em decorrência dessas características, o biossólido pode apresentar um papel de importância na manutenção da fertilidade do solo e consequente produção agrícola.

Com a promulgação da lei 12.305/10 (BRASIL, 2010), a disposição de qualquer resíduo que possa ser (re)aproveitado em aterros foi proibida. O biossólido tem potencial para ser aproveitado em várias vertentes e seu possível uso na agricultura

como fertilizante é uma delas, sendo um uso de baixo custo operacional (ANDREOLI, 1998).

Não se discute o potencial agronômico do biofóssido, porém é necessário o seu uso ambientalmente correto, de modo a não provocar qualquer dano ao meio ambiente e a saúde pública ou até mesmo prejuízos ao produtor rural (LUDUVICE, 2000). Selivanovskaya *et al.* (2003) relatam que a utilização do biofóssido consorciado com a adição de matéria orgânica seria um ótimo método para melhora da qualidade de solos pobres, favorecendo assim o crescimento das plantas, além de ser um ótimo método para disposição final desse resíduo.

Melo e Marques (2000) relatam que o principal efeito físico do biofóssido no solo, ocasionado pela alta presença de matéria orgânica, é a melhoria do estado de agregação das partículas, influenciando diretamente na diminuição da densidade, aumento da aeração e retenção de água. Em relação aos aspectos químicos, o biofóssido pode proporcionar uma elevação dos teores de nutrientes, carbono orgânico, da capacidade de troca iônica, condutividade e pH (CAVALLARO *et al.*, 1993; OLIVEIRA *et al.*, 2002). No entanto, contaminações também podem ocorrer, devido a possível presença de substâncias como metais pesados, microrganismos patogênicos e até mesmo excesso de nutrientes no biofóssido.

Devido a possíveis contaminações, sua aplicação é regida por normativa, Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Se aplicado com racionalidade e de acordo com o que rege a normativa supracitada, o uso do biofóssido como fertilizante é uma ótima alternativa para melhora da fertilidade do solo e possível cultivo de alguma cultura, podendo agregar valor econômico ao processo.

Uma boa alternativa de cultura é o capim-elefante - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, forrageira esta utilizada para alimentação animal e até mesmo para uso energético é o capim-elefante. Essa forrageira está presente em todas as regiões do Brasil devido ao seu alto vigor, produtividade e facilidade de implantação (MAGALHÃES *et al.*, 2009). Segundo Lima *et al.* (2010), o capim-elefante é adaptado às condições de clima e solo em quase todo o país, sendo uma boa alternativa de forrageira perene, de alto potencial de formação de matéria seca e alto valor nutritivo. Desse modo, o biofóssido se torna uma alternativa muito interessante para a fertilização do solo para produção dessa forrageira, já que possui boa disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes que poderão sanar suas necessidades nutricionais.

Assim, objetiva-se com este trabalho avaliar os ganhos e perdas físico-químicas do solo com a aplicação de biossólido e fertilizantes químicos de acordo com a recomendação de dosagem para a cultura do capim-elefante, verificando se ocorrerá algum tipo de contaminação por metais, microrganismos ou qualquer outra substância constituinte do biossólido no solo.

2.2. METODOLOGIA

2.2.1. Área experimental

O experimento foi conduzido em uma fazenda experimental na cidade de Pedras de Fogo, localizada na região Sudeste da Paraíba (07° 24' 07" S e 35° 06' 59" W). O município está localizado na microrregião do Litoral Sul da Paraíba, com classificação climática de Köppen-Geiger, As - clima tropical (chuvas no Inverno). O período chuvoso normalmente começa em fevereiro e termina em outubro, com precipitação anual média de 1634 mm.

Foram delimitados 18 blocos de 2 x 2 m cada, com delineamento de blocos casualizados com 6 tratamentos. Os blocos foram compostos conforme a Figura 2.1.

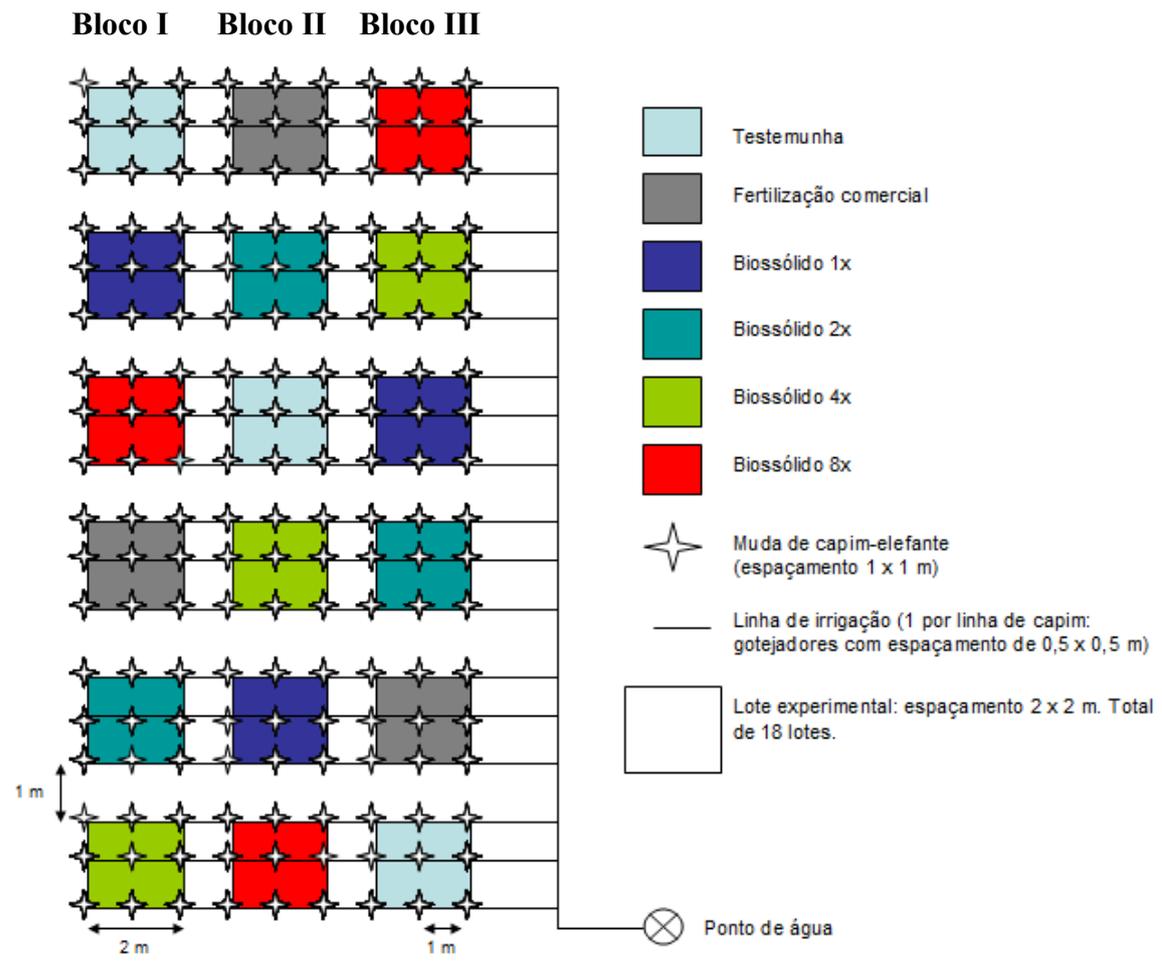


Figura 2.1. Representação esquemática do delineamento experimental.

O experimento foi conduzido em uma área que permanecia intacta, sem nenhum tipo de manejo e sem aplicação anterior de biossólido. O solo é do tipo greissolo.

2.2.2. Fertilização e estabilização do biossólido

2.2.2.1 Taxa de aplicação e estabilização do biossólido

A Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Apesar de ser específica para esgotos sanitários e também por não se ter uma legislação específica para o uso agrícola de lodos gerados em ETE's industriais, normalmente no Brasil se utiliza a resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) como referência para aplicação dos biossólidos gerados em ETE's de segmentos industriais. O biossólido usado no

experimento foi produzido por indústria têxtil localizada no distrito industrial de João Pessoa/PB.

A taxa de aplicação foi calculada a partir da quantidade de nitrogênio existente no bio sólido e pelo requerimento desse mesmo elemento para o desenvolvimento da cultura a ser cultivada (BRASIL, 2006). Assim, a taxa de aplicação do bio sólido foi calculada pelas seguintes equações:

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \text{N recomendado (kg/ha)} / \text{N disponível (kg/t)} \quad (1)$$

Onde:

N recomendado = Quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura, segundo a recomendação oficial do estado;

N disponível = Calculado segundo anexo 3 da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

Como as informações obtidas na literatura sobre a recomendação de adubação nitrogenada para o capim-elefante no Estado da Paraíba são incipientes, buscou-se a recomendação utilizada no cálculo da fórmula citada acima em trabalhos técnicos e científicos sobre adubação de capim-elefante. Monteiro (1994) recomenda dosagens relativamente baixas de nitrogênio no estabelecimento da forragem, variando de 30 a 300 kg de N/ha, enquanto Saraiva e Carvalho (1991) não observaram efeitos de uma dosagem de 120 kg de N/ha, combinadas com adubação fosfatada sobre a produção de matéria seca em duas espécies de capim-elefante. Portanto, para base do cálculo da dosagem de bio sólido, utilizou-se a recomendação de 200 kg N/ha.

O nitrogênio disponível foi calculado de acordo com o Anexo 3 da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) pela seguinte equação:

$$N_{\text{disp}} (\text{mg/kg}) = (\text{FM}/100) \times (N_{\text{Kj}} - N_{\text{NH}_4}) + 0,5 \times (N_{\text{NH}_4}) + (N_{\text{NO}_3} + N_{\text{NO}_2}) \quad (2)$$

Onde:

FM= Fração de mineralização do nitrogênio (%);

Nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio Kjeldahl = nitrogênio orgânico total + nitrogênio amoniacal (N_{Kj}) (mg/kg);

Nitrogênio amoniacal (N_{NH_4}) (mg/kg);

Nitrogênio Nitrato e Nitrito ($N_{NO_3} + N_{NO_2}$) (mg/kg).

Utilizando os dados da caracterização do biossólido, chegou-se às taxas de dosagem apresentadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1. Quantidade aplicada de biossólido.

Biossólido	Quantidade
Biossólido 1x	10,14 ton/ha.ano
Biossólido 2x	20,28 ton/ha.ano
Biossólido 4x	40,56 ton/ha.ano
Biossólido 8x	81,12 ton/ha.ano

O sistema de tratamento utilizado pela empresa é o sistema biológico de lodos ativados de aeração prolongada seguido por um sistema de ultrafiltração. O lodo foi fracionado em quatro dosagens, conforme experiência de Evangelista e Lima (2002) e Monteiro (1994), que estabelecem que parte da adubação deve ser aplicada no momento do plantio e outra parte em cobertura: a primeira em 05/12/2015, onde foi dosado 15% da quantidade total de cada parcela; a segunda em 16/12/2015 dosando mais 30%; a terceira em 23/12/2015 dosando mais 30%; a quarta em 08/01/2016 dosando o restante (25%).

Antes de ser aplicado, o biossólido passou por um processo de estabilização alcalina a partir do aumento do seu pH com adição de cal hidratada, tanto para redução de patógenos como para redução da atração de vetores, atendendo ao artigo primeiro da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Foram realizados em laboratório ensaios com o biossólido bruto com a cal nas proporções de 10, 20, 30, 40 e 50% do peso seco do biossólido, e a partir da concentração de 30% de cal no lodo seco, as amostras atenderam aos requisitos necessários para pH acima de 12 após 48 horas e pH acima de 11,5 após 24 h. Portanto, chegou-se a proporção de 30% de cal para a quantidade de lodo em base seca.

2.2.2.2. Taxa de aplicação dos fertilizantes químicos

Segundo Evangelista e Lima (2002), a adubação de estabelecimento do capim-elefante deve suprir o fósforo e parte do potássio necessário para o ano de cultivo. Os autores sugerem, ainda, colocar no sulco de plantio de 50 a 100 kg de P_2O_5 /ha por ano. Nas parcelas de fertilização química do experimento utilizou-se a proporção de 100 kg de P_2O_5 /ha por ano, aplicado de uma só vez no sulco de plantio. Quanto ao potássio, a recomendação é de 80 a 100 kg de K_2O /ha, pois boa parte dos solos apresenta deficiência nesse nutriente, com teores abaixo de 58 ppm (WERNER, 1986). Neste experimento foi utilizada a proporção de 100 kg/ha de KCl. Segundo Lopes (2004), devido às baixas quantidades utilizadas desse adubo, não é necessário parcelar, podendo também ser aplicado diretamente no plantio. Portanto, aplicou-se a quantidade de cada parcela em uma única aplicação no dia 05 de dezembro de 2015.

Quanto ao nitrogênio, aplicou-se a proporção de 200 kg N/ha, utilizando a uréia. Devido à baixa quantidade de adubo nitrogenado por parcela, este também foi aplicado em uma só aplicação.

2.2.3. Método de plantio

Antes do estabelecimento do experimento, foi feita uma limpeza manual do terreno e depois a aragem e gradagem através de máquinas. Segundo Lopes (2004), o preparo do solo deve ser feito de forma a facilitar a brotação das mudas e germinação das sementes.

O plantio foi realizado por sulcos de aproximadamente 15 cm de profundidade. Os colmos foram cortados em pedaços com 3 gemas dentro do próprio sulco. Há uma variação muito grande de recomendações de plantio na literatura. Alcântara e Bufarah (1983) relatam que há uma maior brotação com pedaços de 2 a 3 gemas, enquanto Evangelista e Lima (2002) dizem que há um maior perfilhamento em pedaços contendo de 3 a 5 gemas.

O espaçamento utilizado entre os sulcos foi de 1 x 1m. Foram utilizadas mudas de capim-elefante retiradas da propriedade onde foi realizado o experimento, cuja variante é conhecida como “capim-elefante branquinho” e capim “brachiarão”, conforme informado pelos nativos da região. Foi utilizado 1m de espaçamento, pois é o espaçamento normalmente utilizado pelos agricultores da região, onde os mesmos indicam que há uma maior produção e evita a competição e entrelaçamento entre os

colmos nos sulcos no desenvolvimento da planta. Alguns autores, como Gomide (1997), Martins e Fonseca (1998), recomendam espaçamentos entre 0,5m e 1m.

2.2.4. Irrigação

Para a irrigação foram utilizados tubos gotejadores de polietileno de 16 mm de espessura, com espaçamento de 0,50 m por gotejador, com vazão nominal de 1,5 L/h. Cada gotejador tem a espessura de 0,7 mm. Foi instalada uma tubulação por linha de capim. Foi instalado no campo experimental, um termômetro digital (Incoterm 7665.02.0.00), com medição de temperaturas máximas e mínimas para cálculo da evapotranspiração de referência a partir da fórmula de Hargreaves e Samani (1982):

$$ET_0 = 0,0023 * (T_{méd} + 17,78) * (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} * (RA * 0,408) \quad (3)$$

Onde:

ET_0 - Evapotranspiração de referência (mm/h)

$T_{méd}$ - Temperatura média

$T_{máx}$ - Temperatura máxima

$T_{mín}$ - Temperatura mínima

RA - Radiação extraterrestre (MJ / m^2)

Para utilização dessa fórmula foram coletadas diariamente as temperaturas máximas e mínimas para o cálculo final do tempo de irrigação necessário para o dia. A temperatura média foi calculada da seguinte forma:

$$T_{méd} = (T_{máx} - T_{mín}) / 2 \quad (4)$$

A radiação extraterrestre é tabelada de acordo com a latitude do local e o mês do ano. Portanto, utilizou-se os valores de acordo com a Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Valores médios da radiação extraterrestre de acordo com a latitude e o mês.

Latitude	Ra (MJ / m ² por dia)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0	36,8	37,2	38,5	37,5	35,3	34,1	34,5	36,3	37,5	37,7	37,0	36,3
2°	37,5	38,5	38,5	37,0	34,5	33,1	33,6	35,5	37,2	38,0	37,5	37,0
4°	38,0	38,7	38,2	36,5	33,8	32,3	32,8	35,0	37,0	38,2	38,0	37,7
6°	38,7	39,2	38,2	36,0	32,8	31,4	32,1	34,3	36,8	38,5	38,7	38,5
8°	39,4	39,4	38,0	35,3	32,1	30,4	31,1	33,6	36,5	38,7	39,2	39,2
10°	40,2	39,9	38,0	34,8	31,4	29,4	30,4	33,1	36,3	39,0	39,7	39,7
12°	40,7	39,9	37,7	34,3	30,6	28,4	29,4	32,3	36,0	38,7	40,2	40,4
14°	40,9	40,2	37,5	33,6	29,6	27,4	28,4	31,6	35,5	38,7	40,4	40,7
16°	41,4	40,2	37,2	33,1	28,7	26,5	27,4	30,9	35,0	38,7	40,9	41,2
18°	41,9	40,4	37,0	32,3	27,9	25,5	26,5	30,1	34,5	38,7	41,2	41,9
20°	42,4	40,4	36,8	31,9	27,0	24,5	25,5	29,4	34,1	38,7	41,7	42,6
22°	42,6	40,4	36,3	30,9	26,0	23,5	24,5	28,4	33,6	38,5	41,7	42,9
24°	42,9	40,4	35,8	30,1	25,0	22,3	23,3	27,4	32,8	38,2	41,9	43,4
26°	43,1	40,2	35,3	29,4	23,8	21,3	22,3	26,7	32,3	38,0	42,1	43,6
28°	43,4	40,2	35,0	28,4	22,8	20,1	21,1	25,5	31,9	37,7	42,1	43,9
30°	43,6	40,2	34,3	27,7	21,8	19,1	19,8	24,7	31,1	37,5	42,4	44,3
32°	43,6	39,7	33,8	26,7	20,8	17,9	18,9	23,5	30,4	37,0	42,1	44,3
34°	43,6	39,4	33,1	25,7	19,6	16,7	17,6	22,5	29,4	36,5	41,9	44,6
36°	43,9	39,2	32,3	24,7	18,4	15,4	16,7	21,6	28,7	35,8	41,7	44,6
38°	43,9	38,7	31,4	23,5	17,4	14,2	15,4	20,3	27,9	35,3	41,7	44,8
40°	43,9	38,5	30,6	22,5	16,2	13,0	14,5	19,4	27,0	34,8	41,4	44,8

Fonte: INSA (2013).

Depois de calculada a evapotranspiração de referência, o próximo passo foi calcular a evapotranspiração da cultura, a partir da seguinte equação:

$$ET_c = ET_0 * K_c \quad (5)$$

Onde:

ET_c - Evapotranspiração da cultura (mm/h)

ET₀ - Evapotranspiração de referência (mm/h)

K_c - Coeficiente de cultivo, adimensional.

Segundo Alencar *et al.* (2009), com base em resultados de experimentos em campo, recomenda-se em irrigação de pastagens um coeficiente de cultivo de 0,8 único e prático para estágio de desenvolvimento entre ciclo de pastejo.

Calculada a ET_c, assim temos os subsídios necessários para ser calculada a lâmina de irrigação:

$$Li = (ET_c / E_i) * 100 \quad (6)$$

Onde:

Li - Lâmina de irrigação (mm/dia)

E_i - Eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação, (%).

Calculada a lâmina de irrigação, calculamos o tempo de irrigação necessário por dia no sistema:

$$Ti = Li * 10000 / N_p * N_e * q_e \quad (7)$$

Onde:

T_i = Tempo de irrigação (h);

N_p = Número de plantas por hectare;

N = Número de emissor por planta;

q_e = Vazão do emissor, L/h.

2.2.5. Coleta e processamento das amostras de solo

Foram realizadas três amostragens de solo: uma antes do experimento ser iniciado, e as outras duas 1 dia antes do primeiro corte e do segundo corte do capim-elefante. Para a amostragem do solo antes do experimento, foram coletadas 10 amostras na profundidade de 20 cm e misturadas formando uma amostra composta. Foram analisados todos os parâmetros contidos na Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006), e os dados coletados junto à empresa têxtil onde foi coletado o bio-sólido para o experimento.

Para as amostragens antes dos cortes, utilizou-se a mesma metodologia de amostras compostas. Para isso, foram coletadas 3 amostras de solo por parcela na profundidade de 20 cm, onde normalmente se encontram as raízes das plantas, e para

cada parcela misturou-se as 3 amostras formando uma amostra composta. A exceção ficou para as análises dos coliformes termotolerantes, onde foi realizada uma amostragem composta entre cada tratamento e suas repetições, totalizando 1 amostra composta para cada tratamento.

Oliveira *et al.* (2002) coletou cinco amostras em uma área útil de 25,2 m² para fazer uma amostra composta. Portanto, retirando 3 amostras de cada parcela de 4 m² e formando uma amostra composta, conseguiu-se uma representatividade maior que o trabalho do referido autor.

Após coleta do solo e preparo das amostras, as mesmas foram encaminhadas diretamente aos laboratórios responsáveis pelas análises dos parâmetros físicos e de fertilidade, os metais e os microrganismos. Os parâmetros físicos, de fertilidade e os microrganismos foram analisados de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1997), com exceção do parâmetro matéria orgânica que foi analisado a partir da descrição de Silva (1999) para o método da calcinação “*Loss of Ignition*”.

2.2.6. Análise estatística

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados com 6 tratamentos: parcela testemunha (onde foi apenas irrigado, sem utilização de nenhum insumo), fertilização química e 1x, 2x, 4x e 8x a dosagem calculada segundo Anexo 3 da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Foram delineados 3 blocos com os 6 tratamentos citados anteriormente, totalizando 18 parcelas experimentais.

Os dados coletados foram analisados mediante a análise de variância (ANAVA) através do teste F, utilizando o teste de Tukey para comparar as médias, no nível de significância de ($p < 0,01$ e $p < 0,05$).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização do solo antes do início do experimento e também do bio sólido antes da aplicação, estão expostos na tabela 2.3. O estudo foi limitado a escolha dos principais parâmetros de fertilidade, no caso nutrientes, como a série nitrogenada, o fósforo, a matéria orgânica e o potássio e os possíveis elementos contaminantes, como os metais, representados por aqueles que apresentaram os maiores teores no bio sólido e também os microrganismos patogênicos, representados pelos

coliformes termotolerantes. Como pode ser observado na mesma tabela, todos os parâmetros avaliados no bioossólido, estão dentro dos limites para aplicação no solo.

Tabela 2.3. Caracterização do solo da área experimental e do bioossólido aplicado.

Parâmetro	Solo	Bioossólido	Limite Conama 375/06
Cálcio	3600 mg/kg	9620	
Chumbo	25,9 mg/kg	< 1 mg/kg	300 mg/kg
Cobre	15,6 mg/kg	275 mg/kg	1500 mg/kg
Coliformes termotolerantes	10 NMP/g de ST	92 NMP/g de ST	1000 NMP/g de ST
Fósforo	410 mg/kg	1780 mg/kg	--
Magnésio	51 mg/kg	10000 mg/kg	
Matéria orgânica	25,2 g/kg	69 g/kg	--
Nitrato	1,39 mg/kg	< 6,1 mg/kg	--
Nitrito	< 0,2 mg/kg	< 1,2 mg/kg	--
Nitrogênio amoniacal	232 mg/kg	238 mg/kg	--
Nitrogênio kjeldahl total	2050 mg/kg	7320 mg/kg	--
pH (suspensão a 5%)	6,8	7,90	--
Potássio	16,4 mg/kg	3450 mg/kg	--
Sódio	681 mg/kg	5140 mg/kg	
Zinco	57,1 mg/kg	34,5 mg/kg	2800 mg/kg

NMP/g de ST: Número Mais Provável/ grama de Sólido Total

A tabela 2.4 apresenta os resultados para a série nitrogenada, nutrientes muito importantes para o desenvolvimento das plantas. Observa-se que não houve efeito significativo para as variáveis. Fazendo a verificação dos valores médios dos parâmetros nos tratamentos onde foram utilizados o bioossólido, quanto maior a dosagem, maior a tendência de crescimento, com exceção do parâmetro nitrato. Isso corrobora o que foi encontrado por Nascimento (2004), que em seu experimento observou um aumento da disponibilidade de nitrogênio após dosagens de bioossólido no solo.

Os resultados das médias para os parâmetros nitrogênio Kjeldhal (N - Kjeldhal) e o nitrogênio total (N - total) apresentaram a mesma tendência de aumento, ou seja, quanto maior a dosagem de bioossólido maior a disponibilidade do elemento. Para o nitrato e o nitrito, não houve uma tendência de crescimento dos resultados de acordo com o aumento das dosagens utilizadas, com os resultados médios variando entre os tratamentos, havendo uma diferença média muito grande entre a parcela testemunha e os tratamentos com o bioossólido. Apesar disso, o N-total pode ainda ser mineralizado, processo de conversão do N organicamente ligado a proteínas, aminoácidos em

nitrogênio inorgânico como o nitrito e nitrato pelos microrganismos presentes no solo, acontecendo de forma rápida em solos com alta carga orgânica, dependendo ainda da climatologia da região, a fatores físicos e biológicos (ANDERSEN, 1999; ANDREOLI 2001; HUTCHISON E WALWORTH, 2007)

Tabela 2.4. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: N – Kjeldhal, Nitrato, Nitrito e N - Total do solo 1 dia antes do primeiro corte de capim-elefante.

Fonte de Variação	G.L.	N - Kjeldhal	Nitrato	Nitrito	N - total
		Quadrados Médios			
Bloco	2	51839,39 ^{ns}	3,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	51067,15 ^{ns}
Tratamentos	5	520040,22 ^{ns}	6,22 ^{ns}	0,01 ^{ns}	519686,26 ^{ns}
Resíduo	10	181016,32	9,91	0,01	181585,50
Total	17				
CV (%)		32,75	125,53	135,22	32,73
Tratamento		Médias (mg/kg)			
	Testemunha	1082,67a	5,21a	0,02a	1087,79a
	Fertilização química	801,67a	1,90a	0,05a	803,69a
	Biossólido 1x	1110,33a	1,25a	0,03a	1111,58a
	Biossólido 2x	1233,67a	2,70a	0,20a	1236,70a
	Biossólido 4x	1605,67a	1,49a	0,04a	1607,32a
	Biossólido 8x	1961,33a	2,48a	0,04a	1963,97a

As tabelas 2.5 e 2.6 apresentam resultados alcançados nos outros parâmetros de fertilidade do solo, 1 dia antes do primeiro e segundo corte do capim-elefante, respectivamente. Para o primeiro corte, os parâmetros sódio (Na1) e potássio (K1) variaram significativamente a ($p < 0,01$) entre os tratamentos, enquanto o fósforo (P1), Capacidade de Troca Catiônica (CTC1) e a matéria orgânica (MO1) a ($p < 0,05$), com o fósforo variando entre os tratamentos e a CTC e MO entre os blocos.

Tabela 2.5. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Fósforo (P1), pH (pH1), cálcio (Ca1), magnésio (Mg1), sódio (Na1), potássio (K1), Capacidade de Troca Catiônica (CTC1) e matéria orgânica (MO1) do solo 1 dia antes do primeiro corte do capim-elefante.

Fonte de Variação	G.L.	P1	pH1	Ca1	Mg1	Na1	K1	CTC1	MO1
QUADRADOS MÉDIOS									
Bloco	2	460,1 ^{ns}	0,14 ^{ns}	128250 ^{ns}	112,9 ^{ns}	21,3 ^{ns}	19,88 ^{ns}	2,49*	64*
Tratamentos	5	910,3*	0,09 ^{ns}	121649 ^{ns}	595,8 ^{ns}	193,1**	251,8**	0,61 ^{ns}	9,8 ^{ns}
Resíduo	10	174,9	0,05	53694	461,3	26,1	40,3	0,45	14
Total	17								
CV (%)		30,86	3,03	30,29	14,11	21,33	18,81	11,99	23,23
MÉDIAS									
Tratamento		P1 (mg/kg)	pH1	Ca1 (mg/kg)	Mg1 (mg/kg)	Na1 (mg/kg)	K1 (mg/kg)	CTC1	MO1 (g/kg)
Testemunha		27,1a	6,97a	492,3a	147,5a	22,5a	27,3a	6a	16,7a
Fertilização química		29,4a	6,93a	658a	139a	17,2a	25,5a	5,57a	18,5a
Biossólido 1x		39,2ab	7,2a	784a	144,7a	20,4a	32,9a	5,03a	13,7a
Biossólido 2x		39,2ab	7,23a	816,7a	156a	20,4a	31a	5,27a	15,3a
Biossólido 4x		47,1ab	7,07a	737,4a	178,7a	23,6a	34,7ab	5,43a	14,8a
Biossólido 8x		75,1b	7,4a	1101,3a	147,5a	39,7b	51,1b	6,23a	17,6a

** e * são significativos à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias com letras iguais não se diferenciam entre si. CTC = cmolc/cm³

ns = não significativo

Analisando as médias dos parâmetros, no primeiro e segundo corte do capim-elefante, de acordo com as tabelas 2.5 e 2.6, observa-se que o fósforo e sódio variaram significativamente ($p < 0,01$) nos 2 cortes, com exceção do fósforo no primeiro corte ($p < 0,05$). Analisando os valores médios para esses parâmetros, estes foram crescentes nos tratamentos com o biossólido, sugerindo uma tendência de aumento à medida que se aumentou a quantidade aplicada de biossólido.

Para o sódio, no primeiro corte, o tratamento “biossólido 8x” diferenciou ($p < 0,01$) dos demais, apresentando o maior teor médio desse elemento. No segundo corte, o tratamento biossólido 8x apresentou o maior teor médio, diferenciando ($p < 0,01$) dos demais. Os tratamentos biossólido 2 e 4x também se diferenciaram ($p < 0,01$) dos tratamentos biossólido 1x, fertilização química e testemunha. Para o fósforo, os tratamentos testemunha e com fertilização química se diferenciaram ($p < 0,05$) dos tratamentos onde foram utilizados o biossólido no primeiro corte, que também diferenciaram ($p < 0,05$) do tratamento “biossólido 8x”, onde houve o maior incremento de fósforo no solo. Houve significância de ($p < 0,01$) no segundo corte também para o fósforo, com o tratamento biossólido 8x diferenciando ($p < 0,01$) dos demais, que são iguais estatisticamente. Silva *et al.* (1998) e Araújo *et al.* (2009), também encontraram

acréscimos de fósforo em experimentos com dosagem de lodo oriundos de estação de tratamento de efluentes.

Tabela 2.6. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Fósforo (P2), pH (pH2), cálcio (Ca2), magnésio (Mg2), sódio (Na2), potássio (K2), Capacidade de Troca Catiônica (CTC2) e matéria orgânica (MO2) do solo 1 dia antes do segundo corte do capim-elefante.

Fonte de Variação	G.L	QUADRADOS MÉDIOS							
		P2	pH2	Ca2	Mg2	Na2	K2	CTC2	MO2
Bloco	2	224,7 ^{ns}	0,14 ^{ns}	283764*	801,4 ^{ns}	105,4*	134,1 ^{ns}	5,1*	27,4 ^{ns}
Tratamentos	5	3532**	0,30*	742441**	902 ^{ns}	155**	6482**	5,3**	1260,7 ^{ns}
Resíduo	10	3359,6	0,57	55131	2017,2	19,7	355,2	0,69	218,4
Total	17								
CV (%)		38,15	2,34	23,16	27,86	15,32	27,18	14,08	52,89
Tratamento	MÉDIAS								
	P2 (mg/kg)	pH2	Ca2 (mg/kg)	Mg2 (mg/kg)	Na2 (mg/kg)	K2 (mg/kg)	CTC2	MO2 (g/kg)	
Testemunha	25,2a	6,57a	569,3a	156a	24,7a	38,4a	4,83a	13,9a	
Fertilização química	26,6a	6,9ab	653,3a	147,5a	21,5a	40,1a	4,97a	58,6a	
Biossólido 1x	28a	7,13ab	793,3ab	178,7a	23,6a	38,4a	4,93a	17,6a	
Biossólido 2x	47,6a	7,1ab	1026,7ab	187,2a	31,1ab	65,7a	5,87ab	19,5a	
Biossólido 4x	56a	7,5b	1418,7bc	147,5a	32,2ab	74,8a	6,7ab	23,6a	
Biossólido 8x	114,8b	7,23ab	1759,3c	150,3a	40,8b	158,7b	8,2b	57,1a	

** e * são significativos à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias com letras iguais não se diferenciam entre si. CTC = cmolc/cm³

ns = não significativo

Para o parâmetro pH não houve significância entre os tratamentos no primeiro corte, porém houve significância de (p<0,05) no segundo corte, com o tratamento biossólido 4x e testemunha se diferenciando entre si e dos demais (p<0,05). Os valores médios em todos os tratamentos ficaram perto da neutralidade, em ambos os cortes. Nos tratamentos onde foram utilizados o biossólido, já era esperado um ligeiro aumento de pH, pois o mesmo biossólido foi calado com cal hidratada antes da aplicação, como forma de estabilização, com o objetivo de evitar a atração de vetores e inativar os possíveis microrganismos patogênicos (BRASIL, 2006). Os resultados encontrados para o pH estão parecidos aos encontrados em outros trabalhos que utilizaram o biossólido calado, onde houve um aumento de pH (MELO e MARQUES, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2002).

Em ambos os cortes, não houve significância para os parâmetros cálcio e magnésio, com exceção do segundo corte para o parâmetro cálcio, onde houve significância (p<0,01) entre os tratamentos. Os tratamentos testemunha e fertilização

química foram iguais estatisticamente para o elemento cálcio no segundo corte, se diferenciando ($p < 0,01$) dos tratamentos bio sólido 1 e 2x que foram iguais entre si, que se diferenciou ($p < 0,01$) do tratamento bio sólido 4x, que se diferencia também ($p < 0,01$) do tratamento bio sólido 8x, que apresentou o maior valor médio do elemento.

Apesar dos altos teores contidos no bio sólido, os macronutrientes magnésio e cálcio apresentaram, em ambos os cortes, valores médios abaixo dos encontrados no solo e no bio sólido. Além de ter sido absorvido pela planta, o magnésio, por ser muito solúvel, pode ter sido lixiviado, já que o solo da área é muito poroso. O cálcio age no solo, diminuindo a acidez e conseqüentemente a toxidez que alguns elementos podem causar ao solo. Os teores de cálcio, magnésio e também do sódio são muito importantes no quesito salinidade do solo. Segundo Lima (1998), o acúmulo de sais prejudica o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente das culturas, devido à elevação do potencial osmótico do solo, por efeitos tóxicos de íons específicos, como os oriundos do cálcio, magnésio e sódio, alterando assim as condições físico-químicas do solo.

Os teores médios encontrados para o potássio apresentaram tendência de crescimento, em média, nos tratamentos com bio sólido em relação aos tratamentos com fertilização química e o parcela testemunha. Os tratamentos “bio sólido 4x” e “bio sólido 8x” se diferenciaram dos demais e entre si ($p < 0,01$), no primeiro corte, enquanto somente o tratamento “bio sólido 8x” se diferenciou ($p < 0,01$) dos demais tratamentos no segundo corte. Devido aos altos teores encontrados em sua composição, a partir das análises realizadas antes de se começar o experimento, esperava-se uma suplementação crescente nos tratamentos com o bio sólido, confirmada pelos resultados, onde em todos os tratamentos em que foram utilizados a fertilização química e o bio sólido, em média, apresentaram teores superiores ao encontrado no solo antes do começo do experimento. Esses resultados são contrários aos encontrados em alguns trabalhos, como o de Ross *et al.* (1990) e Hue (1995), que concluíram que o bio sólido não era uma boa fonte de potássio para o solo e conseqüentemente para a cultura.

Para ambos os cortes, não houve significância entre os tratamentos nos resultados para parâmetro matéria orgânica. Analisando as médias obtidas, somente nos tratamentos onde foram utilizados a maior dosagem de bio sólido que a tendência das médias dos se aproximou das médias dos tratamentos com a fertilização química. Nascimento *et al.* (2004) observou, em diferentes dosagens de lodo oriundo de uma estação de tratamento de esgoto municipal um aumento expressivo nos teores de matéria orgânica nos solos experimentados. Porém, sua manutenção dependerá de aplicações

sucessivas de biofóssido (OLIVEIRA *et al.*, 2002), pois seu efeito sob o carbono orgânico do solo pode ser temporário, devido a decomposição dessa mesma matéria orgânica. Barbosa *et al.* (2002) relata ser de fundamental importância o aporte de matéria orgânica ao solo para manutenção do potencial produtivo do mesmo, causando efeitos positivos nas propriedades físico-químicas do solo com o aumento da disponibilidade de carbono orgânico.

Não houve significância entre os tratamentos para o primeiro corte para a CTC, porém no segundo corte, houve significância ao nível de ($p < 0,05$), com o tratamento biofóssido 8x diferenciando dos demais ($p < 0,05$), e os tratamentos biofóssido 2 e 4x sendo iguais estatisticamente e diferenciando dos demais. Observou-se uma tendência de valores crescentes na CTC para os tratamentos com o biofóssido, com exceção de alguns tratamentos com o biofóssido ter apresentado tendências inferiores aos tratamentos com a fertilização química. Os resultados estão próximos e semelhantes ao encontrado em outros trabalhos científicos em que se utilizou o biofóssido como potencial fertilizante (EPSTEIN *et al.*, 1976; CAVALLARO *et al.*, 1993; NASCIMENTO *et al.*, 2004).

Como pode ser observado nas tabelas 2.5 e 2.6, na maioria dos parâmetros analisados nos tratamentos, a disponibilidade do elemento teve uma tendência de crescer no segundo corte. Como a dosagem do biofóssido foi parcelada em 4 vezes, somente a primeira dosagem foi perfeitamente incorporada ao solo com o plantio do capim-elefante. As outras dosagens foram aplicadas em cobertura, pouco incorporadas ao solo, possivelmente tendo pouco contato com os microrganismos presentes, responsáveis pela degradação do material. Corrêa *et al.* (2005) explica que o biofóssido seca em contato com o sol, reduzindo assim a sua degradação, devido a baixa umidade e maior estabilidade dos compostos orgânicos, tornando a liberação dos nutrientes mais lenta, o que pode explicar os teores médios dos parâmetros mais elevados na análise antes do segundo corte.

Pelas características inerentes a sua composição, o biofóssido além de proporcionar a disponibilização de elementos edáficos ao solo, pode também disponibilizar elementos tóxicos. Sobre possíveis contaminações, as maiores preocupações são com os metais pesados, os microrganismos patogênicos e o nitrogênio, esse último no caso de lixiviação. Apesar disso, Nascimento *et al.* (2004) relata que os teores de zinco, cobre, manganês e chumbo, metais que apresentaram maiores teores na maior dosagem utilizada em seu experimento, ainda foram muito

menores do que preconizado pela Comunidade Européia (HUE, 1995) e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1993). Pela caracterização do bioestabilizado antes do início do experimento, todos os metais contidos em sua composição estão muito abaixo dos limites impostos pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Já para os coliformes termotolerantes, foi realizada uma amostragem 1 dia antes do primeiro corte (Tabela 2.7).

Tabela 2.7. Resultados dos coliformes termotolerantes 1 dia antes do primeiro corte do capim-elefante.

Tratamento	Coliformes Termotolerantes (NMP/g ST)	Limite – Conama 375/06 (NMP/g ST)
Testemunha	< 1,1	1000
Fertilização Química	< 1,1	1000
Bioestabilizado 1x	827	1000
Bioestabilizado 2x	< 1,1	1000
Bioestabilizado 4x	67	1000
Bioestabilizado 8x	900	1000

NMP/g ST: Número Mais Provável/ grama de Sólido Total

Observa-se a partir dos resultados da tabela 2.7, que nenhum tratamento ultrapassou o limite imposto pela legislação. É importante salientar que a maior preocupação quanto à contaminação são as dosagens sucessivas e o efeito residual causado por elas, já que as quantidades da maioria dos metais pesados e microrganismos patogênicos são pequenas no bioestabilizado. Portanto é de suma importância o acompanhamento da aplicação, realizando as análises de solo na frequência estipulada de acordo com a dosagem aplicada.

Outra preocupação é com relação aos teores de nitrogênio. O nitrogênio orgânico contido no lodo não está prontamente disponível para as plantas, dependendo de uma série de fatores para sua mineralização e pronta disponibilização para a cultura (SOUTH CAROLINA DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENT CONTROL, 1996). Com o parcelamento da dosagem espera-se uma melhor assimilação pela microbiota do solo e pela cultura, tentando evitar ao máximo o seu lixiviamento e contaminação do lençol freático (FERREIRA,1999). O nitrato é a forma assimilável

pela cultura e também a que pode causar mais contaminação, por ser tóxico ao organismo humano. Por ser muito móvel no solo, seu excesso pode sofrer lixiviação e contaminar o lençol freático, e essa água ao ser ingerida pode causar severos efeitos tóxicos a saúde humana. A partir dos resultados encontrados na tabela 2 para o nitrato, não se espera qualquer tipo de contaminação, pois a presença foi menor que o padrão de potabilidade da água de 10 mg/L, de acordo com a portaria 2914/11 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011).

Assim, o biossólido se mostrou viável para o uso como fertilizante, apresentando disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento de qualquer cultura, dentre elas o capim-elefante, sendo necessário o acompanhamento em aplicações sucessivas para que não haja qualquer tipo de contaminação ao solo e à planta.

2.4. CONCLUSÃO

O uso do biossólido como fertilizante para a produção do capim-elefante se mostrou viável, pois conseguiu-se disponibilizar os nutrientes essenciais ao crescimento das plantas sem ocasionar qualquer tipo de contaminação ao solo em relação a sanidade, metais pesados e nitrogênio.

É importante salientar que o desenvolvimento de novos estudos são necessários para avaliar as possíveis contaminações ao solo com a utilização do biossólido, principalmente em dosagens subsequentes, porém pelos baixos teores encontrados, de microrganismos patogênicos, metais pesados e o nitrato remanescente no solo após primeiro e segundo corte do capim-elefante sugerem que não houve qualquer tipo de contaminação.

Assim, é possível aproveitar um resíduo normalmente não aproveitado, agregando valor ao processo com a produção de um bem econômico (capim-elefante), evitando a sobrecarga dos aterros, além de seguir a normativa vigente, Lei 12305/10 (BRASIL, 2010) e consequente diminuição do uso de fertilizantes comerciais, que necessitam de alto gasto energético para sua síntese.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas. São Paulo, Editora Nobel, 2ª ed., 150p, 1983.
- ALENCAR, C. A. B.; CUNHA, F. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; ROCHA, W. S. D.; ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p. 98-108, 2009.
- ANDERSEN, M.K. Short term N mineralization-immobilization turnover in soil after incorporation of green manures as a function of plant litter quality and soil temperature – A comparison of analytical models with the numerical model FLUAZ. Dissertation (Master in Microbial Ecology)- University of Aarhus, Denmark, 73 p., 1999.
- ANDREOLI, C.V.; LARA, A.C.; FERREIRA, B.R.P.; BONNET, E.S.; PEGORINI, R.G.K.I. A gestão dos biossólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto doméstico. *Engenharia e Construção*, n. 24, Curitiba, 1998.
- ANDREOLI, C.V., PEGORINI, E.S., FERNANDES, F. Disposição do lodo de esgoto no solo. In: ANDREOLI, C. V., SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Coords.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. DESA/UFMG, SANEPAR. v. 6, p. 319-395, 2001.
- ARAÚJO, F.F.; GIL, F.C.; TIRITAN, C.S. Lodo de Esgoto na Fertilidades do Solo, na Nutrição de *Brachiaria decumbens* e na Atividade da Desidrogenase. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v. 39, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2009.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. *Sanare*, Curitiba, v.17, n.17, p. 94-101, 2002.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636. Acesso em: 12 jan. 2016.
- BRASIL. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2016.

- BRASIL. Portaria Ministério da Saúde nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017
- CAVALLARO, N.; PADILLA, N.; VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. *Soil Sci.*, Ed. 156, p. 63-70, 1993.
- CORRÊA, R.S.; WHITE, R.E. & WEATHERLEY, A.J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. *Sci. Agric.*, Ed. 62, p. 274-280, 2005.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª Ed, 1997.
- EPSTEIN, E.; TAYLOR, J. M.; CHANEY, R. L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.*, Ed. 5, p. 422- 426, 1976.
- EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. Silagens: do cultivo ao silo. Lavras, Editora UFLA, 2ª ed., 210p, 2002.
- FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Companhia de Saneamento do Paraná –SANEPAR, 1999.
- GOMIDE, J.A. Formação e utilização de capineira de capim-elefante. In: CARBALHO, M. M.; ALVIN, M. J.; XAVIER, D.F.; CARBALHO L.A. Capim-elefante: produção e utilização. 2º ed. Coronel Pacheco: Embrapa–Gado de Leite, p. 81–115, 1997.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimation of potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE*, Nova Iorque, v. 108, n. 3, p. 225-230, 1982.
- HUE, N. V. Sewage sludge. In: RECHCIGL, J. E. (Ed.) Soil amendments and environmental quality. Boca Raton, CRC Press, p. 199-168, 1995.
- HUTCHISON, C.M.W.; WALWORTH, J.L. Evaluating the effects of gross nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification on nitrogen fertilizer

availability in soil experimentally contaminated with diesel. *Biodegradation*, v. 18, p. 133-144, 2007.

- INSA – INSTITUTO NACIONAL DO SEMI-ÁRIDO. Manejo de Irrigação utilizando o modelo de Hargreaves e Samani. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 10p., 2013.
- LIMA, V. L. A. Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem. 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- LIMA, E. S.; SILVA, J. F. C.; VÁSQUEZ, H. M.; ANDRADE, E. N.; DEMINICIS, B. B.; MORAIS, J. P. G.; COSTA, D. P. B.; ARAÚJO, S. A. C. Características agronômicas e nutritivas das principais cultivares de capim-elefante do Brasil. *Veterinária e Zootecnia*, p. 324-334, Set. 2010.
- LOPES, B. A. O capim-elefante. Seminário apresentado à disciplina ZOO 645 (Métodos nutricionais e alimentação de ruminantes). Viçosa, 66 p., 2004.
- LUDUVICE, M. Experiência da companhia de saneamento do distrito federal na reciclagem agrícola de biossólido. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Eds) Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 153-162, 2000.
- MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, B. H. N.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. C.; COSTA, N. L.; PINTO, M. S. C.; FILHO, W. J. E. M. Influência da adubação nitrogenada e idade de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante. *REDVET: Revista eletrônica de veterinária*, vol. 10, nº 4, 13 p, 2009.
- MARTINS, C. E.; FONSECA, D. M. Manejo e fertilidade do solo em pastagens de capim-elefante. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 19, n. 192, p. 44-54, 1998.
- MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 109-141, 2000.
- MONTEIRO, F. A. Adubação para o estabelecimento e manutenção de capim-elefante. In. CARVALHO, L. A.; CARVALHO, M. M.; MARTINS, C. E.;

- VILELA, D. (Eds). Capim-elefante: Produção e utilização. Coronel Pacheco: Embrapa-Gado de Leite, p. 49-79, 1994.
- NASCIMENTO C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Ed. 28, p. 385-392, 2004.
 - OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *R. Bras. Ci. Solo*, Ed. 26, p. 505-519, 2002.
 - ROSS, C. A.; AITA, C.; CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Utilização de lodo de esgoto como fertilizante: efeito imediato no milheto e residual na associação de aveia + ervilhaca. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Santa Maria, 1990.
 - SARAIVA O. F.; CARVALHO, M. M. Adubação nitrogenada e fosfatada para o estabelecimento de capim-elefante em latossolo vermelho-amarelo, textura argilosa. *Rev. Bras. Ci. Solo*. Campinas, v. 15, p. 201-205, 1991.
 - SELIVANOVSKAYA, S.Y.; LATYPOVA, V.Z.; ARTAMONOVA, L.A. Use of sewage sludge compost as the restoration agent on the degraded soil of Tatarstan. *Journal of Environmental Science and Health – Part A*, v. 38, n. 8, p. 1549-1556, 2003.
 - SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A. & MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: Nutrientes, metais pesados e produtividade. *Pesq. Agropec. Bras.*, Ed. 13, p. 1- 8, 1998.
 - SILVA, A.C.; TORRADO, P.V.; JÚNIOR, J.S.A. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. *R. Un. Alfenas*, vol. 5, p. 21-26, 1999.
 - SOUTH CAROLINA DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENT CONTROL. Procurement audit and certification. January, 1996.
 - USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Title 40 CFR – Part 503. Final rules: standards for the use or disposal of sewage sludge. *Federal Register*, Ed. 58: p. 9387-9415, 1993.
 - WERNER, J. C. Adubação de pastagens. 2º Imp. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 49 p., 1986.

CAPÍTULO 3

ARTIGO: Avaliação da produtividade e características bromatológicas do capim- elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone – plantado sob a aplicação de biossólido e fertilização química

RESUMO: O biossólido, lodo desidratado oriundo de Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), vem sendo muito utilizado como fertilizante agrícola por possuir em sua composição teores de matéria orgânica e nutrientes elevados, se tornando uma alternativa para fertilização de forrageiras. Dentre elas se destaca o capim-elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone), de fácil adaptação e implantação e de boa produtividade, utilizada para alimentação animal e como biomassa para fins energéticos. O objetivo deste trabalho foi analisar e comparar os parâmetros de produtividade e bromatológicos do capim-elefante através de quatro aplicações crescentes de biossólido, uma de fertilizante químico e a parcela testemunha, com duas repetições cada, avaliando a possibilidade do uso do capim como biomassa para possível uso energético e alimentação animal. Para isto, foi feito um experimento em campo utilizando o delineamento em blocos casualizados com três blocos, onde os tratamentos consistiram em: Sem Adubação, Adubação Convencional, 1 x, 2 x, 4 x e 8 x Recomendação do CONAMA, sob irrigação por gotejamento utilizando gotejadores de 1,5 L/h. Houve efeito significativo pelo teste de Tukey ($p < 0,01$) para as variáveis produtividade total no primeiro corte e fibra em detergente ácido no segundo corte e ($p < 0,05$) para as variáveis nitrogênio total e proteína total no primeiro corte. O capim-elefante apresentou produtividades médias semelhantes no tratamento “biossólido 1x” – dosagem de acordo com a Resolução Conama 375/06 – em comparação as médias alcançadas no tratamento com fertilização química e características físicas e bromatológicas que conferem potencial uso tanto para alimentação animal quanto para uso energético. Para as dosagens superiores de biossólido a calculada pela Resolução Conama 375/06 (“biossólido 2x”, “biossólido 4x” e “biossólido 8x”), novos estudos devem ser realizados, pois possíveis contaminações por metais pesados, microrganismos patogênicos e nitrogênio podem ocorrer.

Palavras chave: Lodo tratado, adubos químicos, planta forrageira, produtividade, alimentação animal, energia.

ABSTRACT: Biosolids, dehydrated sludge from Effluent Treatment Stations (ETS), has been widely used as an agricultural fertilizer because it has organic matter and high nutrient contents, becoming an alternative for forage fertilization. Among them, elephantgrass (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone), of easy adaptation and implantation and of good productivity, used for animal feeding and as biomass for energy purposes, are highlighted. The objective of this work was to analyze and compare the productivity and bromatological parameters of elephant grass through four growing applications of biosolid, one chemical fertilizer and the control plot, with two replicates each, evaluating the possibility of using grass as biomass for Possible energy use and animal feed. For this, a field experiment was carried out using a randomized block design with three blocks, where the treatments consisted of: No Composting, Conventional Fertilization, 1 x, 2 x, 4 x and 8 x CONAMA Recommendation, under drip irrigation using Drippers of 1,5 L / h. There was a significant effect of the Tukey test ($p < 0.01$) for the variables total productivity in the first cut and acid detergent fiber in the second cut and ($p < 0.05$) for the variables total nitrogen and total protein in the first cut. Elephant grass showed similar average yields in the "1x biosolids" treatment - dosage according to Conama Resolution 375/06 - compared to the means reached in the treatment with chemical fertilization and physical and bromatological characteristics that confer potential use for both animal feeding and For energy use. For the higher dosages of biosolids calculated by Conama Resolution 375/06 ("2x biosolids", "4x biosolids" and "8x biosolids"), further studies should be carried out as possible contaminations by heavy metals, pathogenic microorganisms and nitrogen can occur .

Keywords: treated sludge, chemical fertilizers, forage plant, productivity, animal feed, energy.

3.1. INTRODUÇÃO

Alguns lodos oriundos de estações de tratamento de efluentes possuem em sua composição boas quantidades de nutrientes e matéria orgânica, e devido a estas características são comumente denominados de biossólido. Por possuírem esta capacidade de disponibilização de matéria orgânica, nitrogênio e outros nutrientes, o biossólido pode ser uma boa alternativa para fertilização de solos para produção agrícola micronutrientes (POLGLASE; MYERS, 1996; BERTON *et al.*, 1997; SILVA *et al.*, 2002).

Assim, o biossólido se torna uma grande alternativa de fertilização para culturas agrícolas, dentre elas as gramíneas forrageiras. O capim-elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone – se destaca, pois segundo Vitor (2006) esta é uma espécie tropical que vem sendo muito utilizada como componente de alimentação para produção de carne e leite, sendo uma forrageira que está presente em todas as regiões do país, de fácil adaptação, boa produtividade e facilidade de implantação (MAGALHÃES *et al.*, 2009).

Além do uso para alimentação animal, o capim-elefante vem sendo muito utilizado como biomassa para fins energéticos. Essa forrageira é uma alternativa promissora para produção energética, haja vista o seu grande potencial em produção de biomassa (DERESZ *et al.*, 2006). Segundo Samson *et al.* (2005) e Morais *et al.* (2011), o capim-elefante é uma das principais espécies forrageiras utilizadas para este fim, devido a sua alta capacidade de produção, baixos requerimentos de insumos em seu processo produtivo, além de ter uma boa qualidade de biomassa.

O uso de adubos nitrogenados tem sido um dos fatores limitantes para a produção e melhoria do desempenho econômico no plantio de forrageiras (VITOR, 2006). Jarvis (1998) relata que quando uma planta cresce em um ambiente que não possua fatores limitantes (fatores climáticos ou de fertilidade), a resposta à aplicação de fertilizantes nitrogenados é potencializada. O uso de adubos nitrogenados exerce efeitos positivos tanto na produção da forragem quanto em seu valor nutricional (ANDRADE *et al.*, 2003).

Nabinger e Medeiros (1995) relatam que o nitrogênio disponibilizado é que determina o crescimento e desenvolvimento da planta, traduzindo em uma maior rapidez de formação de gemas axilares e, por conseguinte, o perfilhamento das respectivas gemas, até que a área foliar chegue a um determinado valor crítico,

alterando a quantidade de luz que chega às gemas tardias. Magalhães *et al.* (2009) relatam que muitas vezes o teor de nitrogênio é o fator limitante para manutenção e produtividade dessa forrageira, influenciando diretamente na deficiência ou enriquecimento da proteína bruta (P/B) constituinte do capim, sendo esta proteína de suma importância para a boa nutrição dos ruminantes. Por ser rico em nutrientes, o biofóssido pode atuar na substituição dos fertilizantes químicos, sendo uma fonte de nitrogênio, fósforo e micronutrientes (MELO *et al.*, 1994).

Assim, o objetivo do trabalho foi analisar e comparar os parâmetros de produtividade e os parâmetros bromatológicos do capim–elefante sob aplicação de doses crescentes de biofóssido e fertilizante químico, avaliando a possibilidade do uso do capim como biomassa para possível uso energético e alimentação animal.

3.2. METODOLOGIA

A metodologia foi baseada no que foi descrito na seção de metodologia do capítulo 2, com exceção da colheita e do processamento das amostras, descrito na seção a seguir.

3.2.1. Colheita e processamento das amostras

As amostras de capim-elefante foram coletadas após 4 meses de plantio no primeiro corte e após 8 meses com o segundo corte. O capim foi cortado manualmente, e a massa verde pesada parcela por parcela. Para o parâmetro altura de planta, foram selecionadas aleatoriamente três plantas da linha do meio de cada parcela e os resultados plotados como uma média das três alturas medidas em cada parcela. Já a relação talo/folha foi feita da seguinte forma: foi pesado a massa verde da linha do meio de cada parcela. Após pesagem, retiraram-se todas as folhas dos colmos e esses foram pesados. Assim, a relação foi calculada da seguinte forma:

PM = Peso da massa verde da linha do meio de cada parcela

PC = Peso dos colmos sem as folhas

PM – PC = Peso das folhas

$$\text{Relação Talo/Folha} = \text{PC} / (\text{PM} - \text{PC}) \quad (1)$$

Para as análises bromatológicas foram coletadas 20 plantas aleatoriamente na linha do meio de cada parcela formando-se uma amostra composta por parcela. Segundo Primo *et al.* (2013), no experimento realizado em Sobral/CE, 16 plantas de capim-elefante foram suficientes para análise de macronutrientes com um erro aceitável de 10%. As amostras foram coletadas e enviadas diretamente ao laboratório responsável pelas análises, que foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Bezerra Neto (2004).

3.2.2. Análise estatística

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados com 6 tratamentos: parcela testemunha (onde foi apenas irrigado, sem utilização de nenhum fertilizante), fertilização química e 1x, 2x, 4x e 8x a dosagem calculada segundo o Anexo 3 da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Foram delineados 3 blocos com os 6 tratamentos citados anteriormente, totalizando 18 parcelas experimentais.

Os dados coletados foram analisados mediante a análise de variância (ANAVA) através do teste F, utilizando o teste de Tukey para comparar as médias, ao nível de significância de 1 e 5%.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 3.1, observa-se que não houve efeito significativo dos tratamentos na maioria das variáveis analisadas, havendo significância ($p < 0,01$) para a variável produção total (PT1), no primeiro corte. O tratamento biossólido 8x diferenciou-se dos outros tratamentos ($p < 0,01$), assim como o tratamento biossólido 4x. Os tratamentos biossólido 1 e 2x apresentaram resultados estatisticamente iguais, diferenciando ($p < 0,01$) dos tratamentos testemunha e fertilização química, que também apresentaram resultados estatisticamente iguais. Analisando as médias, percebe-se uma tendência de crescimento da produtividade com o acréscimo de lodo no solo. A aplicação do biossólido 1x, dosagem segundo Resolução Conama 375 (BRASIL, 2006), apresentou produtividade média superior a alcançada utilizando a fertilização química recomendada e a parcela testemunha. Pereira Jr. *et al.* (1997) e Silva *et al.* (2000) concluíram, em 3 anos de experimento com aplicação de lodo de esgoto para a cultura de milho, que houve uma produtividade maior se comparado com a adubação química comercial e a parcela testemunha.

Apesar de não ter havido efeito significativo na análise estatística para a produtividade total no segundo corte (PT2), é importante salientar a diferença nas produtividades entre os tratamentos nos 2 cortes. Esperava-se que a produtividade no segundo corte obtivesse a mesma tendência alcançada na produtividade do primeiro corte, o que não ocorreu. O que se observou durante o experimento é que a cidade de Pedras de Fogo/PB teve um maior índice pluviométrico durante o período do experimento (12/2015 a 07/2016) durante o mês de Abril, chegando a 280,7 mm acumulados durante o mês (AESAs, 2016), o que coincidiu com o primeiro corte do capim-elefante realizado na primeira semana de Abril. O excesso de chuva pode ter ocasionado uma lixiviação de materiais de um parcela para outro, observado a partir de caminhos de escoamento de água formados próximo as parcelas, transferindo assim nutrientes remanescentes de uma parcela para o outro, o que pode ser a causa da diferença de produção média dos tratamentos entre os cortes.

Tabela 3.1 Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Altura da planta no primeiro (AP1) e segundo ciclo (AP2), relação Talo/Folha no primeiro (T/F_1) e segundo ciclo (T/F_2), produção total no primeiro (PT1) e segundo ciclo (PT2) e número de colmos no primeiro (NC1) e segundo ciclo (NC2) do capim-elefante utilizando lodo tratado.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados médios					
		AP1	T/F_1	PT1	AP2	T/F_2	PT2
Bloco	2	0,495 ^{ns}	1,03 [*]	46,78 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,38 ^{**}	100,73 ^{ns}
Tratamentos	5	0,531 ^{ns}	0,27 ^{ns}	463,41 ^{**}	0,06 ^{ns}	0,28 ^{ns}	102,42 ^{ns}
Resíduo	10	0,299	0,23	38,88	0,06	0,17	84,77
Total	17						
CV (%)		21,31	24,47	19,61	12,94	21,46	30,60
Tratamento	Médias						
	APT1 (m) (kg/parcela)	T/F_1	PT1 (kg/parcela)	AP2 (m)	T/F_2	PT2	
Testemunha	2,03a	1,63a	23,08a	1,89a	1,73a	36,63a	
Fertilização química	2,51a	1,99a	17,86a	2,02a	1,67a	31,37a	
Biossólido 1x	3,07a	1,59a	25,99ab	1,84a	1,66a	19,92a	
Biossólido 2x	2,14a	2,07a	30,23ab	2,22a	2,06a	33,40a	
Biossólido 4x	2,93a	2,32a	42,95bc	1,86a	2,39a	32,00a	
Biossólido 8x	2,73a	2,19a	50,72c	1,94a	2,15a	27,23a	

** e * são significativos à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias com letras iguais não se diferenciam entre si.

ns = não significativo

Quanto à relação talo/folha, não houve significância para os tratamentos, em ambos os cortes. Houve uma tendência de crescimento dessa relação a medida que foram aumentadas as dosagens de biossólido. Esse parâmetro é muito utilizado para a avaliação do uso do capim para fins energéticos. Moraes *et al.* (2008) testaram diversos genótipos de capim-elefante e encontraram valores de relação talo/folha médios de 1,5 para 5 genótipos diferentes. Todos os valores médios desse parâmetros, em ambos os cortes, foram superiores ao encontrado pelo referido autor.

Para altura de planta, não houve significância entre os tratamentos, para os resultados encontrados no primeiro e segundo corte. Os valores encontrados após 4

meses de plantio (um dia antes do primeiro corte) estão bem parecidos com os encontrados por Deschamps (1999) em seu experimento. O mesmo autor avaliou em seu experimento a altura de planta em vários dias de crescimento, alcançando valores de 2,89, 2,64 e 2,67 m para variedades diferentes de capim-elefante após 126 dias de crescimento do capim. Santos *et al.* (2001), encontraram uma média de 1,63 m de altura de um cultivar de capim-elefante durante o experimento, porém utilizando cortes de uniformização em 5 alturas diferentes e diferenciando o período de corte de 2 a 3 meses de acordo com época chuvosa no brejo paraibano.

Quanto às análises bromatológicas das plantas, observa-se a partir da análise estatística de dados para o primeiro corte na tabela 3.2 e o segundo corte na tabela 3.3, que só houve significância para quatro parâmetros no primeiro corte e segundo corte: de ($p < 0,05$) para as variáveis nitrogênio total (NT1), proteína total (p1) e matéria seca (MS2) e de ($p < 0,01$) para fibra em detergente ácido (FDA1).

De acordo com os resultados das médias no primeiro e segundo corte, observa-se que os parâmetros NT1, NT2, p1 e p2 houve uma tendência de crescimento nos tratamentos com o biofósforo em relação aos tratamentos testemunha e fertilização química. Esses resultados corroboram ao que foi encontrado por outros autores como Magalhães *et al.* (2009) que encontraram em seu experimento para três cultivares de capim-elefante os maiores teores de proteínas, onde foram realizadas as maiores dosagens de adubos nitrogenados. Estes resultados são similares a experimentos de outros autores, que concluíram para diferentes cultivares de capim-elefante, que o teor de proteína está diretamente relacionado com a quantidade de adubação nitrogenada utilizada (RIBEIRO, 1995; ANDRADE *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2004; MISTURA *et al.*, 2004).

Apesar de alguns tratamentos com o biofósforo terem apresentado tendência de resultados médios abaixo dos tratamentos com fertilização química e até mesmo a parcela testemunha, as médias encontradas para esse parâmetro em todos os tratamentos foram satisfatórias, já que tanto para o uso energético como biomassa ou para fins de alimentação animal, sugere-se teores de fibras acima de 30% (KAUTER *et al.* 2006; NUSSIO *et al.*, 1998).

Tabela 3.2. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Matéria Seca (MS1), Matéria Mineral (MM1), Nitrogênio Total (NT1), Proteína Total (p1), Fibra Detergente ácido (FDA1), Fibra Detergente Neutro (FDN1), no primeiro corte do capim-elefante.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrados médios					
		MS1	MM1	NT1	p1	FDA1	FDN1
Bloco	2	0,53 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,99 ^{ns}	9,28*	14,92 ^{ns}
Tratamentos	5	0,13 ^{ns}	2,04 ^{ns}	0,27*	10,56*	20,02**	18,57 ^{ns}
Resíduo	10	0,87	1,25	0,05	2,05	1,69	4,53
Total	17						
CV (%)		0,98	10,56	16,04	16,17	3,46	3,03
Tratamento	Médias						
	MS1 (%)	MM1 (%)	NT1 (%)	p1 (%)	FDA1 (%)	FDN1 (%)	
Testemunha	94,98a	11,51a	1,14a	7,15a	36,25a	68,73a	
Fertilização química	95,41a	11,47a	1,17a	7,31a	38,30ab	70,55a	
Biossólido 1x	95,43a	10,87a	1,55ab	9,69ab	34,98a	68,04a	
Biossólido 2x	95,01a	9,97a	1,22a	7,64a	40,95b	72,60a	
Biossólido 4x	95,42a	9,91a	1,49ab	9,29ab	40,19b	73,45a	
Biossólido 8x	95,24a	9,67a	1,92b	12,01b	35,10a	67,44a	

** e * são significativos à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias com letras iguais não se diferenciam entre si.

ns = não significativo

As médias encontradas para a Fibra em Detergente Neutro (FDN1 e FDN 2), conforme podem ser observadas nas tabelas 3.2 e 3.3, foram superiores as encontradas por Andrade *et al.* (2003) em seu experimento, que foram de 65,3% e 58,9% no período chuvoso e seco, respectivamente. No segundo corte, houve uma tendência de crescimento nos valores médios encontrados para esse parâmetro para os tratamentos com o biossólido em detrimento com os tratamentos com fertilização química. No primeiro corte, alguns tratamentos com o biossólido (“biossólido 1x” e “biossólido 8x”) obtiveram resultados médios inferiores ao tratamento com fertilização química, porém são resultados médios com teores elevados de FDN para gramíneas em climas tropicais de cultivo (ANDRADE *et al.*, 2003)

Tabela 3.3. Resumo da Análise de Variância (ANAVA) das variáveis: Matéria Seca (MS2), Matéria Mineral (MM2), Nitrogênio Total (NT2), Proteína Total (p2), Fibra Detergente ácido (FDA2), Fibra Detergente Neutro (FDN2), no segundo corte do capim-elefante.

Fonte de Variação	G.L.	MS2	MM2	NT2	p2	FDA2	FDN2
		Quadrados médios					
Bloco	2	1,84*	3,45 ^{ns}	0,05 ^{ns}	2,13 ^{ns}	2,22 ^{ns}	5,34 ^{ns}
Tratamentos	5	0,22 ^{ns}	3,97 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,64 ^{ns}	2,93 ^{ns}	12,13 ^{ns}
Resíduo	10	0,43	2,30	0,04	1,49	4,97	14,19
Total	17						
CV (%)		0,69	13,62	18,13	17,94	5,38	5,02
Tratamento		Médias					
		MS2 (%)	MM2 (%)	NT2 (%)	p2 (%)	FDA2 (%)	FDN2 (%)
Testemunha		95,47a	8,83a	0,99a	6,22a	41,06a	74,20a
Fertilização química		95,22a	11,51a	0,99a	6,19a	43,00a	71,75a
Biossólido 1x		94,88a	11,89a	1,05a	6,54a	41,75a	75,22a
Biossólido 2x		95,19a	11,25a	1,14a	7,12a	40,06a	76,91a
Biossólido 4x		95,56a	11,67a	1,30a	8,14a	41,89a	75,12a
Biossólido 8x		95,56a	11,70a	1,05a	6,57a	41,07a	77,31a

** e * são significativos à 1 e 5% de probabilidade, respectivamente. Médias com letras iguais não se diferenciam entre si.

ns = não significativo

Apesar de não ter havido significância para a Matéria Mineral (MM), as médias alcançadas para esse parâmetro, foram satisfatória. Esse parâmetro é muito utilizado para fins energéticos, e quanto menor a produção de matéria mineral, melhor o rendimento da biomassa para queima. Klautau (2008) afirma que o teor de cinzas em altas concentrações pode diminuir o poder calorífico da biomassa, causar perdas de energia e afetar a transferência de calor. Apesar de estar com valores médios acima de 7%, que Vale *et al.* (2011) afirmam que pode comprometer o processo de combustão, os valores encontrados em todos os tratamentos no primeiro corte estão abaixo dos encontrados por Demirbas (2004) para o bagaço de cana e casca de arroz, 11,3% e 22,3% respectivamente, biomassas muito utilizadas para produção energética, com exceção do tratamento com a fertilização química.

Os resultados médios de matéria seca foram superiores a 94% e com valores muito próximos em todos os tratamentos nos 2 cortes, conforme tabelas 3.2 e 3.3. Em alguns trabalhos, como o realizado por Nascimento *et al.* (2004), o bio sólido apresentou uma boa resposta de produção de matéria seca, porém abaixo da realizada por fertilização mineral completa, conforme aconteceu no experimento, tanto no primeiro quanto no segundo corte. Os mesmos autores comentam que se pode aumentar a produção combinando o bio sólido com algum Fertilizante químico, conforme realizado por Rangel *et al.* (2002), que suplementaram o bio sólido com cloreto de potássio e Anjos e Matiazzo (2000) que adicionaram fertilizantes minerais com base em nitrogênio e fósforo, pois foi constatado a deficiência desses dois macronutrientes no bio sólido.

Os teores de fibras seguiram uma tendência de aumento de um corte para o outro, enquanto os teores de NT e P seguem uma tendência contrária, ou seja, de diminuição de teores. Durante o crescimento vegetativo de uma planta forrageira, a medida que a planta vai envelhecendo os seus componentes digestíveis tendem a diminuir enquanto o teor de fibras aumentarem. Cabral *et al.* (2006) observaram esse contraste em seu experimento, avaliando os teores de proteína bruta e de FDN de um genótipo de capim-elefante em diferentes idades de corte, que tanto no período chuvoso quanto no período de seca os teores de proteína bruta diminuem e os de fibras (FDN) aumentam de acordo com o crescimento vegetativo da planta. Resultados parecidos foram encontrados nas avaliações do trabalho de Martins-Costa *et al.* (2008).

Todos os tratamentos produziram plantas aptas para uso energético e alimentação animal, por apresentarem valores próximos ao que foi encontrado em outros trabalhos para os parâmetros de produtividade e bromatológicos envolvidos no estudo para esses usos. A produtividade do bio sólido no tratamento com a dosagem de acordo com o cálculo da Resolução Conama 375 (BRASIL, 2006) em média foi aproximadamente 6,8% inferior à produtividade do tratamento com a fertilização química, alcançando no primeiro corte média superior à média dos tratamentos com fertilização química. Apesar dos outros tratamentos com o bio sólido alcançarem produtividades superiores, novos estudos devem ser realizados para avaliar possíveis contaminações às plantas ou ao solo, pois são dosagens superiores ao que preconiza a Resolução Conama 375 (BRASIL, 2006).

3.4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados sugerem que o capim-elefante em todos os tratamentos utilizados no estudo pode ser usado tanto para fins energéticos quanto para alimentação animal. O bio sólido conseguir atender as demandas nutricionais das plantas, incrementando biomassa vegetal apta a ser utilizada na alimentação animal, bem como para produção energética

Os teores de fibra, nitrogênio total e proteína sugerem que a suplementação em termos de fertilização foram boas em todos os tratamentos, e os resultados representam que o capim pode ser utilizado para fins energéticos e de alimentação animal, de acordo com os resultados da literatura estudada.

Apesar dos ótimos resultados, para os tratamentos “bio sólido 2x”, “bio sólido 4x” e “bio sólido 8x”, dosagens essas superiores em 2, 4 e 8 vezes a calculada pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006), estudos complementares são necessários, pois existe a possibilidade de haver contaminação do solo e também da planta devido às altas dosagens, principalmente no que concerne a metais pesados, coliformes e nitrogênio, apesar dos teores iniciais no bio sólido serem baixos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Disponível em <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/medicaoPluviometrica.do?metodo=chuvasDiariasMapa>>, Acesso em: 10 de Jan. de 2017.
- ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. D.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). *Ciência e Agrotecnologia*, Ed. 27, p. 1643-1651, 2003.
- ANJOS, A. R. M.; MATIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com bio sólidos. *Sci. Agric.*, Ed. 57, p. 769-776, 2000.
- BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A.; BATAGLIA, O.C. Peletização de lodo de esgoto e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu, Ni, pelo milho em três latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Ed. 21, p. 685-691, 1997.
- BEZERRA NETO, E.; BARETO, L.P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. *Imprensa Universitária – UFRPE*. Recife, 2004.
- BRASIL, Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2016.
- CABRAL, L.D.; BHERINHG, M.; ABREU, J.G.; REVERDITO, R.; PEREIRA, G.A.C.; KAISER, J.; MIRANDA, L.; ZERVOUDAKIS, T.; SOUZA, A.L. Teores de proteína bruta e FDN do capim-elefante roxo obtido em diferentes idades de corte na baixada cuiabana. *ZOOTEC – Centro de Convenções de Pernambuco*, 2006.
- COSTA, N. L.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A.; PAULINO, V. T.; PEREIRA, R. G. A. Adubação nitrogenada em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Cameroon) puro ou consorciado com leguminosas forrageiras tropicais. In: *REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 41, 2004, Campo Grande. *Anais....* Campo Grande: SBZ, 2004. p. 1-5.

- DEMIRBAS, A. Combustion Characteristics of Different Biomass Fuel. *Progress in energy and combustion science*. Turquia: Elsevier, v.30, p. 219-230, 2004.
- DERESZ, F.; PAIM-COSTA, M.L.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; ABREU, J.B.R. Composição química, digestibilidade e disponibilidade de capim-elefante cv. Napier manejado sob pastejo rotativo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, p. 863-869, 2006.
- DESCHAMPS, F.C. Implicações do Período de Crescimento na composição Química de Cultivares de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 28, n. 6, p. 1358-1369, 1999.
- JARVIS, S. C. Nitrogen management and sustainability. In: CHERNEY, J. H.; CHERNEY, D.J.R. (Ed.) *Grass for dairy cattle New Yorker: CAB Publ.*, cap. 7, p. 161-192, 1998.
- KAUTER, D.; LEWANDOVSKI, I.; CLAUPEINA, W. Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use. A review of the physiological basis and management influences. *Biomass and Bioenergy*, Ed. 6, v. 24, p. 411-427, 2006.
- KLAUTAU, J.V.P. Análise Experimental de uma Forno a Lenha de Fluxo Cocorrente para Secagem de Grãos. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, B. H. N.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. C.; COSTA, N. L.; PINTO, M. S. C.; FILHO, W. J. E. M. Influência da adubação nitrogenada e idade de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante. *REDVET: Revista eletrônica de veterinária*, vol. 10, nº 4, 13 p., 2009.
- MARTINS-COSTA, R.H.A.; CABRAL, L.S.; BHERING, M.; ABREU, J.G.; ZERVOUDAKIS, J.T.; RODRIGUES, R.C.; e OLIVEIRA, I.S. Valor nutritivo do capim-elefante obtido em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 9, n. 3, p. 397-406, 2008.
- 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 da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Ed 18, p. 449-455, 1994.

- MISTURA, C.; FONSECA, D. M. da; FAGUNDES, J. L.; MOREIRA, L. de M.; MORAIS, R. V. de; NASCIMENTO JUNIOR, D. do; VITOR, C. M. T.; RIBEIRO JUNIOR, J. I. Avaliação da composição química do capim-elefante adubado com nitrogênio. In: *REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: SBZ, 2004.
- MORAIS, R.F. Potencial Produtivo e Eficiência de Fixação Biológica de Nitrogênio de Cinco Genótipos de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para Uso como Fonte Alternativa de Energia. 2008. Tese de Doutorado, Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- MORAIS, R.F.; QUESADA, D.M.; REIS, V.M. Contribution of biological nitrogen fixation to Elephant Grass (*Penniseteum purpureum* schum.). *Plant and Soil*, v. 349, p. 1-12, 2011.
- NABINGER, C.; MEDEIROS, R. B. Produção de sementes de *Panicum maximum* Jacq. Simpósio Sobre o Manejo de Pastagens, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: FEALQ, p. 59-128, 1995.
- NASCIMENTO C.W.A.; BARROS, D.A.S.; E.E.C. MELO; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Ed. 28, p. 385-392, 2004.
- NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P.; PEDREIRA, C. G. S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 1998, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz , p. 203- 42, 1998.
- PEREIRA JR, A. B.; VALIM, M. C. A.; SOUZA, J. L.; GONÇALVES, R. F. Utilização de lodo gerado em processo anaeróbio tipo tanque Imhoff como insumo agrícola para a cultura do milho (*Zea mays* L.). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. Foz do Iguaçu. *Anais*. Foz do Iguaçu, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 398p., 1997.
- POLGLASE, P.J.; MYERS, B.J. Tree plantations for recycling effluent and biossolids in Australia. In: ELDRIDGE, K.G., ed. *Environmental management : the role of eucalypts and other fast cropping species: procedings*. Collingwood, CSIRso, p, 100-109, 1996.
- PRIMO, A.C.A.; MELO, M.D.; MODESTO, V.C.; POMPEU, R.C.F.F.; NATALE, W.; SOUZA, H.A. Tamanho amostral foliar para avaliação do estado nutricional de

macronutrientes e índice SPAD de capim-elefante irrigado. In: *CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL*. Fortaleza, 3 p., 2013

- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C. W. Acúmulo de Mn, Zn, Cu, Ni e Pb em Latossolo cultivado com milho sob efeito de fontes e doses de lodo de esgoto. In: *FERTBIO 3*, Rio de Janeiro, 2002. *Resumos*. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM.
- RIBEIRO, K. G. Rendimento forrageiro e valor nutritivo do capim-elefante “Anão”, sob cinco doses de nitrogênio ao atingir 80 e 120 cm de altura (1995). 60p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, S. The potencial of c4 perennial grasses for developing a global. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 24, p. 1-35, 2005.
- SANTOS, E.A.; SILVA, D.S.; FILHO, J.L.Q. Perfilamento e Algumas Características Morfológicas do Capim-Elefante cv. Roxo sob Quatro Alturas de Corte em Duas Épocas do Ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, p. 24-30, 2001.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido: A experiência de Brasília. In: *IMPACTO AMBIENTAL DO USO DO LODO DE ESGOTO*. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, p.143-151, 2002.
- VALE, A.T.; MENDES, R.M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V.F.S. Potencial Energético da Biomassa e Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*). *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2011.
- VITOR, C. M. T. Adubação nitrogenada e lâmina de água no crescimento do capim-elefante. 2006. 90 p. Tese (Doutorado em zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

CAPÍTULO 4

ARTIGO: Avaliação do ciclo de vida da fertilização do capim-elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone – utilizando fertilização química e biossólido

Resumo: Com a instituição da Lei 12305/10, Política Nacional de Resíduos Sólidos, todo e qualquer resíduo sólido passível de aproveitamento não poderia mais ser disposto em aterros sanitários. Esse é o caso do lodo produzido em Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Por possuir em sua composição componentes que lhe conferem características fertilizantes, esse tipo de lodo é denominado biossólido e possui grande capacidade de substituir a fertilização química comercial. Com o aproveitamento do biossólido na agricultura, se atende à legislação, sobrecarregando menos os aterros, e se aproveita um resíduo normalmente desprezado. Neste trabalho, a ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) foi utilizada para comparação das emissões geradas pelo uso do biossólido e dos fertilizantes químicos recomendados pela literatura para produção de capim-elefante – *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. A metodologia de avaliação de impacto utilizada foi o IPCC 2013 GWP 100a, baseado nos dados publicados pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) em 2013. O método expressa as emissões geradas de gases de efeito estufa em kg de CO₂ equivalente, num horizonte temporal de 100 anos. As dosagens utilizadas de biossólido foram baseadas nos cálculos contidos na Resolução Conama 375. Foram utilizados a ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio no mix de fertilização química. Os resultados demonstraram a viabilidade da utilização do biossólido, já que o seu uso com a dosagem calculada de acordo com a Resolução Conama 375 emitiu aproximadamente 17,7% menos gases de efeito estufa que o uso do mix de fertilização química e a produtividade foi semelhante ao tratamento com fertilização química. O transporte do biossólido até a área experimental foi o maior contribuinte para as emissões do uso do biossólido. Já a síntese da ureia foi o maior contribuidor para as emissões do uso com o fertilizante químico comercial, sendo responsável por 73,6% do total emitido.

Palavras chave: Biossólido, fertilização química, capim-elefante, avaliação do ciclo de vida, impactos ambientais.

Abstract: With the introduction of Law 12305/10, National Solid Waste Policy, any solid waste that could be used could no longer be disposed of in landfills. This is the case of sludge produced at Effluent Treatment Plant. Because it has components that give it characteristics of fertilizers, it is called biosolids and has great capacity to substitute chemical fertilization. With the use of sludge (biosolids) in agriculture, compliance with legislation, overburden landfills less and take advantage of a waste normally despised. In this work, the Life Cycle Assessment (LCA) tool was used to compare the emissions generated by the use of biosolids and chemical fertilization recommended by the literature for the production of elephant grass - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. The methodology of impact assessment used was IPCC 2013 GWP 100a, based on data published by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in 2013. The method expresses the emissions of greenhouse gases generated in kg of CO₂ equivalent over a time horizon Of 100 years. The dosages used of biosolids were based on the calculations contained in Conama Resolution 375. Urea, simple superphosphate and potassium chloride were used in the chemical fertilization mix. The results demonstrated the feasibility of using biosolids, since their use with the dosage calculated according to Conama Resolution 375 emitted approximately 17,7% less greenhouse gases than the use of the chemical fertilization mix and produced similar amounts to the Treatment with chemical fertilization. The transport of biosolids to the experimental area was the major contributor to the emissions from the use of biosolids. Urea synthesis was the largest contributor to the use of commercial chemical fertilizer, with 73.6% of the total emitted.

Key words: Biosolids, chemical fertilization, elephant grass, life cycle assessment, environmental impacts.

4.1. INTRODUÇÃO

Com a promulgação da lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), a partir de agosto de 2014, todo resíduo sólido passível de reaproveitamento não pode mais ser disposto em aterros. Isso impacta diretamente no descarte e disposição final dos lodos oriundos de Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), que normalmente eram dispostos em aterros. O processamento e a disposição final desse lodo podem representar um custo operacional de até 60% em uma ETE (VON SPERLING *et al.*, 2001). Sua disposição final é uma preocupação mundial devido ao crescente aumento nos volumes produzidos (LOPES *et al.*, 2005).

Alternativas de reaproveitamento do lodo são necessárias para atender a legislação e reduzir os custos operacionais em uma ETE. Dentre as várias alternativas existentes, a disposição final no solo como fertilizante se destaca, pois é uma alternativa de baixo investimento e custo. Algumas características como a presença de componentes orgânicos e minerais em sua composição, confere ao lodo potencial para ser utilizado como fertilizante (PEDROZA *et al.*, 2011). Alguns estudos indicam que o lodo é rico em matéria orgânica, e atua na melhora da estrutura do solo e quando tratado e processado, é denominado biossólido, pois adquire características fertilizantes que permitem sua utilização racional e ambientalmente correta (BARBOSA, 2006). O lodo de esgoto tem composições variáveis de acordo com a sua origem e processo de tratamento, e tem sido muito usado como fertilizante por conter elementos essenciais às plantas como nitrogênio, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre e alguns micronutrientes (MELO *et al.*, 1994; POLGLASE; MYERS, 1996; BERTON *et al.*, 1997; SILVA *et al.*, 2002).

Com o crescimento constante da população mundial, a demanda e o consumo de bens como alimentos e fibras aumentam e conseqüentemente o uso de insumos agrícolas para a produção desses bens segue essa mesma tendência. Dentre esses insumos agrícolas, o fertilizante é um dos mais consumidos. O consumo energético para sua síntese é muito elevado. Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2008), apenas 36% dos fertilizantes utilizados são produzidos no Brasil, ou seja, o restante é importado, o que ocasiona um consumo energético ainda maior, já que terão que ser transportados do país de origem até o Brasil.

Diante do exposto, a utilização do biossólido como potencial fertilizante diminuiria a sobrecarga sobre os aterros, utilizaria um resíduo pouco aproveitável e de alto potencial de uso, atenderia aos requisitos legais impostos pela lei 12.305/2010

(BRASIL, 2010), além de possivelmente diminuir o uso de fertilizantes comerciais, o que ocasionaria menores impactos ambientais inerentes a sua produção e transporte.

Devido a problemática das mudanças climáticas, oriunda principalmente da emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2007), a utilização de processos e produtos menos agressivos ao meio ambiente se torna a cada dia mais necessária. Um dos vários mecanismos utilizados para avaliar processos e produtos menos poluentes é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Esse mecanismo se baseia no uso de técnicas e métodos para análise dos impactos de processos, atividades e produtos com o objetivo de avaliar e quantificar o resultado produzido, servindo de ferramenta de apoio para se realizar comparações de produtos e processos menos impactantes ao meio ambientes (BAUMANN, 2004; ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006). O objetivo dessa ferramenta é quantificar os impactos ambientais gerados por um processo ou produto, obtendo uma visão abrangente dos danos sociais e ambientais causados, para realizar uma comparação com processos e produtos similares e se escolher a melhor opção, ou seja, a que cause o menor impacto (GUINÉE, 2001; GUINÉE, 2002).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi aplicar a metodologia da ACV para analisar e quantificar as emissões de CO₂ equivalentes geradas pelo uso do biossólido e da fertilização química para produção de capim-elefante - *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, associando os resultados das emissões à produção do capim obtida para avaliar qual método de fertilização é mais viável ambientalmente.

4.2. METODOLOGIA

A ACV é uma metodologia de avaliação de impactos ambientais de atividades, processos ou produtos que contabiliza os impactos gerados desde o processo de extração da matéria prima de um produto até a sua utilização final e descarte. A sistemática de aplicação dessa ferramenta passa basicamente por quatro fases: a definição dos objetivos que descrevem e definem a atividade, o processo ou o produto; a análise do inventário, onde se identifica e quantifica todas as entradas e saídas do sistema; a análise do impacto, que identifica e analisa todos os impactos inerentes às entradas e saídas contidas na análise do inventário; e por último a interpretação dos resultados alcançados nas outras etapas, para selecionar o melhor processo, atividade ou produto (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b).

O método de avaliação dos impactos ambientais utilizado neste trabalho foi o Global Warming Potencial (GWP) desenvolvido pelo IPCC (Painel Intergovernamental

sobre Mudanças Climáticas) (IPCC, 2013). Esse método analisa e quantifica o potencial direto de aquecimento global causado pelas emissões atmosféricas geradas, agregando os resultados em uma métrica comum que é a quantidade de CO₂ equivalente (PRÉ-CONSULTANTS, 2014a). Desta forma, o CO₂ é utilizado como parâmetro de referência, expressando o potencial de determinado produto ou serviço em gerar aquecimento global em um horizonte temporal de 100 anos (GWP 100a). O alcance deste indicador é global (PRÉ-CONSULTANTS, 2014a).

O software usado na execução e desenvolvimento da ACV foi o SimaPro® 8.0.5.13 (PRÉ-CONSULTANTS, 2014b), que inclui inúmeras bases de dados para compilação dos inventários. Para esse trabalho foram utilizadas as bases de dados Agri-footprint (2015) e Ecoinvent (2015). A Agri-footprint inclui inventários de processos de plantio e processamento de culturas, sistemas de produção e processamento de produtos de origem animal, transporte, produção de fertilizantes e materiais auxiliares para análise de impacto dentro de uma ACV (AGRI-FOOTPRINT, 2015). Já a Ecoinvent possui dados de diversos setores, como produção de energia e produtos químicos. Seu banco de dados possui mais de 10.000 dados interligados, cada um relatando um inventário de ciclo de vida nos variados níveis processo, atividade ou serviço (ECOINVENT, 2015).

O experimento para avaliação desse estudo foi realizado em uma área experimental localizada no município de Pedras de Fogo, no estado da Paraíba, Brasil. Foram consideradas as experiências de manejo local para o capim-elefante e as recomendações técnicas encontradas na literatura pesquisada, como base para o desenvolvimento da ACV. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com seis tratamentos, de acordo com a Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Esquemática utilizada no delineamento experimental.

Bloco A	Bloco B	Bloco C
Parcela testemunha	Biossólido 8x	Biossólido 2x
Fertilização química	Parcela testemunha	Biossólido 1x
Biossólido 8x	Biossólido 1x	Fertilização química
Biossólido 2x	Fertilização química	Biossólido 4x
Biossólido 1x	Biossólido 4x	Biossólido 8x
Biossólido 4x	Biossólido 2x	Parcela testemunha

Cada parcela experimental é um quadrado de 2 m de lado, totalizando 4 m² de área por parcela. Nas parcelas testemunhas não foram utilizados qualquer tipo de fertilizante agrícola, sendo apenas irrigadas. Nos lotes com dosagem de fertilizante químico comercial utilizaram-se três fertilizantes (ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio) nas seguintes proporções (kg/ha): 200, 100, 100, respectivamente. Já nas dosagens de biofósforo, para as parcelas denominadas “biofósforo 1x” a quantidade dosada foi calculada de acordo com o artigo 17 e anexo 3 da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006), resultando em uma dosagem de 10,14 ton/ha.ano em base seca. Nas demais parcelas onde foi aplicado o biofósforo (“biofósforo 2x”, “biofósforo 4x”, “biofósforo 8x”) foram dosados 2x, 4x e 8x, respectivamente, a quantidade calculada para o “biofósforo 1x”. Antes da aplicação do biofósforo, o mesmo foi estabilizado utilizando cal hidratada, na proporção de 30% de cal para o peso seco dosado, de acordo com as orientações contidas na Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

Todas as parcelas foram irrigadas por gotejamento, seguindo o modelo proposto por Hargreaves e Samani (1982). Para isso foi instalado um termômetro para temperaturas máximas e mínimas diárias na área experimental. Foram utilizados para a irrigação gotejadores de 0,7 mm de espessura, vazão nominal de 1,5 L/h, com espaçamento de 0,5 m entre os gotejadores.

Foi realizado o inventário de todas as entradas do processo de fertilização do solo, tanto para os fertilização química quanto para o biofósforo. A tabela 4.2 apresenta as entradas da esfera tecnológica para o consumo de fertilizante químico comercial. Para os fertilizantes foi considerada a dosagem em kg/ha.ano e todas as emissões de gases de efeito estufa geradas desde a obtenção da matéria prima dos materiais utilizados para sua fabricação, até o transporte final para a área experimental. Todas essas emissões foram contabilizadas a partir da base de dados do SimaPro, que tomou por base os trabalhos de Kongshaug (1998) para o uso de energia nos processos produtivos e de Davis e Haglund (1999) sobre as emissões oriundas na produção de cada fertilizante.

Para o processo de fabricação da ureia, foi considerado desde o recebimento das matérias-primas para sua fabricação (amônia e dióxido de carbono), o seu processamento, até a entrega do produto final em sacos de 25 kg. O que foi considerado no processo produtivo do superfosfato é bem similar ao da ureia: recebimento da matéria-prima (fosfato natural e ácido sulfúrico), o processamento desse material, até a entrega do produto final. Já para o cloreto de potássio foi incluído o recebimento do

cloreto de potássio em sua forma natural, seu processamento até a entrega do produto acabado. Foi contabilizado todo o consumo energético em todos os processos, assim como a construção das respectivas fábricas. O transporte da fábrica onde foram produzidos os fertilizantes até a área experimental também foi incluído na tabela 4.2.

Tabela 4.2 Inventário da fertilização utilizando os fertilizantes químicos.

Entradas da esfera tecnológica	Quantidade
Ureia	200 kg/ha.ano
Superfosfato	100 kg/ha.ano
Cloreto de potássio	100 kg/ha.ano
Transporte - Fábrica de produção da ureia (São Gonçalo do Amarante/RN – Pedras de Fogo/PB)	222 km
Transporte - Fábrica de produção do superfosfato (Recife/PE – Pedras de Fogo/PB)	89,5 km
Transporte - Fábrica de produção do cloreto de potássio (Recife/PE – Pedras de Fogo/PB)	89,5 km

Na tabela 4.3 estão representadas todas as entradas da esfera tecnológica para a fertilização do solo com o bio sólido, nos quatro tratamentos utilizados no experimento. Considerou-se as quantidades dosadas de bio sólido em cada lote, o transporte do local onde foi produzido o bio sólido até a área experimental e a dosagem de cal para estabilização do mesmo, conforme estabelecido pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

Tabela 4.3. Inventário da fertilização utilizando o bio sólido.

Entradas da esfera tecnológica	Quantidade
Bio sólido	10,14 ton/ha.ano
Bio sólido 2x	20,28 ton/ha.ano
Bio sólido 4x	40,56 ton/ha.ano
Bio sólido 8x	81,12 ton/ha.ano
Cal hidratada	300 kg/ton de bio sólido
Transporte do bio sólido até a área experimental	35 km

O processo produtivo da cal utilizada para estabilização do biossólido encontrado dentro da base de dados da Ecoinvent (2013) no SimaPro não foi representativo para esse estudo. Nessa base de dados é considerado um mix de combustíveis utilizados muito pesado (carvão, gás de coqueria, óleo diesel, dentre outros) em um dos processos, no caso a calcinação, para a produção de cal. Assim, foi realizado uma pesquisa completa do processo produtivo da cal, resultando nas referidas etapas: sua fabricação tem início na retirada da matéria-prima da mina (CaCO_3 : uso de explosivos, depois transporte), com consumo de eletricidade para as etapas de britagem e moagem, subsequentes. A calcinação adiciona calor à rocha calcária $\text{CaCO}_3 + \text{calor} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. A próxima etapa é a hidratação $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2$, culminando na produção do produto final. Para a cal utilizada no experimento foi verificado que no processo de calcinação foram utilizados cavacos de madeira como fonte energética para essa etapa de produção, assim os processos constituintes da base de dados do SimaPro foram adaptados à realidade da produção dessa cal hidratada específica utilizada no experimento (HIDRACOR, 2015).

Não foi considerado o gasto de energia elétrica para desidratação do lodo na ETE de origem do biossólido, pois é um processo que ocorreria mesmo se o lodo não fosse utilizado para fins agrícolas. A retirada de lodo em tratamento de base biológica em ETE's é de suma importância para o bom desempenho e desenvolvimento dos processos. O tratamento do excedente de lodo retirado dos sistemas biológicos em ETE's, é realizado pelas seguintes etapas (CASSINI, 2003):

1. Adensamento: redução do volume e umidade;
2. Estabilização: redução da matéria orgânica e sólidos voláteis;
3. Condicionamento: preparação para desidratação, normalmente utilizam-se produtos químicos;
4. Desidratação: redução do volume e da umidade;
5. Disposição final: destinação e disposição final do produto após desidratação.

O lodo passaria por esses tratamentos independentemente do seu uso final. Portanto, não foi considerado qualquer consumo energético nas etapas de tratamento e desidratação do biossólido.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da realização do inventário foi possível calcular as emissões de CO_2 equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq.}$) derivados dos tratamentos no experimento. Para a aplicação do

mix de fertilização química, a emissão total de CO₂-eq. foi de 165,4 kg. Do total, aproximadamente 73,6%, ou seja, 121,8 kg de CO₂-eq. emitido foi contribuição dos processos de fabricação e transporte da ureia até a fazenda experimental. O superfosfato simples contribuiu com aproximadamente 12% do total e o cloreto de potássio com 14,4%. Os resultados podem ser visualizados na tabela 4.4.

Tabela 4.4. Emissões de CO₂-eq. oriundas do uso da fertilização química comercial.

Processo	Emissões (kg CO ₂ -eq/ha.ano)
Ureia (Fabricação, Embalagem) + Transporte	118,00 + 3,8 = 121,8
Superfosfato (Fabricação, Embalagem) + Transporte	17,60 + 2,2 = 19,8
Cloreto de potássio (Fabricação, Embalagem) + Transporte	23,1 + 0,7 = 23,8
TOTAL	165,4

Abrahão *et al.* (2015), em seu estudo realizado no Nordeste da Espanha sobre a ACV do plantio de trigo na região, visualizou que 87% dos impactos totais gerados pelo sistema eram oriundos da utilização de fertilizantes e que 78% desse total era de contribuição exclusiva da ureia e os 9% restantes dos outros fertilizantes. Para a fabricação da uréia, a principal matéria prima é a amônia, e para sua extração utiliza-se muita energia, o que representa aproximadamente 96,9% do total emitido em todo o processo de fabricação e embalagem. Apesar de terem um gasto energético alto para extração das matérias primas necessárias para sua fabricação, o superfosfato simples e o cloreto de potássio têm um consumo energético bem menor que a ureia para a fabricação de ambos.

A tabela 4.5 demonstra os resultados para as emissões geradas pelo uso do bio sólido. O resultado alcançado para a dosagem calculada de acordo com a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) – “Bio sólido 1x”, foi de 135,3 kg de CO₂-eq. Para os tratamentos “bio sólido 2x”, “bio sólido 4x” e “bio sólido 8x” o resultado foi de 270,6, 541,2 e 1082,4 kg de CO₂-eq., respectivamente. Devido às dosagens de bio sólido serem maiores que as de fertilização química, o seu transporte até área experimental demandou um gasto energético maior. Assim, esse item contabilizado no inventário do uso de bio sólido contribuiu com aproximadamente 79,8% do total de emissões geradas em todos os tratamentos onde foram dosados bio sólido. Segundo Trannin *et al.* (2005), devido ao seu alto teor de umidade, a quantidade dosada do bio sólido no solo

necessária para equivaler aos adubos químicos comerciais é muito mais elevada, além disso o restante das emissões geradas advém do uso da cal para sua estabilização, principalmente do processo de calcinação da mesma.

Tabela 4.5. Emissões de CO₂ –eq. oriundas do uso do bio sólido.

Processo empregado	Emissões geradas (kg CO ₂ -eq./ha.ano)
Bio sólido 1x + Cal + Transporte	0 + 27,3 + 108 = 135,3
Bio sólido 2x + Cal + Transporte	0 + 54,6 + 216 = 270,6
Bio sólido 4x + Cal + Transporte	0 + 109,2 + 432 = 541,2
Bio sólido 8x + Cal + Transporte	0 + 218,4 + 864 = 1082,4

Observou-se que para a dosagem de “bio sólido 1x”, que foi a obtida a partir do cálculo segundo a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006), conseguiu-se reduzir em aproximadamente 17,7% as emissões de CO₂-eq. em relação ao uso da fertilização química comercial. Isto representa 29,1 kg CO₂-eq/ha.ano de emissões evitadas em relação a utilização do mix de fertilização química. É importante salientar que para os outros tratamentos com o bio sólido, as quantidades emitidas foram elevadas, sendo maiores que o tratamento com a fertilização química.

Apesar de se evitar uma grande quantidade de emissões de CO₂-eq., o tratamento com a dosagem de bio sólido calculada de acordo com a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) não teria viabilidade se não conseguisse uma produtividade semelhante ou até mesmo superior ao tratamento com a fertilização química. Na tabela 4.6 é possível visualizar as produtividades totais obtidas com dois cortes do capim-elefante, sendo o primeiro corte após 4 meses de plantio e o segundo após 8 meses de plantio, e as emissões geradas em cada tratamento e sua respectiva produtividade de capim-elefante.

Tabela 4.6. Produtividade de capim-elefante por corte e total alcançada para cada tratamento e emissões geradas em relação à quantidade produzida.

Tratamento de fertilização	Produtividade corte 1 (ton/ha)	Produtividade corte 2 (ton/ha)	Produtividade total (ton/ha)	kg CO ₂ -eq emitido / ton. produzida
Fertilização química	44,6	78,4	123,0	1,34
Biossólido 1x	65,0	49,6	114,6	1,18
Biossólido 2x	75,5	83,5	159,0	1,70
Biossólido 4x	107,4	80,0	187,4	2,89
Biossólido 8x	126,8	68,1	194,9	5,55

A produtividade total foi superior em 8,4 ton/ha, aproximadamente 7%, para os lotes onde foram utilizados a fertilização química em relação ao tratamento “biossólido 1x”. Saraiva (2013) encontrou produtividades similares ao tratamento “biossólido 1x” em duas fases de seu experimento após 4 meses de plantio de uma variedade de capim-elefante. Na primeira fase, o autor encontrou uma produtividade de 136 ton/ha e na segunda 121,6 ton/ha, diferenciando as fases de acordo com a quantidade de efluente doméstico tratado utilizado como fertirrigação no experimento (SARAIVA, 2013). Esses resultados encontrados reafirmam a tese de que a utilização de métodos alternativos de fertilização pode produzir quantidades semelhantes ou até mesmo superiores aos métodos tradicionais de fertilização.

Já existem evidências do aumento na produtividade de algumas culturas, como o milho, com a aplicação de biossólidos urbanos (BISCAIA; MIRANDA, 1996; SILVA *et al.*, 2002). Galdos (2004) relata em seu experimento, que a produção de milho utilizando a fertilização com biossólido produziu até 25% a mais que a produção com adubação química (NPK). Nos experimentos de Tsadilas *et al.* (1995) e Cripps *et al.* (1992) observou-se uma maior produção de grãos com o uso do biossólido. Segundo Raji (1998), a aplicação de biossólido como fertilizante pode ser equiparada, ou até mesmo superior, aos resultados obtidos com adubação química tradicional, principalmente devido à economia com a compra de fertilizantes e, sobretudo, a produtividade alcançada.

Observa-se ainda na tabela 4.6, que apesar da produtividade total ter sido mais baixa em relação à fertilização química, o tratamento com “biossólido 1x” emitiu para cada tonelada produzida 0,16 kg CO₂-eq menos em relação ao tratamento com fertilização química, o que representa uma redução de aproximadamente 11,9%. Os tratamentos “biossólido 2x”, “biossólido 4x” e “biossólido 8x” apresentaram produtividades médias bem superiores em relação à fertilização química, porém apresentaram valores maiores de emissões atmosféricas para cada tonelada produzida de capim-elefante. Além disso, novos estudos seriam necessários para essas dosagens superiores à preconizada pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Segundo Oliveira (2000), o biossólido pode conter alguns constituintes indesejáveis como metais pesados, poluentes orgânicos e microrganismos patogênicos que podem causar riscos sanitários e ambientais. Segundo Galdos (2004), uma vez que a dosagem aplicada de biossólido é calculada de acordo com os teores de nitrogênio contidos no mesmo e a necessidade real desse elemento pela cultura, pode ocorrer acúmulo de fósforo e também de metais pesados no solo.

A produtividade de capim-elefante se mostrou satisfatória para todos os tratamentos em relação a outros trabalhos realizados para essa forrageira, sendo necessária a avaliação da viabilidade quanto à questão de contaminação do solo e a planta, nas dosagens de biossólido acima da permitida por lei.

4.4. CONCLUSÃO

A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é eficaz como ferramenta de gestão ambiental para análise e possível diminuição de impactos ambientais de produtos, processos e atividades, sendo um estudo aprofundado que pode ajudar na busca de alternativas para diminuir os impactos gerados nos plantios agrícolas.

Os resultados apresentados no presente estudo nos levam a conclusão de que é possível diminuir os impactos em termos de emissões de CO₂-eq no cultivo de capim-elefante utilizando como alternativa de fertilização a dosagem de biossólido de acordo com o preconizado pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) e ainda conseguir produtividades semelhantes em ambos os tratamentos. Com o uso dessa dosagem de biossólido, conseguiu-se reduzir as emissões de CO₂-eq. geradas em 11,9% em relação ao uso do mix de fertilização química e ainda chegou-se a produções similares de capim-elefante em ambos os tratamentos, com o tratamento utilizando o biossólido

emitindo 0,16 kg de CO₂-eq. menos em relação ao tratamento com fertilizantes comerciais por tonelada de capim-elefante produzida.

Para os outros tratamentos com o bioestabilizado, as altas emissões atmosféricas geradas principalmente pelo transporte do bioestabilizado até a área experimental inviabilizou o uso, apesar dos bons resultados de produtividade.

Assim, o uso do bioestabilizado com dosagem dentro dos limites da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) é viável ambientalmente e em termos de produção de capim-elefante. Além disso, possibilita o aproveitamento de um resíduo que normalmente não é aproveitado, evitando sobrecarga nos aterros onde eram dispostos, atendendo aos requisitos legais e diminuindo os custos de operação de disposição final do bioestabilizado, podendo agregar valor ao processo com a produção do capim-elefante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040: gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida, princípios e estruturas. Rio de Janeiro, 2014a.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14044: gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida, requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014b.
- ABRAHÃO, R.; CARVALHO, M.; CAUSAPÉ, J. Carbon and water footprints of irrigated corn and non-irrigated wheat in Northeast Spain. *Environmental Science Pollution Research*, Ed. 24, p. 5647-5663, 2017.
- AGRI-FOOTPRINT (2015). Base de dados. Disponível em: <<http://www.agri-footprint.com/>>. Acesso em 15 mar 2016. [Em inglês].
- ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas. São Paulo, Editora Nobel, 2ª ed., 1983, 150p.
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do setor de fertilizantes 2007. São Paulo, 160p. ISSN 0103-4790. 2008.
- BARBOSA, G. M. C; FILHO, J. T. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.
- BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. External organization, 2014.
- BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A.; BATAGLIA, O.C. Peletização de lodo de esgoto e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu, Ni, pelo milho em três latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Ed. 21, p. 685-691, 1997.
- BISCAIA, R.C.M.; MIRANDA, G.M. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. *Sanare*, v.5, p.86-89, 1996.
- BRASIL. Resolução no 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: < www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf >. Acesso em: 02 jan. 2016.

- BRASIL. Lei no 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636 >. Acesso em: 12 jan. 2016.
- CASSINI, S.T. Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro, ABES, 2003.
- CRIPPS, R.W.; WINFREE, S.K.; REAGAN, J.L. Effects of sewage sludge application method on corn production. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.*, Ed. 23, p. 1705-1715, 1992.
- DAVIS, J.; HAGLUND, C. (1999). Life cycle inventory (LCI) of fertiliser production. Fertiliser products used in Sweden and Western Europe. In: SIK Report No. 654. Go'teborg (Sweden): SIK, The Swedish Institute for Food and Biotechnology.
- ECOINVENT. Base de dados, versão 3, 2015. Disponível em: < <http://www.ecoinvent.ch> >. Acesso em: 01 de Dez. 2015. [Em inglês].
- GALDOS, M.V.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutorférrico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Ed. 28, p. 569-577, 2004.
- GUINÉE, J.B. (ed). Life cycle assessment: An operational guide to the ISO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.
- GUINÉE, J.B. Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimation of potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE*, Nova Iorque, v.108, n.3, p.225-230, 1982.
- HIDRACOR. Indústria de tintas, 2015. Disponível em: < www.hidracor.com.br > Acesso em: 06 dez. 2015.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Relatório IPCC/ONU Novos cenários climáticos, 2007. Disponível em: < www.ecolatina.com.br/pdf/ipcc-completo.pdf > Acesso em 06 jan. 2016.

- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol, 2013. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/> >. Acesso em 06 dez. 2015.
- ISO 14040 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Geneva, 2006.
- ISO 14044 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, Geneva, 2006.
- KONGSHAUG, G. IFA Technical Conference. In Energy Consumption and greenhouse gas emission in fertilizer production. 1998.
- LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. Horticultura Brasileira, Brasília, v.23, n.1, p.143-147, jan.-mar. 2005.
- 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 da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Ed 18, p. 449-455, 1994.
- OLIVEIRA, F.C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana de açúcar. Tese de doutorado. 247 p. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- PRÉ-CONSULTANTS. SimaPro database manual methods library. Pré Consultants. 2014a
- PRÉ-CONSULTANTS. Website do SimaPro. 2014b. Disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com/>>. Acesso em 02 de dezembro de 2015.
- PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA J. F. Características químicas de lodos de esgotos produzidos no Brasil. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo e práctica. Vol. 4, n. 2, p. 35 – 47, 2011.
- POLGLASE, P.J.; MYERS, B.J. Tree plantations for recycling effluent and biossolids in Australia. In: ELDRIDGE, K.G., ed. Environmental management : the role of eucalypts and other fast cropping species: proceedings. Collingwood, CSIRO, p, 100-109, 1996.

- RAIJ, B. van. Uso agrícola de biossólidos. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS NO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. Curitiba: Sanepar; ABES, 1998. p.147-151.
- SARAIVA, V.M.; KONIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. *Holos*, ano 29, vol. 1, 2013.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agrônômica para o biossólido 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*, v.26, p.487-495, 2002.
- TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Avaliação agrônômica de um biossólido industrial para a cultura de milho. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.40, n.3, p.261-269, mar. 2005.
- TSADILAS, C.D.; MATSI, T.; BARBAYIANNIS, N.; DIMOYIANNIS, D. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. *Comm. Soil. Sci. Plant. Anal.*, Ed. 26, p. 2603-2619, 1995.
- VON SPERLING, M.; FREIRE V. H.; CHERNICHARO, C. A. L. Performance evaluation of a UASB-activated sludge system treating municipal wastewater. *Water Science e Technology*, v. 43, p. 323-328, 2001.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO GERAL

A problemática da destinação final do lodo gerado em ETE's se agravou com a promulgação da Lei 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Essa normativa estabelece que todos os resíduos sólidos ainda passíveis de aproveitamento não poderiam mais ser dispostos em aterros sanitários, forma normalmente utilizada como destinação final do lodo.

Esse lodo por ter em sua composição características de alta disponibilização de nutrientes e matéria orgânica, o seu uso como fertilizante para o solo passa a ser viável, por ser um dos usos de mais baixos investimentos de instalação. Por ter essas características em sua composição, o lodo passa a ser denominado biossólido. Porém, o biossólido também possui características indesejadas como metais pesados, microrganismos patogênicos e excesso de alguns nutrientes que possam a vir contaminar ao solo e planta.

A partir dos resultados alcançados em um aproximadamente 1 ano de experimento, o biossólido se mostrou viável para aplicação no solo, desde que sua dosagem seja feita de acordo com a dosagem calculada pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). A produtividade do capim-elefante em média foi similar nos tratamentos com o biossólido dosado de acordo com os cálculos da normativa e os tratamentos onde foi utilizado os fertilizantes químicos, com o capim-elefante apresentando características em todos os tratamentos para uso energético como biomassa e também para consumo animal. Não foi observado qualquer tipo de contaminação ao solo, a partir das análises de nitrogênio e também de microrganismos patogênicos realizados nos tratamentos e também pelas pequenas quantidades apresentadas em sua composição inicial de metais pesados, com todas as concentrações dentro dos limites estabelecidos pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

Apesar dos tratamentos onde foram dosadas quantidades de biossólido superiores ao preconizado pela Resolução Conama 375/06 terem apresentado resultados satisfatórios de produtividade e caracterização bromatológica do capim-elefante, novos estudos são necessários principalmente no quesito de contaminação do solo e planta, pois são quantidades bem superiores ao preconizado pela lei.

A partir da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), comprovou-se que o bio sólido dosado de acordo com a normativa legal citada anteriormente emitiu aproximadamente 17,7% menos CO₂-eq do que os tratamentos com a fertilização química, considerando todos os processos de fabricação até a chegada final dos fertilizantes à área experimental. Esse resultado representou 0,16 kg menos CO₂-eq emitido por tonelada de capim-elefante produzido, em média, nos tratamentos com a dosagem de bio sólido de acordo com a Resolução Conama 375/06 em detrimento com os tratamentos com fertilização química. As outras dosagens de bio sólido não se mostraram viáveis nesse quesito, devido principalmente ao transporte do bio sólido até a área experimental.

Assim, conseguiu-se provar a viabilidade da aplicação do bio sólido do solo, atendendo ao requisito legal imposto, aproveitando um resíduo que normalmente era desperdiçado nos aterros conseguindo agregar um valor econômico com a produção de capim-elefante, além de diminuir os custos de disposição final do bio sólido para os gestores de ETE's que existem no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA A DISSERTAÇÃO

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. 77 p. Disponível em: < <http://www.videverde.com.br/docs/NBR-n-10004-2004.pdf> > Acesso em: 22 de jan. 2016.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040: gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida, princípios e estruturas. Rio de Janeiro, 2014a.
- _____. NBR 14041: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. CENWin, versão digital, 2014a. 25p.
- _____. NBR 14042: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida. CENWin, versão digital, 2014b. 17p.
- _____. NBR 14043: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Interpretação do ciclo de vida. CENWin, versão digital, 2014. 19p.
- _____. BR ISO 14044: gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida, requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014b.
- ABRAHÃO, R.; CARVALHO, M.; CAUSAPÉ, J. Uma perspectiva ambiental para as novas áreas de irrigação. III Inovagri International Meeting. Fortaleza, 2015.
- AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Disponível em < <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/medicaoPluviometrica.do?metodo=chuvasDiariasMa> >, Acesso em: 10 de Jan. de 2017.
- AGRI-FOOTPRINT (2015). Base de dados. Disponível em: <<http://www.agri-footprint.com/>>. Acesso em 15 mar 2016. [Em inglês].
- ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. Plantas forrageiras: gramíneas e leguminosas. São Paulo, Editora Nobel, 2ª ed., 150p, 1983.
- ALENCAR, C. A. B.; CUNHA, F. F.; MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; ROCHA, W. S. D.; ARAÚJO, R. A. S. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p. 98-108, 2009.
- ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e produção de lodo. In: *Biossólidos na agricultura*. SABESP, São Paulo, 2001. p. 7 – 40.
- AMMAN, R.; GLÖCKNER, F.O.; NEEF, A. Modern methods in subsurface microbiology: in situ identification of microorganisms with nucleic acid probes. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 20, n. 3-4, p. 191-200, 1997.

- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do setor de fertilizantes 2007. São Paulo, 160p. ISSN 0103-4790. 2008.
- ANDERSEN, M.K. Short term N mineralization-immobilization turnover in soil after incorporation of green manures as a function of plant litter quality and soil temperature – A comparison of analytical models with the numerical model FLUAZ. Dissertation (Master in Microbial Ecology)- University of Aarhus, Denmark, 73 p., 1999.
- ANDRADE, C. A. Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de *Eucalyptus grandis* após aplicação de biossólido da ETE de Barueri. 1999. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São paulo, 1999.
- ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. D.; QUEIROZ, D. S.; SALGADO, L. T.; CECON, P. R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). *Ciência e Agrotecnologia*, Ed. 27, p. 1643-1651, 2003.
- ANDREOLI, C.V.; LARA, A.C.; FERREIRA, B.R.P.; BONNET, E.S.; PEGORINI, R.G.K.I. A gestão dos biossólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto doméstico. *Engenharia e Construção*, n. 24, Curitiba, 1998.
- ANDREOLI, C. V. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agrossistema. 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M. FERNANDES, F. Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2001.
- ANDREOLI, C.V., PEGORINI, E.S., FERNANDES, F. Disposição do lodo de esgoto no solo. In: ANDREOLI, C. V., SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Coords.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. DESA/UFMG, SANEPAR. v. 6, p. 319-395, 2001.
- ANDREOLI, C. V. A gestão de biossólidos no Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPECIALIDADES EM MEDICINA VETERINÁRIA. AMEVE, Curitiba. *Anais...* Curitiba, p. 43 – 46, 2002.
- ANDREOLI, C. V., TAMANIN, C. R., HOLSBACH, B., PEGORINI, E. S., NEVES, P. S. (2006) Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal, In: Biossólidos Alternativas de uso de resíduos do saneamento, Editora ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), Rio de Janeiro, 2006.

- ANJOS, A. R. M.; MATIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólidos. *Sci. Agric.*, Ed. 57, p. 769-776, 2000.
- ARAÚJO, F.F.; GIL, F.C.; TIRITAN, C.S. Lodo de Esgoto na Fertilidades do Solo, na Nutrição de *Brachiaria decumbens* e na Atividade da Desidrogenase. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v. 39, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2009.
- ASIA, I. O; OLADOJA, N. A; BAMUZA-PEMU, E. E. Treatment of textile sludge using anaerobic technology. *American Journal of Biotechnology*, v. 5, p. 1678-1683, set. 2006.
- BALAN, D.S.L.; MONTEIRO, R.T.R. Decolorization of textile indigo dye by lignolytic fungi. *Journal of Biotechnology*, v.89, p.141-145, 2001.
- BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. *Sanare*, Curitiba, v.17, n.17, p. 94-101, 2002.
- BARBOSA, G. M. C; FILHO, J. T. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.
- BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application. External organization, 2014.
- BENETTO, E.; NGUYEN, D.; LOHMANN, T.; SCHMITT, B.; SCHOSSELER, P. Life cycle assessment of ecological sanitation system for small-scale wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, v. 407, n. 5, p. 1506-1516, Feb. 2009.
- BENTO, A.P.; LAPOLLI, R.F.; REGINATTO, V.; PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H.. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 329-338, 2005
- BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S.; CAMARGO, O.A.; BATAGLIA, O.C. Peletização de lodo de esgoto e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu, Ni, pelo milho em três latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Ed. 21, p. 685-691, 1997.

- BETTIOL, W.; FERNANDES, S.A.P.. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. São Paulo, 2004.
- BEZERRA NETO, E.; BARETO, L.P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. *Imprensa Universitária – UFRPE*. Recife, 2004.
- BISCAIA, R.C.M.; MIRANDA, G.M. Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho. *Sanare*, v.5, p. 86-89, 1996.
- BITTON, G. Wastewater microbiology. *New York: Ed. Wiley*, 2001.
- BODDEY, R.M. Biological nitrogen fixation in sugarcane: A key to energetically viable biofuel production. *CRC Crit. Rev Plant Sci*. Ed. 14, p. 263-279, 1995.
- BORGES, F. Caracterização e estudo da potencialidade de lodos de efluentes doméstico e industrial como combustível na geração de energia. Dissertação (Mestrado em engenharias de processos), Universidade da Região de Joinvile – UNIVILLE, Joinvile, 74 p, 2008.
- BOULLAY, A. Categorizing water for LCA inventory. *Internicional Journal of Life Cycle Assesment*, v. 16, n. 7, p. 639 – 651, Aug. 2011.
- BOYELDIEU, J. Rendement énergétique de La production agricole: les bilans d'énergie. *Agriculture, Paris*, v. 386, p. 124-128, 1975.
- BRASIL. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Disponível em: < www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf >. Acesso em: 02 jan. 2016.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636 >. Acesso em: 12 jan. 2016.
- BRASIL. Portaria Ministério da Saúde nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.

- CABRAL, L.D.; BHERINHG, M.; ABREU, J.G.; REVERDITO, R.; PEREIRA, G.A.C.; KAISER, J.; MIRANDA, L.; ZERVOUDAKIS, T.; SOUZA, A.L. Teores de proteína bruta e FDN do capim-elefante roxo obtido em diferentes idades de corte na baixada cuiabana. ZOOTEC – Centro de Convenções de Pernambuco, 2006.
- CARREIRA, M.F. Sistemas de tratamento de efluentes têxteis. 2006. Tese (Doutorado em engenharia de produção), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- CASSINI, S. T. Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- CAVALLARO, N.; PADILLA, N.; VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. *Soil Sci.*, Ed. 156, p. 63-70, 1993.
- CEOLATO, L.C. Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo. 2007. Dissertação de Mestrado (Instituto agrônômico – IAC). Campinas, 2007.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (Norma P. 4.230: Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação. São Paulo, Ago./1999.
- COLANZI, J.; PIETROBON, C. L. R.; Caracterização Físico-Química e Térmica de lodo gerado no processo de tratamento dos efluentes de lavanderia textil. XI Encontro Anual de Iniciação Científica - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2002.
- CONCHON, J. A. Tratamento de Efluentes. Transcrição do Artigo Publicado na Revista Base Textil, da Federación Argentina de la Industria Textil, n. 123, 1999.
- CORDI, L.; ASSALIN M.R.; DIEZ, M.C., DURAN, N. Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos. *Engenharia ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 1, p. 97-115, jan./abr. 2008.
- CORRÊA, R.S.; WHITE, R.E. & WEATHERLEY, A.J. Biosolids effectiveness to yield ryegrass based on their nitrogen content. *Sci. Agric.*, Ed. 62, p. 274-280, 2005.
- CORREIA, V. M.; STEPHENSON, T.; JUDD, S. J. Characterization of Textile Wastewaters a Review. *Environmental Technology*, v.15, p.917-929, Junho 1994.

- COSTA, N. L.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A.; PAULINO, V. T.; PEREIRA, R. G. A. Adubação nitrogenada em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Cameroon) puro ou consorciado com leguminosas forrageiras tropicais. In: *REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, 41, 2004, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: SBZ, 2004. p. 1-5.
- CRIPPS, R.W.; WINFREE, S.K.; REAGAN, J.L. Effects of sewage sludge application method on corn production. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.*, Ed. 23, p. 1705-1715, 1992.
- DALZELL, D.J.B.; ALTE, S.; ASPICHUETA, E.; DE LA SOTA, A.; ETXEARRIA, J. GUTIERREZ, M.; HOFFMAN C.C.; SALES, D.; OBST, U.; CHRISTOFI. A comparison of five rapid direct toxicity assessment methods to determine toxicity of pollutants to activated sludge. *Chemosphere*, v. 47, n. 5, p. 535-545, 2002.
- DAVIES, P.S. The biological basis of wastewater treatment. *UK: Strathkelvin Instrument Ltd*, Glasgow, 2005.
- DAVIS, J.; HAGLUND, C. (1999). Life cycle inventory (LCI) of fertiliser production. Fertiliser products used in Sweden and Western Europe. In: SIK Report No. 654. Go'teborg (Sweden): SIK, The Swedish Institute for Food and Biotechnology.
- DEMIRBAS, A. Combustion Characteristics of Different Biomass Fuel. *Progress in energy and combustion science*. Turquia: Elsevier, v.30, p. 219-230, 2004.
- DERESZ, F. Utilização do capim-elefante sob pastejo rotativo para produção de leite e carne. EMBRAPA-CNPGL, 1999.
- DERESZ, F.; PAIM-COSTA, M.L.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; ABREU, J.B.R. Composição química, digestibilidade e disponibilidade de capim-elefante cv. Napier manejado sob pastejo rotativo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, p. 863-869, 2006.
- DESCHAMPS, F.C. Implicações do Período de Crescimento na composição Química de Cultivares de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 28, n. 6, p. 1358-1369, 1999.

- ECOINVENT. Base de dados, versão 3, 2015. Disponível em: < <http://www.ecoinvent.ch> >. Acesso em: 01 de Dez. 2015. [Em inglês].
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª Ed, 1997.
- EPSTEIN, E.; TAYLOR, J. M.; CHANEY, R. L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. *J. Environ. Qual.*, Ed. 5, p. 422- 426, 1976.
- EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. Silagens: do cultivo ao silo. Lavras, Editora UFLA, 2ª ed., 210p, 2002.
- FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P.; BORGES, J. C.; MEDEIROS, M. L. B. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETEBelém com vistas ao seu uso agrícola. *Sanare*, Curitiba, v.5, n.5, p.68-75, 1996.
- FERNÁNDEZ, A.; TEJEDOR, C.; CABRERA, F.; CHORDI, A.. Assessment of toxicity of river water and effluents by the bioluminescence assay using *Photobacterium phosphoreum*. *Water Research*, v. 29, n. 5, p. 1281-1286, 1995.
- FERREIRA, A.C.; ANDREOLI, C.V. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. In: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Companhia de Saneamento do Paraná –SANEPAR, 1999.
- FERREIRA, A.P.; CUNHA C.L.N.; ROQUE, O.C.C. Avaliação da microfauna no efluente final para monitoramento da qualidade ambiental em estações de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados. *Gaia scientia*, vol. 1, p. 51-59, 2008.
- FORNEY, L.J.; LIU; W.T.; GUCKERT, J.B.; KUMAGAI, Y.; NAMKUNG, E.; NISHIHARA, T.; LARSON, R.J. Structure of microbial communities in activated sludge: potential implications for assessing the biodegradability of chemicals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 49, n. 1, p. 40- 53, 2001.
- FREITAS, K.R. Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil. 2002. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- GOMES, R.T.; PICOLI, J.F.; MARTINS, M.; CAPUCCIO, L.P.; MATSUURA, M.I.S.F. Avaliação de ciclo de vida de fertilizantes: fase de uso. VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2014. Campinas, São Paulo, ago. 2014.

- GALDOS, M.V.; DE MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutorférrico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Ed. 28, p. 569-577, 2004.
- GOMIDE, J.A. Formação e utilização de capineira de capim-elefante. In: CARBALHO, M. M.; ALVIN, M. J.; XAVIER, D.F.; CARBALHO L.A. Capim-elefante: produção e utilização. 2º ed. Coronel Pacheco: Embrapa–Gado de Leite, p. 81–115, 1997.
- GUINÉE, J.B. (ed). Life cycle assessment: An operational guide to the ISO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.
- GUINÉE, J.B. Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimation of potential evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE*, Nova Iorque, v. 108, n. 3, p. 225-230, 1982.
- HASSEMER, M.E.N.; SENS, M.L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. *Engenharia sanitária e ambiental*, vol. 7, n. 1, jan./mar. 2002 e n. 2, abr./jun. 2002.
- HIDRACOR. Indústria de tintas, 2015. Disponível em: < www.hidracor.com.br > Acesso em: 06 dez. 2015.
- HUE, N. V. Sewage sludge. In: RECHCIGL, J. E. (Ed.) Soil amendments and environmental quality. Boca Raton, CRC Press, p. 199-168, 1995.
- HUTCHISON, C.M.W.; WALWORTH, J.L. Evaluating the effects of gross nitrogen mineralization, immobilization, and nitrification on nitrogen fertilizer availability in soil experimentally contaminated with diesel. *Biodegradation*, v. 18, p. 133-144, 2007.
- INSA – INSTITUTO NACIONAL DO SEMI-ÁRIDO. Manejo de Irrigação utilizando o modelo de Hargreaves e Samani. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 10p., 2013.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Relatório IPCC/ONU Novos cenários climáticos, 2007. Disponível em: < www.ecolatina.com.br/pdf/ipcc-completo.pdf > Acesso em 06 jan. 2016.

- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol. 2013. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsgf/> >. Acesso em 06 dez. 2015.
- ISO 14040 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Geneva, 2006.
- ISO 14044 - International Organization for Standardization. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, Geneva, 2006
- JACQUES, A.V.A. Caracteres morfo-fisiológicos e suas aplicações como manejo. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; CARVALHO, L.A. (Eds.) Capim-elefante: produção e utilização. Coronel Pacheco:Embrapa-Gado de Leite, 1994, p.31-47.
- JARVIS, S. C. Nitrogen management and sustainability. In: CHERNEY, J. H.; CHERNEY, D.J.R. (Ed.) *Grass for dairy cattle New Yorker: CAB Publ.*, cap. 7, p. 161-192, 1998.
- JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G.T. Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems. *Boca Raton: Lewis Publishers*, 3. Ed., 2003.
- KAUTER, D.; LEWANDOVSKI, I.; CLAUPEINA, W. Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use. A review of the physiological basis and management influences. *Biomass and Bioenergy*, Ed. 6, v. 24, p. 411-427, 2006.
- KLAUTAU, J.V.P. Análise Experimental de uma Fornoalha a Lenha de Fluxo Cocorrente para Secagem de Grãos. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- KNUTH, K. R. Gestão Ambiental: Um estudo de caso para o setor têxtil – S.C. 2001. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2001.
- KONGSHAUG, G. IFA Technical Conference. In Energy Consumption and greenhouse gas emission in fertilizer production. 1998.
- KUNZ, A.; ZAMORA, P.P. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Quim. Nova*, vol. 25, n 1, p. 78-82, 2002.

- LAMBOLEZ, L., VASSEUR, P., FERARD, J. F., GISBERT, T. (1994). The environmental risks of industrial waste disposal: an experimental approach including acute and chronic toxicity studies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 28, p. 317-328.
- LEDAKOWICZ, S.; GONERA, M. Optimisation of Oxidants Dose for Combined Chemical and Biological Treatment of Textile Wastewater. *Water Research*, v. 33, n. 11, p. 2511 – 2516, 1999.
- LIMA, V. L. A. Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem. 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- LIMA, E.S.; SILVA, J.F.C.; VÁSQUEZ, H.M.; ANDRADE, E.N.; DEMINICIS, B.B.; MORAIS, J.P.G.; COSTA, D.P.B.; ARAÚJO, S.A.C. Características agrônômicas e nutritivas das principais cultivares de capim-elefante do Brasil. *Veterinária e Zootecnia*, Set., p. 324-334, 2010.
- LITTLE, A. H. Water Supplies and the Treatment and Disposal of Effluents. *The Textile Institute Manchester*, n. 2, 1975.
- LOPES, B. A. O capim-elefante. Seminário apresentado à disciplina ZOO 645 (Métodos nutricionais e alimentação de ruminantes). Viçosa, 66 p., 2004.
- LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alfaca com doses de lodo de esgoto. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.143-147, jan.-mar. 2005.
- LUDUVICE, M. Experiência da companhia de saneamento do distrito federal na reciclagem agrícola de biossólido. In: *BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. (Eds) Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.153-162.
- LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: *Lodos de Esgotos – Tratamento e Disposição Final*. 2002. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 484p.
- MADONI, P.; DAVOL, D.; GORBI, G.; VESCOLI, L. Toxic effect of heavy metals on the activated sludge protozoan community. *Water Research*, v. 30, n. 1, p. 135-141, 1996.
- MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, B. H. N.; CARNEIRO, M. S. S.; ANDRADE, A. C.; COSTA, N. L.; PINTO, M. S. C.; FILHO, W. J. E. M.

Influência da adubação nitrogenada e idade de corte sobre os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro de três cultivares de capim-elefante. *REDVET: Revista eletrônica de veterinária*, vol. 10, nº 4, 13 p, 2009.

- MARTINELLI, U.A.; PERON, A.P.; MARTINS, E.P.; SCHARF, M.; BUDAG, N.; MENEZES R. R.; NEVES G. A.; FERREIRA H. C., O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n. 2, p. 303-313, 2002.
- MARTINS, G. B. H. Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.
- MARTINS, C. E.; FONSECA, D. M. Manejo e fertilidade do solo em pastagens de capim-elefante. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 19, n. 192, p. 44-54, 1998.
- MARTINS-COSTA, R.H.A.; CABRAL, L.S.; BHERING, M.; ABREU, J.G.; ZERVOUDAKIS, J.T.; RODRIGUES, R.C.; e OLIVEIRA, I.S. Valor nutritivo do capim-elefante obtido em diferentes idades de corte. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 9, n. 3, p. 397-406, 2008.
- 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 da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Ed 18, p. 449-455, 1994.
- MELO, W. J.; MARQUES, M .O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Eds. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 109-141, 2000.
- METCALF; EDDY, INC. Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse. *New York: Ed. McGraw-Hill*, 1334 p., 2002.
- MIKI, M. K.; ALEM SOBRINHO, P.; VAN HAANDEL, A. C. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – condicionamento, desaguamento mecanizado e secagem térmica do lodo. In: *Biossólidos: Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento*. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
- MISTURA, C.; FONSECA, D. M. da; FAGUNDES, J. L.; MOREIRA, L. de M.; MORAIS, R. V. de; NASCIMENTO JUNIOR, D. do; VITOR, C. M. T.; RIBEIRO

JUNIOR, J. I. Avaliação da composição química do capim-elefante adubado com nitrogênio. In: *REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA*, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: SBZ, 2004.

- MONTEIRO, F. A. Adubação para o estabelecimento e manutenção de capim-elefante. In: CARVALHO, L. A.; CARVALHO, M. M.; MARTINS, C. E.; VILELA, D. (Eds). *Capim-elefante: Produção e utilização*. Coronel Pacheco: Embrapa-Gado de Leite, p. 49-79, 1994.
- MONTEIRO, M.F. Avaliação do ciclo de vida do fertilizante superfosfato simples. 2008. Tese (Mestrado profissional em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo), Departamento de engenharia ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.
- MORAIS, R.F. Potencial Produtivo e Eficiência de Fixação Biológica de Nitrogênio de Cinco Genótipos de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), para Uso como Fonte Alternativa de Energia. 2008. Tese de Doutorado, Universidade Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.
- MOSS, D.N. Some aspects of microclimatology important in forage plant physiology. In: *Forage plant physiology an soil relationships*. ASA Special publications Madison-Winsconsin, 1964.
- NABINGER, C.; MEDEIROS, R. B. Produção de sementes de *Panicum maximum* Jacq. Simpósio Sobre o Manejo de Pastagens, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: FEALQ, p. 59-128, 1995.
- NASCIMENTO C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A .B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Ed. 28, p. 385-392, 2004.
- NEIVA, M. R. Reciclagem agrícola de biossólidos da ETE Cetrel – uma experiência ambientalmente correta. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL*, Ed. 20, 1999, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1999. p.477-479.
- NUSSIO, L. G.; MANZANO, R. P.; PEDREIRA, C. G. S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: *SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM*, 1998, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz , p. 203- 42, 1998.

- OLIVEIRA, F.C. Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana de açúcar. Tese de doutorado. 247 p. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *R. Bras. Ci. Solo*, Ed. 26, p. 505-519, 2002.
- OUTWATER, A.B. Reuse of sludge and minor wastewater residuals. S.l. : *Lewis Publishers*, 179 p, 1994.
- PEDROZA, M.M.; VIEIRA, G.E.G.; SOUSA J.F; PICKLER A.C.; LEAL, E.R.M.; MILHOMEN, C.C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, v. 11, n. 16, p. 89-188, jul./dez. 2010.
- PEDROZA, M.M.; VIEIRA, G.E.G.; SOUSA J.F. Características químicas de lodos de esgotos produzidos no Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo e práctica*. Vol. 4, n. 2, p. 35 – 47, 2011.
- PEREIRA JR, A. B.; VALIM, M. C. A.; SOUZA, J. L.; GONÇALVES, R. F. Utilização de lodo gerado em processo anaeróbio tipo tanque Imhoff como insumo agrícola para a cultura do milho (*Zea mays* L.). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 398p., 1997.
- POLGLASE, P.J.; MYERS, B.J. Tree plantations for recycling effluent and biossolids in Australia. In: ELDRIDGE, K.G., ed. *Environmental management : the role of eucalypts and other fast cropping species: proceedings*. Collingwood, CSIRO, p, 100-109, 1996.
- PRIMO, A.C.A.; MELO, M.D.; MODESTO, V.C.; POMPEU, R.C.F.F.; NATALE, W.; SOUZA, H.A. Tamanho amostral foliar para avaliação do estado nutricional de macronutrientes e índice SPAD de capim-elefante irrigado. In: *CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL*. Fortaleza, 3 p., 2013
- PEREIRA, S.W. Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos: aplicação de avaliação de ciclo de vida. 2004. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em engenharia ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

- PERES, C. S.; ABRAHÃO, A. J. Características e Sistemas de Tratamento de Águas Residuais da Indústrias Têxteis – Uma Primeira Abordagem. *Química Têxtil*, p. 22 – 39, 1998.
- POOLE, J.E.P. A study of the relationship between the mixed liquor fauna and plant performance for a variety of activated sludge sewage treatment works. *Water Research*, v. 18, n. 3, p. 281-287, 1984.
- POLGLASE, P.J.; MYERS, B.J. Tree plantations for recycling effluent and biossolids in Australia. In: ELDRIDGE, K.G., ed. Environmental management : the role of eucalypts and other fast cropping species: proceedings. Collingwood, CSIRO, p, 100-109, 1996.
- PRÉCONSULTANTS. SimaPro database manual methods library. PRé Consultants, 2014a.
- PRÉCONSULTANTS. Website do SimaPro. 2014. Disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com/>>. Acesso em 02 de dezembro 2014b.
- QUESADA, D..M. Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para a alta produção de biomassa e eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Tese de Mestrado, UFRRJ, Seropédica, R.J. 140p, 2001.
- RAIJ, B. van. Uso agrícola de biossólidos. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS NO MERCOSUL, 1., 1998, Curitiba. Curitiba: Sanepar; ABES, 1998. p.147-151.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C. W. Acúmulo de Mn, Zn, Cu, Ni e Pb em Latossolo cultivado com milho sob efeito de fontes e doses de lodo de esgoto. In: *FERTBIO 3*, Rio de Janeiro, 2002. *Resumos*. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-ROM.
- RIBEIRO, K.G. Rendimento forrageiro e valor nutritivo do capim-elefante “Anão”, sob cinco doses de nitrogênio ao atingir 80 e 120 cm de altura (1995). 60p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- REIS, V. M.; REIS JUNIOR, F. B. ; QUESADA, D. M. ; OLIVEIRA, O. C. A. ; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Biological nitrogen fixation associated with tropical pasture grasses. *Aust. J. Pl. Phys.*, v. 28, p. 837-844, 2001.

- RIBEIRO, P.H. Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados. (2009). Tese (Doutorado em engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- ROCHA, T. R. Utilização de lodo de esgoto na agricultura: um estudo de caso para as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Piracicaba (1998). Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1998.
- RODRIGUES, P.H.M.; BORGATTI, L.M.O.; GOMES, R.W.; PASSINI, R.; e MEYER, P.M. Efeito da adição de níveis crescentes de polpa cítrica sobre a qualidade fermentativa e o valor nutritivo da silagem de capim-elefante. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 4, p. 1138-1145, 2005.
- ROSS, C. A.; AITA, C.; CERETTA, C. A.; FRIES, M. R. Utilização de lodo de esgoto como fertilizante: efeito imediato no milho e residual na associação de aveia + ervilhaca. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Santa Maria, 1990.
- SANTOS, E.A.; SILVA, D.S.; FILHO, J.L.Q. Perfilamento e Algumas Características Morfológicas do Capim-Elefante cv. Roxo sob Quatro Alturas de Corte em Duas Épocas do Ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, p. 24-30, 2001.
- SAMSON, R; MANI, S; BODDEY, R; SOKHANSANJ, S; QUESADA, D; URQUIAGA, S; REIS, V; HO LEM, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. *Critical reviews in plant sciences*. 24:1-35, 2005.
- SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARANÁ. Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Curitiba, 1999.
- SANTOS C. H.; FILHO, H.G.; SANTOS, J.C.; PENTEADO, B.B. Fertilidade do solo e nutrição de tangerineiras ‘Ponkan’ manejados com resíduos sólidos e adubação química, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.1, p.75–83, 2011.
- SARAIVA O. F.; CARVALHO, M. M. Adubação nitrogenada e fosfatada para o estabelecimento de capim-elefante em latossolo vermelho-amarelo, textura argilosa. *Rev. Bras. Ci. Solo*. Campinas, v. 15, p. 201-205, 1991.

- SARAIVA, V.M.; KONIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. *Holos*, ano 29, vol. 1, 2013.
- SAYEG, C.; MIKI, M.K.; SOBRINHO, P.A.; OLIVEIRA, M.A.S. Parâmetros operacionais de prensa parafuso no desaguamento de lodo de ETE. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 23, 2005, Campo Grande. Anais ... Campo Grande, 2005.
- SEIXAS, J.; MARCHETTI, D. Produção e consumo de energia na agricultura. Planaltina; EMBRAPA – Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados. 1982. 15p. (EMBRAPA – CPAC. Documentos, 3).
- SELIVANOVSKAYA, S.Y.; LATYPOVA, V.Z.; ARTAMONOVA, L.A. Use of sewage sludge compost as the restoration agent on the degraded soil of Tatarstan. *Journal of Environmental Science and Health – Part A*, v. 38, n. 8, p. 1549-1556, 2003.
- SHUCHRDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, M. *Energy. J. Braz. Chem. Soc.*, v. 9, p. 186-190, 1998.
- SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A. & MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: Nutrientes, metais pesados e produtividade. *Pesq. Agropec. Bras.*, Ed. 13, p. 1- 8, 1998.
- SILVA, A.C.; TORRADO, P.V.; JÚNIOR, J.S.A. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. *R. Un. Alfenas*, vol. 5, p. 21-26, 1999.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido: a experiência de Brasília. In: _____. Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.
- SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.487-495, 2002.
- SILVA, P.H.M; POGGIANI, F. GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.845-854, 2008.

- SOARES, J. L. Remoção de Corantes Têxteis por Adsorção em Carvão Mineral Ativado com Alto Teor de Cinzas. 1998. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.
- SOARES, M. R. (2004). Coeficiente de distribuição (kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo. 2004. 202p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.
- SOUSA, S.R. Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida. 2008. Dissertação (Mestrado), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- SOUTH CAROLINA DEPARTMENT OF HEALTH AND ENVIRONMENT CONTROL. Procurement audit and certification. January, 1996.
- STACHIW R. Modelagem e Simulação do Processo de adsorção de compostos orgânicos em xisto retornado. Tese de Doutorado. UTFPR, Curitiba, 2005.
- STORTI, S. Relatório Interno Marisol, 2001.
- TOLEDO, R. A. S., Tecnologia da Reciclagem. *Química Têxtil*, p. 8-14, 2004.
- TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Avaliação agrônômica de um bio-sólido industrial para a cultura de milho. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.40, n.3, p.261-269, mar. 2005.
- TSADILAS, C.D.; MATSI, T.; BARBAYIANNIS, N.; DIMOYIANNIS, D. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. *Comm. Soil. Sci. Plant. Anal.*, Ed. 26, p. 2603-2619, 1995.
- TSUTIYA, M. T. Tecnologia emergentes para a disposição final de bio-sólidos das estações de tratamento de esgotos. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999a. p.762-770.
- TWARDOKUS, R.G. Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil. 2004. 136 f. Tese (Mestrado em engenharia química), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- URQUIAGA S.; CRUZ K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:105- 114. 1992.

- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 40 CFR - Parts 503. final rules: standards for the use of sewage sludge. Federal Register, Washington, v. 58, p. 9248-9415, 1993.
- VALE, A.T.; MENDES, R.M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V.F.S. Potencial Energético da Biomassa e Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*). *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2011.
- VARANDAS, C., ALMEIDA, A. T., VALLÊRA, A., FERNANDES, E. O., PEREIRA, M. C., COELHO, P. As energias do presente e do futuro. *Gazeta de Física*, 28, p. 1-3, 2005.
- VAN HAANDEL, A. C.; ALEM SOBRINHO, P. (2006). Produção, composição e constituição de esgoto. In: *Biossólidos – Alternativas de Uso de Resíduos de Saneamento*. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p.
- VAZOLLER, R.F. Estudos sobre isolamento , caracterização e crescimento de culturas puras de bactérias metanogênicas provenientes de biodigestores de lodo de esgoto. 1989. Dissertação de mestrado. São Paulo: Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1989.
- VAZOLLÈR, R.F., GARCIA, A.D. & CONCEIÇÃO NETO, J. 1991. Microbiologia de Lodos Ativados – Série Manuais. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo. CETESB, 23 p.
- VITOR, C. M. T. Adubação nitrogenada e lâmina de água no crescimento do capim-elefante. 2006. 90 p. Tese (Doutorado em zootecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- VON SPERLING, M. LODOS ATIVADOS. Princípios do Tratamento Biológico de Águas residuárias. 1996
- VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados, v. 4. Minas Gerais: ABES, 1997.
- VON SPERLING, M.; FREIRE V.H.; CHERNICHARO, C.A.L. Performance evaluation of a UASB-activated sludge system treating municipal wastewater. *Water Science e Technology*, v. 43, p. 323-328, 2001.
- VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Rio de Janeiro: ABES, 2002. 243p.

- VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA - UFMG. 3ª ed. 456 p. 2005.
- WEBBER, M. D. Diretrizes para aplicação de lodo no solo. In: *CURSO DE AVALIAÇÃO DE RISCO NO GERENCIAMENTO DO LODO DE ESGOTO*, São Paulo, 1998. Convênio CANADÁ/SABESP/CETESB..
- WERNER, J. C. Adubação de pastagens. 2º Imp. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 49 p., 1986.
- WILMAN, D.; PEARSE, P. J. Effects of applied nitrogen on Grass yield, nitrogen content, tillers and leaves in Field swards. *Journal of Agricultural. Science*, v.103, n.1, p. 201-211, 1984.
- ZANETTI, J.B. Identificação de genótipos de capim-elefante (*Penisetum purpureum* Schumach.) de alta produção de biomassa com qualidade para fins energéticos. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências), Curso de pós-graduação em fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.
- ZANINI, A.; CAMPOS, A.T.; PRESTES, T.M.V.; DALMOLIN, M.F.S.; CAMPOS, A.T.; KLOSOWSKI, E.S. Análise do consumo de energia na produção de silagem de milho em plantio direto. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 25, n. 2, p. 249-253, 2003.