

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS FRANCISCO BELTRÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – MESTRADO EM GEOGRAFIA

GABRIELA FERON

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO E DA DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO DA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE FRANCISCO  
BELTRÃO/PR

Francisco Beltrão-PR

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CAMPUS FRANCISCO BELTRÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – MESTRADO EM GEOGRAFIA

GABRIELA FERON

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO E DA DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO DA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE FRANCISCO  
BELTRÃO/PR

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, na área de concentração Produção do Espaço e Meio Ambiente, na linha de pesquisa Dinâmica, Utilização e Preservação do Meio Ambiente da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* Francisco Beltrão, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Zanetti Pessoa Candiotto.

Francisco Beltrão-PR

2018

Catálogo na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas - UNIOESTE – Campus Francisco Beltrão

Feron, Gabriela

F367a Avaliação do tratamento e da destinação do lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto do município de Francisco Beltrão/PR. / Gabriela Feron. – Francisco Beltrão, 2018.  
184 f.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Zanetti Pessôa Candiotto.  
Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Francisco Beltrão, 2018.

1. Esgotos – Francisco Beltrão. 2. Esgotos – Tratamento. 3. Lodo residual. 4. Resíduos como fertilizante. I. Candiotto, Luciano Zanetti Pessôa. II. Título.

CDD – 628.2

Sandra Regina Mendonça CRB – 9/1090

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CCH  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – MESTRADO/DOCTORADO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

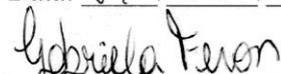
AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO E DA DESTINAÇÃO DO LODO DE  
ESGOTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO  
MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO/PR

**Autora:** Gabriela Feron

**Orientador:** Prof. Dr. Luciano Zanetti Pessoa Candiotto

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação defendida por Gabriela Feron e aprovada pela comissão julgadora.

Data: 19 / 02 / 2016



Gabriela Feron

Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Luciano Zanetti Pessoa Candiotto (UNIOESTE/Francisco Beltrão)



Profa. Dra. Rosana Cristina Biral Leme (UNIOESTE/Francisco Beltrão)



Prof. Dr. Jefferson de Queiroz Crispim (UNESPAR/ Campo Mourão)



Profa. Dra. Elisete Guimarães (UTFPR/ Francisco Beltrão)

*A todos que dedicam seu tempo e suas vidas para desenvolverem e implementarem projetos de reciclagem e reutilização de resíduos e todos aqueles que buscam a preservação do meio ambiente.*

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Francisco Beltrão, de forma especial ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade de cursar o mestrado.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador Luciano Candiotto, por estar sempre de prontidão para me ajudar, tirando dúvidas, auxiliando e corrigindo cada trecho dessa dissertação. Obrigada pela sua dedicação enquanto orientador.

À professora Elisete Guimarães por participar da minha banca do colóquio, da qualificação e também da defesa. À professora Rosana Biral Leme, por participar da minha banca de qualificação e de defesa. Obrigada pelos apontamentos, dicas e correções, tenho um carinho muito especial por vocês.

Ao professor Jefferson de Queiroz Crispim por aceitar ler meu trabalho, participar da minha banca e pelas suas contribuições.

À Rosana Vaghetti Luchese e ao Cristian Nesi Martins, pelas correções gramaticais de língua portuguesa e inglesa deste trabalho.

À Sanepar, pelos dados fornecidos, pela disposição e dedicação dos seus funcionários em esclarecer todos os meus questionamentos e dúvidas, em especial ao Lindomar e ao Marco Antônio, pelos inúmeros contatos realizados, pelas ligações e e-mails.

Aos agricultores, usuários do lodo, que me receberam tão bem em suas casas, sendo muito prestativos em responder minhas perguntas e se interessando pelo meu estudo.

À prefeitura municipal de Francisco Beltrão, em especial a Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

Aos meus pais Geni Maria Bogoni Feron e Acir José Feron, por todo apoio que me deram durante o mestrado e durante toda a minha vida enquanto estudante, por abrir mão de tanta coisa para priorizar meu estudo. Tudo que faço e sou é por vocês e para vocês.

À minha família, que é tão grande que eu não posso agradecer individualmente, pela partezinha que tiveram na minha vida estudantil, obrigada por tudo!

Ao meu super companheiro Francisco Vagheti Luchese, por me apoiar nas decisões, pelo amor, pelo incentivo nas horas em que me senti incapaz, obrigada por acreditar em mim em todos os momentos.

À todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

# **AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO E DA DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE FRANCISCO BELTRÃO/PR**

## **RESUMO**

Todas as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) geram durante o processo de tratamento, o lodo de esgoto, considerado a princípio, um rejeito. Este trabalho teve como objetivo geral investigar e avaliar os procedimentos de tratamento, disposição, uso e monitoramento do lodo de esgoto produzido na Estação de Tratamento de Esgoto-Marrecas do município de Francisco Beltrão, por meio de entrevistas com profissionais da Sanepar e com os agricultores que receberam o biossólido. Esta pesquisa foi desenvolvida utilizando alguns procedimentos metodológicos, o primeiro deles diz respeito a uma discussão teórica sobre saneamento básico, tratamento de esgoto e do lodo oriundo desse processo e formas de utilização do lodo de esgoto. Em seguida, recorreu-se ao levantamento e análise da Legislação Federal e Estadual sobre coleta e tratamento do esgoto, bem como produção do biossólido e à sua utilização. Além dessas informações secundárias, obtidas de outros trabalhos e de Normas legais, a pesquisa utilizou dados primários, obtidos por meio de entrevistas com sujeitos envolvidos com o tratamento e disposição do lodo de esgoto no município de Francisco Beltrão. Por isso, as ações realizadas quanto ao gerenciamento, tratamento e destinação do lodo de esgoto foram levantadas junto a Sanepar por meio de um roteiro de questões abertas (Apêndice A). Outra fonte de dados foram os laudos das análises do lodo produzido na estação e dos solos recebedores desse material. Para conhecer o histórico da destinação do lodo no Paraná, realizou-se contatos com engenheiros responsáveis por esta ação no Sudoeste e outras regiões do Paraná. Foram realizadas entrevistas com os agricultores que receberam o lodo de esgoto da ETE-Marrecas, para utilizá-lo com fins agrícolas (Apêndice B). O esgoto produzido no município de Francisco Beltrão recebe um tratamento completo, passando por quatro fases, sendo esta considerada, uma ETE de tratamento terciário. O lodo produzido na ETE-Marrecas é destinado à agricultura. A distribuição é realizada anualmente e as áreas receptoras do biossólido são analisadas anteriormente ao recebimento, para averiguar a necessidade da aplicação do lodo. Após a aplicação, há um acompanhamento por parte da companhia de saneamento. Todas as análises realizadas no lodo de esgoto apresentam resultados favoráveis para seu uso na agricultura. Todos os agricultores entrevistados afirmaram perceber melhorias em suas plantações após o uso do biossólido como fertilizante e, apesar de não terem conhecimento sobre a Legislação, possuem algumas informações quanto a restrição ao uso do lodo. Ressalta-se que embora esteja sendo feito um bom trabalho na distribuição e orientação do uso do lodo, algumas análises não foram realizadas. Para um uso totalmente seguro é primordial que todas as análises sejam efetuadas, tanto no lodo como nos solos agrícolas.

Palavras-chave: Lodo de esgoto; Biossólido; Agricultura; Monitoramento; Fertilizante.

# **EVALUATION OF TREATMENT AND DESTINATION OF SEWAGE SLUDGE OF FRANCISCO BELTRÃO/PR MUNICIPALITY SEWAGE TREATMENT STATION**

## **ABSTRACT**

All Sewage Treatment Station (STS) generate sewage sludge during treatment process, considered at first a waste. This work had the general objective of investigating and evaluating the procedures for treatment, disposal, use and monitoring of the sewage sludge produced in the STS-Marrecas, of the municipality of Francisco Beltrão, through interviews with Sanepar professionals and with the farmers who received the biosolids. This research was developed using some methodological procedures, the first one concerns a theoretical discussion about basic sanitation, sewage and sludge treatment from this process and ways of using sewage sludge. Then, the collection and analysis of the Federal and State legislation regarding the collection and treatment of the sewage, as well as the production of the biosolid and its use was made. In addition to this secondary information obtained from other works and legal norms, the research used primary data obtained through interviews with subjects involved in the treatment and disposal of sewage sludge in the municipality of Francisco Beltrão. Therefore, the actions carried out regarding the management, treatment and disposal of sewage sludge were collected from Sanepar by means of a script of open questions (Appendix A). Another source of data is the reports of the analyzes of the sludge produced at the station and the soils that receive the material. To know the history of the destination of the sludge in Paraná, contacts were made with engineers responsible for this action in the Southwest and other regions of Paraná. Interviews were conducted with the farmers who received the sewage sludge from the STS-Marrecas to use it for agricultural purposes (Appendix B). The sewage produced in the municipality of Francisco Beltrão receives a complete treatment, going through four phases, being considered, then, a STS of tertiary treatment. The sludge produced in STS-Marrecas is allocated for agriculture. The distribution is carried out annually and the receiving areas of biosolids are previously analyzed to ascertain the need of sludge application. After the application there is also a monitoring by the sanitation company. All the analyzes performed in the sewage sludge show favorable results for use in agriculture. All farmers stated that they perceived improvements in their plantations after the use of biosolids as fertilizers and although they are not aware of the legislation, they have some information about the restriction of the use of sludge. It is noteworthy that although good work is being done on the distribution and orientation of sludge use, some analyzes have not been carried out. In order to have a totally safe use, it is essential that all analyzes be done, both sludge and agricultural soils ones.

Keywords: Sewage sludge; Biosolid; Agriculture; Monitoring; Fertilizer.

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Tipos de fertilizantes agrícolas segundo a IN nº 25/2009 MAPA.....	100
<b>Quadro 2</b> - Definição de substrato, fertilizante e corretivo do solo. ....	103
<b>Quadro 3</b> - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas a serem determinadas no lodo de esgoto.....	107
<b>Quadro 4</b> - Classes de aptidão das terras para utilização agrícola de lodo e recomendações.....	120
<b>Quadro 5</b> - Critérios para classificação e aptidão dos solos para utilização de lodo. ....	120

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Concentração máxima de substâncias inorgânicas permitidas no lodo de esgoto (biossólido). .....	109
<b>Tabela 2</b> - Concentração máxima de agentes patogênicos permitidas no lodo.....	109
<b>Tabela 3</b> - Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas. ....	113
<b>Tabela 4</b> - Concentrações máximas permitidas de substâncias orgânicas em solos agrícolas.....	116
<b>Tabela 5</b> - Limites máximos de substâncias inorgânicas permitidas no lodo segundo a SEMA nº 001/07 e a CONAMA nº 375/06. ....	119
<b>Tabela 6</b> - Limites máximos de agentes patogênicos permitidas no lodo.....	119
<b>Tabela 7</b> - Resultado das análises de 2012, 2015 e 2016 para substâncias inorgânicas. ....	146
<b>Tabela 8</b> - Resultado das análises de 2012, 2015 e 2016 para agentes patogênicos. ....	147
<b>Tabela 9</b> - Resultados das análises de 2012, 2015 e 2016 quanto ao potencial agrônômico.....	149
<b>Tabela 10</b> - Substâncias orgânicas presentes no lote de lodo de 2012, 2015 e 2016. ....	150
<b>Tabela 11</b> - Resultados dos parâmetros de fertilidade dos solos A, B, C e D.....	153
<b>Tabela 12</b> - Resultados das análises do lote do ano de 2012 nas propriedades A, B, C e D referentes a carga acumulada teórica de substâncias inorgânicas.....	154
<b>Tabela 13</b> - Resultados dos parâmetros de fertilidade dos solos A, B e C. ....	156
<b>Tabela 14</b> - Resultados das análises do lote do ano de 2015 as propriedades A, B e C referentes a carga acumulada teórica de substâncias inorgânicas. ....	157
<b>Tabela 15</b> - Resultados das análises de substâncias inorgânicas nos solos A, B e C, antes da aplicação do lodo.....	158

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

- Fluxograma 1** - Sequência cronológica das etapas de elaboração de um PMSB....48
- Fluxograma 2** - Fluxograma típico do sistema de lodos ativados. ....63

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Panorama referente a elaboração dos PMSBs no Brasil. ....	52
<b>Figura 2</b> - Composição típica da camada drenante de um leito de secagem. ....	71
<b>Figura 3</b> - Conversão do lodo de esgotos para materiais de cimento.....	80
<b>Figura 4</b> - Lodo de esgoto após tratamento.....	101
<b>Figura 5</b> - Localização de Francisco Beltrão no mapa do estado do Paraná. ....	126
<b>Figura 6</b> - Mapa das condições objetivas do esgotamento sanitário de Francisco Beltrão.....	131
<b>Figura 7</b> - Mapa das condições subjetivas do esgotamento sanitário de Francisco Beltrão.....	133
<b>Figura 8</b> - Gradeamento da ETE-Marrecas. ....	136
<b>Figura 9</b> - Desarenador da ETE-Marrecas.....	136
<b>Figura 10</b> - Ralf da ETE-Marrecas.....	137
<b>Figura 11</b> - Ralf da ETE-Marrecas.....	137
<b>Figura 12</b> - Filtro biológico da ETE-Marrecas. ....	138
<b>Figura 13</b> - Decantador da ETE-Marrecas.....	139
<b>Figura 14</b> - Despejo do esgoto líquido tratado no rio.....	139
<b>Figura 15</b> - Leitos de secagem da ETE-Marrecas. ....	140
<b>Figura 16</b> - Pilha de lodo com cal. ....	141

## LISTA DE SIGLAS

APP - Área de Preservação Permanente  
ART - Anotação de Responsabilidade Técnica  
Cd - Cádmiio  
CESBs - Companhias Estaduais de Saneamento Básico  
COASUL - Cooperativa Agropecuária Sudoeste Ltda  
CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono  
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente  
cm - Centímetro  
cmolc/dm<sup>3</sup> - Centimol de Carga por Decímetro Cúbico  
Cu - Cobre  
DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural  
EPA - Environmental Protection Agency  
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto  
Fe - Ferro  
g/dm<sup>3</sup> - Grama por Decímetro Cúbico  
IAP - Instituto Ambiental do Paraná  
IAPAR - Instituto Agrônômico do Paraná  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDH - Índice de Desenvolvimento Humano  
IN - Instrução Normativa  
IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social  
kcal/kg - Quilocaloria por quilograma  
kg - Quilograma  
K<sub>2</sub>O - Óxido de Potássio  
LD - Limite de Detecção  
LIO - Licença Ambiental Única de Instalação e Operação  
LNSB – Lei Nacional de Saneamento Básico  
LQ - Limite de Quantificação

L/s - Litros por Segundo  
MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento  
MC - Ministério das Cidades  
mg/dm<sup>3</sup> - Miligrama por Decímetro Cúbico  
mg/L - Miligrama por Litro  
mg/kg - Miligrama por Quilograma  
mL/L - Mililitro por Litro  
Mo - Molibdênio  
N - Nitrogênio  
NA - Não se Aplica  
Ni - Níquel  
NMP - Número Mais Provável  
NMP/g ST - Número Mais Provável por grama de Sólido Total  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
OPAS - Organização Pan-Americana de Saúde  
P - Fósforo  
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento  
Pb - Chumbo  
pg/kg - Picograma por Quilograma  
pH - Potencial Hidrogeniônico  
PLANASA - Plano Nacional de Saneamento  
PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico  
PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico  
PMSS - Programa de Modernização do Setor de Saneamento  
P<sub>4</sub>O<sub>10</sub> - Pentóxido de Fósforo  
POPs - Poluentes Orgânicos Persistentes  
ppm - Parte Por Milhão  
RALF - Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado  
SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná  
SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiental e Recursos Hídricos  
SNIS-AE - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Água e Esgoto  
SNIS-RS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Resíduo Sólido  
SNISA - Sistema Nacional de Informações em Saneamento  
SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

SNVSA - Subsistema Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental

ST - Sólidos Totais

STS - Sewage Treatment Station

SUS - Sistema Único de Saúde

UASB - Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente

UFC/g ST - Unidade Formadora de Colônia por grama de Sólido Total

UFF - Unidade Formadora de Foco

UFP - Unidade Formadora de Placa

UFPR - Universidade Federal do Paraná

UGL - Unidade de Gerenciamento de Lodo

Zn - Zinco

µg/L – Micrograma por Litro

µS/cm – Microsiemens por Centímetro

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	18
Procedimentos Metodológicos .....	20
Estrutura da dissertação .....	22
CAPÍTULO 1: SANEAMENTO BÁSICO .....	23
1.1 PROBLEMAS SANITÁRIOS .....	28
1.1.1 Doenças relacionadas a falta ou à precariedade dos serviços de saneamento básico.....	32
1.2 HISTÓRICO E A REALIDADE BRASILEIRA .....	35
1.3 MARCOS INSTITUCIONAIS RECENTES DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL .....	40
1.3.1 Plano Nacional de Saneamento Básico.....	43
1.3.2 Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) .....	44
1.4 SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS) ..	53
CAPÍTULO 2: TRATAMENTO DE ESGOTO E O LODO DE ESGOTO .....	56
2.1 TRATAMENTO DA FASE SÓLIDA DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	60
2.1.1 Adensamento do lodo .....	61
2.1.2 Estabilização do lodo .....	62
2.1.3 Condicionamento do lodo para desaguamento .....	66
2.1.4 Desaguamento do lodo.....	67
2.1.5 Secagem.....	68
2.1.5.1 Secagem térmica e mecânica .....	68
2.1.5.2 Secagem natural .....	70
2.2 CONCEITO E ORIGEM DO LODO DE ESGOTO.....	72
2.3 MÉTODOS DE TRATAMENTO, DESTINAÇÃO E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO.....	74
2.3.1 Calagem .....	75
2.3.2 Compostagem .....	76
2.3.3 <i>Landfarming</i> .....	77
2.3.4 Incineração .....	78
2.3.5 Produção de cerâmica.....	79
2.3.6 Produção de cimento e tijolos.....	79
2.3.7 Disposição em aterros sanitários.....	81

2.3.8 Recuperação de áreas degradadas.....	82
2.3.9 Fins florestais.....	83
2.3.10 Fins agricultáveis.....	83
2.4 FATORES DE RISCO QUANTO AO USO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA .....	85
2.4.1 Metais Pesados .....	86
2.4.2 Agentes Patogênicos.....	87
2.4.2.1 Helmintos.....	88
2.4.2.2 Vírus .....	88
2.4.2.3 Bactérias.....	88
2.4.2.4 Cistos de Protozoários.....	89
2.5 BENEFÍCIOS DO LODO NA AGRICULTURA .....	89
2.5.1 Culturas aptas ao uso do lodo .....	91
CAPÍTULO 3: ASPECTOS LEGAIS RELACIONADOS COLETA, TRATAMENTO DE ESGOTO E DO LODO DE ESGOTO .....	93
3.1 NORMAS PARA OS LICENCIAMENTOS AMBIENTAIS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO .....	94
3.1.1 Resolução CONAMA nº 377 de 2006 .....	94
3.1.2 Resolução SEMA nº 001 de 2007 e Resolução SEMA nº 021 de 2009 ....	95
3.2 LEGISLAÇÃO SOBRE AS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES.....	96
3.2.1 Resolução CONAMA nº 430, de 2011 .....	97
3.3 LEGISLAÇÕES REFERENTES AOS FERTILIZANTES USADOS NA AGRICULTURA .....	99
3.3.1 Instrução Normativa nº 25 de 2009.....	99
3.3.2 Decreto nº 4.954 de 2004; Decreto nº 8.059 de 2013; e Decreto nº 8.384 de 2014.....	102
3.4 LEGISLAÇÃO QUANTO AO USO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA .....	104
3.4.1 Resolução CONAMA nº 375 de 2006 .....	105
3.4.1.1 Exigências para o uso do lodo.....	105
3.4.1.2 Restrições quanto ao uso do lodo de esgoto.....	110
3.4.1.3 Projeto agrônômico e UGL .....	112
3.4.1.4 Aplicação do lodo de esgoto.....	113
3.4.1.5 Monitoramento da área de aplicação do lodo de esgoto .....	115
3.4.1.6 Quanto as reponsabilidades .....	117
3.4.2 Resolução SEMA nº 001 de 2007 e Resolução SEMA nº 021 de 2009 ..	118

CAPÍTULO 4: REDE COLETORA DE ESGOTO, ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO-MARRECAS.....	124
4.1 USO DO LODO NO PARANÁ.....	124
4.2 ÁREA DE ESTUDO .....	125
4.2.1 Rede de coleta e tratamento de esgoto em Francisco Beltrão .....	127
4.2.2 Estudo sobre a percepção da população quanto a rede coletora de esgoto em Francisco Beltrão .....	129
4.3 TRATAMENTO DE ESGOTO E DO LODO DE ESGOTO DA ETE-MARRECAS.....	135
4.4 REUTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO DA ETE-MARRECAS .....	143
4.5 MONITORAMENTO DO LODO .....	145
4.5.1 Análises do lodo de esgoto.....	145
4.5.2 Análises do solo.....	152
4.5.2.1 Ano 2012 .....	153
4.5.2.2 Ano 2015 .....	155
4.5.2.3 Ano 2016 .....	158
4.6 IMPRESSÕES E VISÕES DOS USUÁRIOS DO LODO DE ESGOTO.....	159
4.6.1 Agricultores recebedores do lodo em 2012 .....	159
4.6.1.1 Agricultor da área A.....	159
4.6.1.2 Agricultor das áreas B e C.....	161
4.6.1.3 Agricultor da área D.....	162
4.6.2 Agricultores recebedores do lodo em 2015 .....	162
4.6.1.1 Agricultor da área A.....	162
4.6.1.2 Agricultor da área B.....	163
4.6.1.3 Agricultor da área C.....	164
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	166
REFERÊNCIAS .....	170
APÊNDICE A.....	182
APÊNDICE B.....	184

## INTRODUÇÃO

A coleta e o tratamento de esgoto são medidas integrantes do saneamento básico, o qual tem por finalidade diminuir a contaminação dos indivíduos por agentes patogênicos, dando-lhes uma condição de vida mais humanizada para a população, através da mitigação de impactos ambientais adversos.

O tratamento do esgoto varia de estação para estação, assim como seu volume e sua composição. Contudo, todas as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) geram, durante o processo de tratamento, o lodo de esgoto considerado, à princípio, um rejeito. Entretanto, este biossólido (lodo de esgoto) vem sendo valorizado nas últimas décadas, sobretudo nos últimos anos, a partir do estabelecimento de Normas Federais e Estaduais que têm regulamentado sua utilização.

A disposição final do esgoto tornou-se um problema sanitário e ambiental, impulsionado pela falta de saneamento básico para as populações urbanas, acarretando no lançamento de esgoto em rios e no próprio solo. Assim, as ETEs são fundamentais para a correta coleta, tratamento e destinação do esgoto das cidades.

O desenvolvimento e a adequação de métodos de tratamento de esgoto possibilita separar a parte sólida da líquida e gerar o biossólido, que pode ser utilizado na construção civil e como fertilizante de solos em áreas agrícolas, silvícolas e em áreas degradadas. Porém, é importante verificar como ocorre esse processo de descontaminação do lodo de esgoto e como ele vem sendo utilizado como fertilizante para solos.

O município de Francisco Beltrão possui a Estação de Tratamento de Esgoto Marrecas, gerenciada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Esta empresa é a responsável pela coleta, tratamento e destinação final do esgoto. Destaca-se que o lodo desta estação é disponibilizado para a adubação agrícola. Assim, o principal objetivo desse trabalho é pesquisar o processo de tratamento e descontaminação do lodo de esgoto, bem como sua utilização como fertilizante de solos no município de Francisco Beltrão-PR.

Ações como esta devem ser priorizadas, pois o lodo, antes de ser utilizado como matéria-prima para outros produtos ou mesmo um produto com valor agregado, sempre foi considerado um rejeito, ou seja, um resíduo sem utilidade e com potencial contaminante. Com o aproveitamento de rejeitos, uma quantidade significativa de

recursos naturais deixa de ser extraída da natureza e esses não se tornam passivos ambientais.

São inúmeros os fatores positivos quanto ao reaproveitamento ou reciclagem do lodo de esgoto. Entretanto, é preciso reconhecer os fatores negativos caso o processo de tratamento e de manejo do mesmo não são adequados. Por isso, surgem alguns questionamentos que serão discutidos nessa dissertação: Quais as formas de higienização do lodo? Quais as Normas Federais e do estado do Paraná que devem ser seguidas visando a segurança do meio ambiente e da população? Que tipos de solos e de culturas podem utilizar o biossólido? Como ocorreu a iniciativa de destinar o lodo de esgoto à agricultura? Que resultados a utilização do biossólido traz para as culturas nas quais ele foi incorporado? Como deve ser o monitoramento do lodo após sua aplicação? Esse monitoramento tem ocorrido no município de Francisco Beltrão de forma adequada?

Para responder a essas e a outras perguntas, este trabalho teve como objetivo geral investigar e avaliar os procedimentos de tratamento, de disposição, de uso e de monitoramento do lodo de esgoto produzido na ETE Marrecas, por meio de entrevistas com profissionais da Sanepar e com os agricultores que receberam o biossólido.

Os objetivos específicos da dissertação foram:

- Analisar os métodos existentes de tratamento do lodo de esgoto para utilização na agricultura;
- Conhecer as exigências e os parâmetros da Legislação Federal e Estadual referentes ao tratamento e ao uso agrícola de lodo de esgoto;
- Levantar a quantidade de material sólido oriundo da ETE Marrecas;
- Averiguar os procedimentos de tratamento do lodo na ETE, até estar apto para uso agrícola;
- Verificar como e para quem é disponibilizado o lodo;
- Analisar a forma de monitoramento, caso haja, do lodo após a disponibilização pela Sanepar;
- Verificar a utilização do biossólido por parte dos agricultores, considerando aspectos negativos e positivos.

## **Procedimentos Metodológicos**

Para esta pesquisa utilizamos procedimentos metodológicos cotidianos aos trabalhos dessa natureza. A primeira etapa foi uma discussão teórica sobre saneamento básico, tratamento de esgoto e do lodo oriundo desse processo, formas de utilização do lodo de esgoto, com destaque para seu uso na agricultura. Para tanto, recorreu-se a literatura científica sobre o assunto, através da leitura de livros, artigos, dissertações, teses e cartilhas elaboradas por órgãos governamentais ligados ao meio ambiente.

Em seguida, realizamos um levantamento e análise da Legislação Federal e Estadual para a coleta e tratamento do esgoto, bem como para a produção do biossólido e sua utilização. Essas normas estão presentes na forma de Leis, Decretos e instruções Normativas Federais e paranaenses, referentes ao licenciamento de estações de tratamento de esgoto; às condições e padrões de lançamentos de efluentes; ao uso de fertilizantes na agricultura; e uso de lodo de esgoto na agricultura.

Além dessas informações secundárias, obtidas de outros trabalhos e de normas legais, a pesquisa utilizou dados primários, obtidos por meio de entrevistas com sujeitos envolvidos com o tratamento e disposição do lodo de esgoto no município de Francisco Beltrão, mais precisamente na Estação de Tratamento de Esgoto Marrecas, que é a única da cidade.

Por isso, as ações realizadas quanto ao gerenciamento, tratamento e destinação do lodo de esgoto foram levantadas junto a Sanepar por meio de um roteiro de questões abertas (Apêndice A), que contempla questões como: Qual é o processo de tratamento do esgoto da ETE Marrecas? A qual classe pertence o lodo gerado nesta estação? Quais os processos de higienização do biossólido? Além de questões referentes a distribuição do lodo para os agricultores e monitoramento do lodo após aplicação no solo.

Realizamos a entrevista com o gerente regional da Sanepar, o qual repassou algumas informações e outras foram adquiridas por meios eletrônico (e-mail) e telefônicos, com engenheiros agrônomos e outros funcionários da companhia.

Outra fonte de dados utilizada foram os laudos das análises do lodo produzido na estação e dos solos recebedores desse material. Para conhecer o histórico da destinação do lodo no Paraná, contatamos engenheiros responsáveis por esta ação no Sudoeste e em outras regiões do Paraná. Também entrevistamos todos os

agricultores que receberam o lodo de esgoto da ETE Marrecas, exceto um por não conseguimos contato, para utilizá-lo com fins agrícolas. Primeiramente telefonávamos para saber se o agricultor estava disposto a responder ao questionário, recebendo uma resposta positiva, íamos ao local para a entrevista.

Estas entrevistas foram efetuadas de forma oral, com um roteiro de questões abertas (Apêndice B), e abrangeram temas como: monitoramento dos solos onde o biossólido tem sido utilizado; culturas em que o lodo é utilizado como fertilizante; como ficaram sabendo desta distribuição, entre outras indagações.

## **Estrutura da dissertação**

Para esta dissertação foram elaborados os três primeiros capítulos de revisão bibliográfica, que contemplam as seguintes temáticas: a) o saneamento básico, a realidade e o histórico brasileiro; b) o marco regulatório referente ao saneamento básico; c) os problemas sanitários vinculados a falta ou ineficiência de saneamento básico; d) tratamento de esgoto; e) conceito de lodo de esgoto; f) características do bio sólido; g) os possíveis usos do lodo de esgoto; h) as preocupações quanto ao uso do lodo de esgoto na agricultura; i) os aspectos positivos do uso do bio sólido na agricultura; j) as Legislações brasileira e paranaense que norteiam o uso do lodo de esgoto; o licenciamento para empreendimentos de tratamento de esgoto; instruções para fertilizantes; e parâmetros para o lançamento de líquidos destinados à corpos d'água após o tratamento do esgoto.

As principais referências utilizadas para a construção do primeiro capítulo foram: Santos; Costa; Teixeira et al.; Salles e Melamed; e Miranda. No capítulo 2, utilizou-se com maior frequência os seguintes autores: Andreoli; Bettiol e Camargo; Pegorini; Ferreira; Chagas; Miki, Haandel e Além Sobrinho; David; Fernandes e Souza; Pedroza et al.; Chueiri; Tsutiya; e Ihlenfeld. No terceiro capítulo, destinado à Legislação, as Leis mais importantes para esse trabalho foram a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 375/2006 e Resolução da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) nº 021/2009 e nº 001/2007.

O quarto capítulo tem como temática uma avaliação do tratamento do lodo de esgoto na ETE Marrecas, situada no município de Francisco Beltrão, bem como de seu uso no município. Esta avaliação contém a dimensão da cobertura da rede de esgoto; processo de tratamento da ETE, o volume de lodo de esgoto gerado; o tratamento do lodo de esgoto e seu destino; as Legislações que a Sanepar segue para garantir a qualidade adequada do bio sólido; como ocorre a distribuição do lodo; quais as medidas para monitorar o lodo destinado à agricultura. Constam também neste capítulo entrevistas com os agricultores que receberam o bio sólido para utilizarem como fertilizante agrícola em suas propriedades, que contém questionamentos presentes nos Apêndices A e B.

## CAPÍTULO 1: SANEAMENTO BÁSICO

As funções dos serviços oferecidos pelo saneamento básico são tidas como necessárias e primordiais, pois acarretam impactos tanto em relação a saúde dos indivíduos quanto ao meio ambiente (SAIANI; TONETO; DOURADO, 2013). Para Moraes (2009), além de fundamental à vida humana e de outras espécies que podem ser prejudicadas com o lançamento inadequado de dejetos, o saneamento deve ser uma meta social, em vista das consequências adversas de sua inexistência.

Para Guerra (2011), o saneamento básico é um instrumento que objetiva proporcionar bem-estar, segurança e saúde à população, evitando que os indivíduos entrem em contato com agentes patogênicos ou produtos que os possam contaminar.

A ausência de saneamento tem potencial para provocar consequências adversas, como: aumento nas inundações, poluição e contaminação das águas e doenças à população (KRONENBERGER et al., 2011). Com a disposição inadequada de resíduos sólidos, em áreas urbanas e rurais, somada a falta de coleta, esses resíduos poderão ser conduzidos a corpos d'água em períodos de chuvas ou permanecerão nos locais em que foram deixados, levando à contaminação de solos, águas, animais e do próprio homem. Com solos e águas contaminados, a população poderá adquirir diversos tipos de doenças, através do consumo de plantas e águas. Da mesma forma, a disposição inadequada de efluentes, domésticos ou industriais, entre eles o esgoto humano, também é um agente contaminador do meio ambiente e da população.

A ausência de ações de saneamento básico garante uma condição sanitária precária à população, fazendo com que enfermidades decorrentes da falta ou inexistência delas sejam fatores propícios ao aparecimento de doenças.

É importante que esteja claro para todos que esse complexo sistema, interligando todas as ações, no qual cabe a população a responsabilidade de dispor os resíduos de forma correta e, aos órgãos públicos do setor, o dever de proporcionar e assegurar o acesso de todos a esses serviços do saneamento básico (disposição e tratamento de resíduos sólidos e efluentes, abastecimento de água potável e escoamento correto de águas pluviais).

De acordo com a Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, o saneamento básico é composto

pelas obras de infraestrutura, instalações operacionais e um conjunto de serviços. Os serviços que compõem o saneamento básico são: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem urbana e manejo de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007a). É importante destacar que anteriormente à Lei nº 11.445/2007, o saneamento básico era restrito ao esgotamento sanitário e ao abastecimento de água. O manejo dos resíduos sólidos, limpeza pública, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas foram incluídos a partir de 2007 (BRASIL, 2011a).

Além do acesso aos serviços de saneamento básico ser um direito de toda a população, a Lei nº 11.445/2007 assegura a universalidade e integralidade desse acesso.

Entre os serviços relacionados ao saneamento básico, a ênfase desse trabalho está no esgotamento sanitário, ou seja, a problemática relacionada aos dejetos de origem humana. A Lei nº 11.445/2007 define esgotamento sanitário como um sistema “constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente” (BRASIL, 2007a, Artigo 3).

Para Rooke e Ribeiro (2010), a forma de consumo atual e o aumento populacional têm sido fatores que fazem a poluição do ambiente crescer. Embora haja um maior desenvolvimento tecnológico e científico, os custos de instalação, manutenção de infraestrutura e de prestação de serviços na área de saneamento básico têm sido cada vez maiores. De acordo com Camdessus et al. (2005), a população cresce exponencialmente em locais onde não se tem acesso a água e tampouco aos outros serviços de saneamento.

Na verdade, a população que não tem acesso à moradia, busca um lugar para viver. Isso amplia a ocupação de áreas sem infraestrutura, ou seja, sem água tratada e outros serviços de saneamento básico.

As ferramentas utilizadas com a finalidade de neutralizar ou, ao menos, mitigar os danos ambientais causados pelas atividades antrópicas, sobretudo pela ausência de condições adequadas de tratamento dos resíduos gerados, são válidas e muitas vezes eficazes. Todavia, elas não têm sido capazes de acompanhar o crescimento populacional nem o crescimento da produção e do consumo de mercadorias.

A problemática vivenciada devido à ausência ou à má operação dos sistemas de saneamento não é resultado apenas de ações atuais. Desde que as cidades foram povoadas, ocorreu uma ocupação irregular e desordenada, levando a um custo ambiental, econômico e social elevado. Devido aos problemas citados, as cidades foram se estendendo sobre áreas que deveriam ter sido preservadas ou então sobre áreas rurais, além dos morros e fundos de vales. Por essas razões, o saneamento torna-se oneroso, é necessária uma ampliação muito grande das redes de distribuição de água, de coleta de esgoto sanitário, de drenagem urbana ou cobertura da coleta dos resíduos (BRASIL, 2009).

As políticas de saneamento no Brasil surgiram após a existência desse amplo passivo ambiental, de modo que até hoje, há carência na cobertura de saneamento no Brasil.

Para Barreto e O'Neill (2011), um problema enfrentado pelos municípios é a falta de planejamento quanto ao saneamento. As ações têm sido esparsas e não têm acompanhado o crescimento urbano.

Este é um ponto relevante. O crescimento desordenado das cidades, sem que haja infraestrutura para essa expansão, faz com que a ausência de serviços seja uma realidade, não comportando os sistemas de esgotamento sanitário e redes de drenagem urbana. O abastecimento de água e a coleta e disposição correta de resíduos sólidos geralmente são serviços priorizados.

Para que o saneamento básico seja considerado uma ferramenta que promove a saúde é preciso que alguns obstáculos sejam superados, tanto da ordem política e tecnológica como gerencial (ROOKE e RIBEIRO, 2010).

Em municípios de pequeno porte, devido à falta de recursos ou à falta de gestão adequada, no que se refere a não direcionar orçamento adequado para o saneamento, os investimentos neste setor têm sido geralmente baixos. Mais do que isso, investe-se pouco em obras onde as mesmas não são vistas diretamente pelos olhos da população. São obras que ficam instaladas no subsolo e seus benefícios são proporcionados de maneira indireta, como por exemplo, evitando uma série de doenças. São investimentos que não atraem visibilidade para governantes e, muitas vezes, não são reconhecidos pela população como prioridade. Certamente, se a população fosse indagada sobre uma possível escolha entre receber a rede de esgoto interligada em sua casa ou uma recapagem de asfalto na rua onde reside, muitos escolheriam a segunda opção.

Não é objetivo desta colocação desmerecer uma atividade ou outra, porém, para que a população possa lutar por seus direitos, ela precisa ter conhecimento de quais são esses direitos. No caso do saneamento, o conhecimento popular sobre a importância de ações como acesso a água potável, esgoto sanitário, coleta de resíduos sólidos, entre outras, é fundamental para que a população cobre o poder público por esses direitos.

Saiani, Toneto e Dourado (2013) afirmam que deveriam haver maiores investimentos Federais neste setor, necessários em grandes municípios, mas sobretudo nas áreas periféricas e locais maiores com uma população de baixa renda.

Entende-se aqui como população de baixa renda, a porção dos habitantes de um respectivo município sem acesso a um salário ou com uma baixa remuneração. Como essa população mais pobre ocupa áreas periféricas, mais distantes da região central, essas áreas geralmente não possuem acesso ao esgotamento sanitário. Dessa forma, a falta de saneamento tem uma relação direta com a carência de acesso à terra e à lotes urbanos com infraestrutura.

De acordo com Peixoto (2009), como o saneamento básico é um serviço público e toda a população paga para que possam ser desenvolvidos e utilizados os mesmos, é dever do Estado disponibilizar acesso à população, mesmo que haja uma parcela que seja impossibilitada desse pagamento. Nestas situações, o poder público deve apresentar meios para a universalização dos serviços de saneamento básico.

Segundo o Estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257/2001, compete a união, entre outras obrigações, proporcionar programas e melhorias para o setor de saneamento básico, podendo ser realizado estas ações em parceria com municípios e estados (BRASIL, 2001).

Para a efetivação de um saneamento básico eficiente, são necessários envolvimento e esforços políticos, técnicos e econômicos. Políticos para obter recursos e os direcionar corretamente, de forma justa e integral. Empenho técnico e econômico utilizando uma tecnologia eficiente e sustentável para a garantir uma boa qualidade de vida para a população sem utilizar demasiadamente o dinheiro público, fazendo uso de equipamentos e maquinários apropriados. Ressaltamos que nenhuma das três esferas pode sobressair as outras, pois nenhum interesse deve ter mais valor que os demais, seja ele político, econômico ou técnico.

Para universalizar as ações de saneamento é essencial que as políticas públicas de saúde, habitação, preservação ambiental, crescimento urbano, entre

outros, sejam interligadas (BRASIL, 2014b). Se houver investimento em atividades que promovam uma coleta e tratamento de esgoto, há uma grande possibilidade de menos indivíduos contraírem doenças vinculadas a este efluente contaminado. Além disso, medidas tomadas em prol do saneamento podem evitar inundações e poluições de rios e enchentes (BRASIL, 2014b). De acordo com Teixeira, Gomes e Souza (2012), a comunidade científica atesta o vínculo entre más condições de saneamento e problemas de saúde pública em um respectivo local.

São conhecidos os riscos aos quais uma população desprovida de saneamento está exposta, principalmente em locais carentes de todos os serviços. As moradias situadas nesses lugares não contêm áreas para recreação infantil ou lazer. Geralmente, são próximas aos rios, em fundos de vale e isso contribui para que os indivíduos tenham contato com águas e solos contaminados ou, até mesmo, com o esgoto em si ou resíduos sólidos, vivendo em uma condição totalmente insalubre e expostos ao risco de contraírem diversas doenças.

Mais uma vez deparamo-nos com uma discussão que parece não ter fim: o crescimento econômico progressivo, sem se levar em consideração aspectos sanitários e ambientais. Logo, como não há infraestrutura para acabar com a carência por esses serviços, pouco avançamos na resolução do problema.

Esses impasses poderiam ter sido evitados se houvesse planejamento nas ações de expansão das cidades, porém como não houve, cabe apenas a lamentação do ocorrido e a tentativa de implementar ações corretivas. Entretanto, para as ações futuras, o planejamento é necessário para não gerar um agravo ainda maior para o setor.

O planejamento é fundamental para qualquer tarefa ser efetuada com sucesso, principalmente quando realizada com dinheiro público. Para Lisboa, Heller e Silveira (2013), o planejamento de um município no que se refere a saneamento traz ganhos na preservação dos bens naturais, sobretudo dos recursos hídricos. A Lei Nacional do Saneamento Básico (LNSB), Lei nº 11.445/2007 em vigor, exige a elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), porém para que sejam efetivamente apropriados e usuais, eles devem ser redigidos não apenas para cumprir a Legislação, mas para auxiliar o município no processo de gestão ambiental e territorial.

Os avanços no setor de saneamento têm melhorado recentemente, sobretudo, com o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que estendeu a

disponibilidade de investimento em saneamento e, também com a Lei nº 11.445/2007. Entre os anos de 2003 e 2006, os investimentos eram de R\$ 3 bilhões anuais e passaram para aproximadamente R\$ 10 bilhões por ano, de 2007 a 2010 (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2009).

Embora tenham ocorrido avanços em todos os eixos do saneamento básico no Brasil, Murtha, Castro e Heller (2015) afirmam que são muitas as fragilidades e debilidades encontradas, sobretudo na coleta e tratamento dos esgotos e na disposição dos resíduos sólidos. Como essas ações estão interligadas, não havendo coleta e tratamento do esgoto ocorre a poluição de corpos hídricos, que possivelmente servirão para abastecimento de água e impactarão na saúde da população.

Novamente aparece a relevância do Governo proporcionar o acesso integral aos serviços de saneamento básico a toda a população e não apenas de forma pontual. Muitos esforços foram feitos para aumentar os investimentos nessa área, mas muito ainda deve ser realizado. É um trabalho árduo e cíclico.

As condições sanitárias brasileiras não são exemplares. Parte desta situação ocorre pelo descumprimento do Governo Federal de suas obrigações, principalmente quanto ao fornecimento de financiamentos e regulação dos serviços (BRASIL, 2011a). É importante destacar essa afirmação, pois é efetuada em um documento elaborado pelo Ministério das Cidades, órgão governamental.

Para Chagas (2000), o saneamento é um importante instrumento de prevenção de uma série de doenças e por isso, devemos dar a devida relevância a estudos que contenham o tratamento de esgoto em seus conteúdos. São várias as doenças de veiculação hídrica, tais como a cólera, hepatite infecciosa, leptospirose, entre outras.

Estas doenças, bem como diversos outros problemas sanitários, são estimulados pela ausência ou precariedade do saneamento básico tema que abordamos, a seguir.

## 1.1 PROBLEMAS SANITÁRIOS

Atualmente, as relações entre a falta ou a precariedade de saneamento básico com várias doenças contraídas pelos humanos são bem conhecidas. No entanto, nem sempre foi assim.

De acordo com Santos (2009) a partir do século XIX, com evidências científicas, principalmente bacteriológicas e epidemiológicas, acentuaram-se a relevância das medidas de saneamento como um elemento de prevenção de doenças. Nessa época, foram explicadas algumas relações entre várias doenças e a falta de saneamento. Com este acontecimento, principalmente na Europa, estendeu-se a criação de sistemas coletivos de saneamento, ou seja, de rede coletora de esgoto e de estações de tratamento. É neste momento que “a prática intuitiva” é substituída por uma base científica e descrições históricas nas quais apontam à mitigação de doenças como cólera, febre tifoide, dentre outras, após a implantação de serviços de saneamento.

Antes desse momento, acreditava-se que haviam relações entre essas doenças e a ausência de saneamento, porém, não haviam comprovações científicas. Esse foi um passo importante dado, porque preocupavam-se muito as doenças que, com frequência, não tinham um tratamento adequado ou cura. Passaram então, a se preocuparem com o problema, buscando agir de forma a prevenir o impasse.

O saneamento deve ter como base, um saneamento preventista, assim como as ações de saúde, com o intuito de seguirem os mesmos eixos temáticos, isto é, a prevenção de doenças (SOUZA; FREITAS, 2009). Ao integrar os setores de saúde e saneamento, tem-se que o saneamento é conceituado a partir de atos de proteção, prevenção e promoção da saúde e do ambiente (COSTA, 2009). Tal entendimento trouxe a necessidade de criar um mapeamento das condições ambientais vinculadas a falta de saneamento com elementos de risco à saúde como forma de desempenhar uma vigilância nestes serviços. Nos anos anteriores aos anos 2000, muitos estudos foram desenvolvidos referentes a esta relação, sobretudo, pelos gastos financeiros com saúde decorrente da ausência do saneamento básico. Então, a partir dos anos 2000 a Organização Mundial da Saúde (OMS) elaborou estudos que comprovaram que investimentos no setor de saneamento básico acarretam maiores ganhos financeiros do que outras formas de controle, prevenção ou cura de doenças (SANTOS, 2009).

A falta de saneamento não impacta negativamente somente no meio ambiente. Ela eleva os gastos com a saúde e déficits econômicos para a população como um todo. Os gastos da saúde não devem ser computados apenas com ações corretivas, medicamentos e internações, pois outros setores sofrem negativamente com estas adversidades (SANTOS, 2009).

É notório o aspecto que vincula a preocupação com a ausência de saneamento ao aparecimento de doenças na população mais carente. Percebeu-se que os valores gastos com o tratamento das enfermidades são altos quando comparados às ações de controle e prevenção de doenças. Assim, os investimentos em saneamento fazem parte das ações preventivas, enquanto os investimentos e tratamento das doenças decorrentes da falta de saneamento, estão dentro das ações corretivas. Certamente, gasta-se mais com ações corretivas do que com preventivas.

O Sistema Único de Saúde (SUS) menciona um conjunto de elementos os quais se relacionam com o saneamento, dentre eles: 1) a integração entre as atividades de saneamento, saúde e meio ambiente, sendo que a ênfase deve estar presente na epidemiologia; 2) o tema saúde deve abranger uma intersectorialidade envolvendo bens e serviços fundamentais para a sociedade, relacionando saneamento básico, educação, lazer, moradia, alimentação, entre outros; 3) na elaboração de políticas públicas para o setor a participação de diferentes atores da sociedade devem estar presente (SANTOS, 2009).

Com a finalidade de promover uma saúde ambiental adequada a todos, foi criado um setor integrador da saúde com o meio ambiente: o Subsistema Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental (SNVSA), ligado ao Sistema Nacional de Vigilância em Saúde, tendo como órgão responsável e executor de ações o Ministério da Saúde. Este subsistema fica encarregado de prover medidas integradas de saúde e saneamento, somado a isto, reconhecer e precaver alterações ambientais que podem impactar na saúde humana. Apesar de gerar muitos ganhos para o setor, os passos são pequenos por entraves políticos, culturais e institucionais, que são habituais de sistemas multisetoriais (SANTOS, 2009).

Os sistemas multisetoriais são importantes e necessários, ligando distintos setores, cada um com um conhecimento técnico e científico diferente. Eles contribuem para integrar as ações, que costumam ser realizadas sem diálogo entre as instituições responsáveis.

Souza, Freitas e Moraes (2007) destacam a importância da educação ambiental e sanitária da população, capaz de estabelecer novos hábitos, cada vez mais sustentáveis. Entretanto, há pouca participação decisória da sociedade que é somente mobilizada quando as decisões já estão tomadas. Para prevenir os impactos adversos da carência ou ausência de saneamento, pensa-se *a priori* em sistemas de engenharia e construção, tecnologias, na área física. Porém, a integração entre

saneamento básico e promoção da saúde exigem ações integradas, atividades de cunho multidimensional.

Segundo Costa et al. (2005), a vigilância ambiental vinculada à saúde é um tema recente no Brasil, e a vigilância sobre a qualidade da água se destaca, necessitando de amparo científico para o exercício desta vigilância. Essa relação entre a vigilância da saúde e do ambiente é uma ação multidimensional como destacado no parágrafo anterior. A precariedade do saneamento conhecida, conseqüentemente acarretará em problemas à saúde humana que, por meio de definição e escolha de indicadores epidemiológicos, serve como instrumento para a vigilância e para planos que visam garantir recursos financeiros ao saneamento.

As doenças e seus possíveis agravos poderiam ser minimizados se a integração entre as vigilâncias sanitária, ambiental e epidemiológica efetivamente caminhassem juntas e se fossem recolhidas informações necessárias para propor medidas corretivas ao saneamento precarizado (COSTA et al., 2005).

Para Santos (2009), a Lei nº 11.445/2007 é uma Legislação importante, pois dispõe de dispositivos para integrar saúde e saneamento. Além disso, a Lei englobou alguns princípios do SUS, tais como: a integralidade e universalização dos serviços, participação social, intersetorialidade e garantia à informação.

A implementação da LNSB é de fundamental importância ao setor da saúde, já que os princípios do SUS estão incorporados nela. Para Costa (2009), é necessária a inclusão da agenda do SUS na Lei. Com isso “a responsabilidade sanitária do SUS e do saneamento devem nortear as ações de saneamento” (p. 354).

Embora os dois órgãos - ambiental e de saúde - tenham os mesmos propósitos de integralidade e universalização dos serviços, participação social, intersetorialidade e garantia de informação, poucas ações conjuntas têm sido efetivadas na prática. Muitas vezes, a troca de informações entre os setores e o planejamento e gestão integrados não ocorre, dificultando a eficácia das ações.

O saneamento não deve ser apontado apenas como um conjunto coordenado de ações que objetiva promover ações de prevenção e erradicação de doenças. Ele deve também, ser um mecanismo de mudanças de costumes, atitudes e hábitos em busca da sustentabilidade ambiental e sanitária (SANTOS, 2009). Analisar o saneamento como apenas uma forma de combater as doenças por ele causadas é uma prática que deve ser abandonada tanto pela população quanto pelos governantes. Ainda que isso seja de extrema relevância, devem ser pautados em

outros aspectos para sensibilizar a esses atores da importância de criar técnicas e rotinas que conservem o meio ambiente.

De acordo com Santos (2009), lutou-se muito para relacionar a saúde ao saneamento todavia, em alguns períodos, sem embasamento científico e técnico. Nas décadas de 1970 e 1980, através dos movimentos sanitaristas. Com a criação do SUS, assim como nos anos anteriores a aprovação da Lei nº 11.445/2007, buscou-se assiduamente criar discussões a respeito da relação saúde-saneamento. A criação desta Lei preencheu um espaço significativo em relação às políticas públicas de saneamento no Brasil e isso foi essencial para o setor da saúde ao incrementar a política com os princípios do SUS.

Todas as medidas tomadas para uma melhoria nos setores de saúde e saneamento têm o intuito de garantir uma qualidade de vida satisfatória para a população sem que o meio ambiente seja impactado negativamente. Portanto, para que os indivíduos tenham uma boa qualidade de vida, além de bem-estar e outros componentes, a ausência de doenças é um fator determinante. Afim de demonstrar algumas doenças que poderiam ser prevenidas caso o saneamento fosse aplicado de forma integral e permanente, serão apresentadas doenças vinculadas ao saneamento e dados brasileiros serão expostos.

#### 1.1.1 Doenças relacionadas a falta ou à precariedade dos serviços de saneamento básico

Apesar de haver certa continuidade nos investimentos em serviços de saneamento no Brasil, buscando mitigar e erradicar as doenças decorrentes da falta do mesmo, a velocidade com que as obras e serviços vão sendo implantados é inferior à velocidade com que as áreas não consolidadas são ocupadas ou expandidas. Essa afirmação justifica, além de outros fatores, o déficit do saneamento brasileiro.

Para Santos (2009), embora a abrangência dos serviços de saneamento no Brasil tenha aumentado, esta cobertura continua sendo deficitária no país todo. Com isso, as doenças vinculadas à falta de saneamento ou à precariedade do saneamento são inúmeras e apresentam alta incidência. O quadro epidemiológico brasileiro é complexo, com doenças advindas dos problemas ainda vinculados à urbanização inadequada, tais como: diarreias, malária, dengue, entre outras.

De acordo com o estudo realizado por Teixeira e Pungirum (2005), no qual foram utilizados dados secundários provenientes da Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS), no período de 1998 a 2002, observou-se que quanto maior o acesso a cobertura de serviços de esgotamento sanitário, menor é a taxa de mortalidade em crianças com idade inferior a cinco anos.

Dentre as doenças parasitárias e infecciosas, a diarreia infantil é um grande agravante da saúde pública no Brasil até hoje. Os locais com piores indicadores de saúde localizam-se nas Regiões Norte e Nordeste, assim como indicadores de saúde-ambiente. Através disso, as políticas públicas socioambientais carecem de privilegiar o saneamento básico como método de prevenção à saúde infantil, prioritariamente, em locais menos favorecidos do Brasil (BUHLER et al., 2014).

A ocorrência de doenças como a diarreia infantil é mais comum nas Regiões Norte e Nordeste, justamente as regiões que apresentam baixas coberturas de todos os serviços de saneamento. Isso reforça ainda mais a relação entre a ausência de saneamento e as doenças infecciosas e parasitárias.

De acordo com o estudo epidemiológico realizado por Teixeira et al. (2014), o qual verificou a mortalidade e morbidade no Brasil ocasionadas pela precariedade de saneamento, utilizando dados Departamento de Informática do SUS (DATASUS) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as mortes ocasionadas por doenças parasitárias e infecciosas, entre 2001 e 2009, equivalem a de 4,51% do total de óbitos no país. As mortes relacionadas ao saneamento básico inadequado, em média, entre 2001 e 2009, apresentam um número de 12.068 mortes por ano. Os autores citados concluíram que o número de óbitos por doenças relacionadas ao saneamento básico inadequado diminuiu ao longo do período do estudo em 16,63%.

Embora os óbitos relacionados a doenças provocadas pela falta de saneamento tenham diminuído, ainda existe um número expressivo em relação as causas de outras mortes no país. Além disso, estes dados apresentados são apenas do SUS, isto é, não estão incluídos os óbitos da população que não utiliza o sistema público de saúde, concluindo que este número é ainda maior.

Dentre as doenças de notificação compulsória<sup>1</sup>, relacionadas com o saneamento básico com atendimento pelo SUS, as com maiores incidências são a

---

<sup>1</sup> Comunicação obrigatória à autoridade de saúde, realizada pelos médicos, profissionais de saúde ou responsáveis pelos estabelecimentos de saúde, públicos ou privados, sobre a ocorrência de suspeita

dengue, hepatite, esquistossomose e leptospirose, onde a média anual foi de 466.351 casos. Dentre estes casos, as Regiões com maiores ocorrências são Norte e Centro-oeste, sendo que a Região Norte possuiu 383,82 casos por 100 mil habitantes e a Centro-oeste 796,96 casos por 100 mil habitantes. A Região Sul demonstra a menor ocorrência com 46,73 casos por 100 mil habitantes (TEIXEIRA et al., 2014).

Os dados com menores expressões de doenças de notificação compulsória estão na Região Sul, sendo que esta apresenta uma das maiores coberturas de saneamento do país, juntamente com a Região Sudeste.

A morbidade hospitalar no SUS por doenças relacionadas ao saneamento básico deficitário representam em média, para os anos 2001 a 2009, 758.750 internações por ano. Nos anos da pesquisa, as internações foram reduzidas em 5,72%. Entre os anos de 2003 e 2009, duas doenças se sobressaíram em relação as demais: a dengue e a diarreia que foram as causadoras de 93% das internações hospitalares. A Região Norte e Nordeste foram as Regiões que apresentaram maiores números de internações por carência de saneamento básico, sendo que a Região Norte teve 7,50 internações por 1.000 habitantes e a Região Nordeste 6,20 internações por 1.000 habitantes. Em contrapartida, a Região Sudeste apresentou a menor proporção, de 1,71 internações por 1.000 habitantes (TEIXEIRA et al., 2014).

O estudo realizado por Teixeira et al., (2014) demonstra que o número de óbitos decorrente do saneamento básico inadequado em média, para o período entre 2001 e 2009, foi de 13.449 por ano o que corresponde a 1,31% das mortes ocorridas no período. As principais doenças causadoras de morte são doença de Chagas e diarreias, representando 83% do total de óbitos por causas definidas relacionadas ao saneamento básico inadequado (TEIXEIRA et al., 2014).

De acordo com Prado e Miagostovich (2014) a alta concentração de vírus expostas no ambiente estão vinculadas às condições sanitárias deficientes, seja por falta de tecnologia ou de cobertura de serviços. Desta maneira, os serviços de saneamento básico são essenciais para a não ocorrência de agente patogênicos de veiculação hídrica. Os maiores agentes virais causadores de doenças são os rotavírus e norovírus, adenovírus e enterovírus e o vírus da hepatite A.

Além do impacto causado na saúde da população em decorrência de condições de saneamento inadequadas, outro fator a ser considerado são os custos e as

---

ou confirmação de doença, agravamento ou evento de saúde pública, descritos no anexo, podendo ser imediata ou semanal (BRASIL, 2016).

despesas no tratamento dessas enfermidades. Valores estes que se fossem investidos em infraestrutura e ações preventivas, seriam menores e evitariam uma série de agravantes na saúde pública.

Avaliando as despesas com internações hospitalares devido a doenças relacionadas ao saneamento básico inadequado de despesas o total do SUS em internações hospitalares no país aumentou de 21,58% entre 2001 e 2009 (TEIXEIRA et al., 2014).

Os gastos com doenças vinculadas ao saneamento básico inadequado são altos, segundo o estudo de Teixeira et al. (2014), em média, nos anos da pesquisa, os gastos com doenças de notificação compulsória relacionadas ao saneamento inadequado representaram 0,26% do valor total atribuído as consultas médicas.

Para as doenças vinculadas com deficiência do saneamento, os valores são altíssimos e crescentes, no espaço temporal do estudo cresceram 141,4%, passando de R\$ 148.729.323,95 em 2001 para R\$ 359.040.900,09 em 2009, estes montantes equivalem a 2,92 e 3,55% do gasto total do SUS com internações hospitalares no país (TEIXEIRA et al., 2014).

O montante final dos gastos com doenças vinculadas ao saneamento básico inadequado foi de 2,141 bilhões de reais no período 2001 a 2009, isto é, 2,84% do gasto total do SUS com consultas médicas e internações hospitalares (TEIXEIRA et al., 2014).

Novamente, com a apresentação destes dados sobre os gastos públicos, podemos afirmar que mesmo com o aumento da cobertura dos serviços de saneamento, esse progresso é insuficiente, pois, os gastos com o tratamento das doenças aumentaram. Neste caso o que pode estar ocorrendo é o investimento no setor em áreas já consolidadas e não em áreas sem infraestrutura alguma, como deveria ocorrer.

## 1.2 HISTÓRICO E A REALIDADE BRASILEIRA

Conforme já comentado, o planejamento é importante para qualquer atividade a ser executada. Contudo, ao longo da história brasileira, o planejamento não esteve presente nas ações no decorrer do surgimento e crescimento das cidades, seja na área de saneamento básico, seja em outros setores.

De acordo com Lara (2014), para entender o problema sanitário e ambiental do Brasil por consequências da falta ou precariedade de saneamento básico, é necessário voltar para a década de 1950 e repensar alguns números. Em 1950, a população brasileira residente nas cidades era de 21 milhões habitantes (37% da população total); todavia, em 2010, o número foi superior a 170 milhões de habitantes (85% dos 195 milhões de habitantes).

Sousa e Costa (2013) argumentam que embora a economia brasileira tenha expandido de forma considerável nos últimos 20 anos, a oferta de serviços de saneamento básico tem sido insuficiente.

Vale destacar que mesmo havendo déficit na implantação e execução do saneamento básico até os dias atuais, a Constituição Federal de 1988 menciona que

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, Artigo 225).

Então, para haver uma sadia qualidade de vida é essencial que toda a população, sem distinção, tenha acesso aos serviços de saneamento básico.

A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação (BRASIL, 1988, Artigo 196).

Ainda nos termos da Constituição Federal, uma das competências do SUS é “participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico” (BRASIL, 1988, Artigo 200).

Observamos nas citações anteriores, retiradas da Constituição Federal, que toda a população tem seu direito assegurado a um ambiente sadio. Para atingir esse objetivo, deve haver um saneamento básico adequado à população brasileira e, quem deve proporcionar isso é o Governo (Federal, Estadual e Municipal) de maneira igualitária. Assim, cabe ao Estado desenvolver programas para garantir essa necessidade.

As Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs) nos estados do Brasil foram criadas na década de 1970, criando dois padrões para a prestação de serviços: Municipais e Estaduais. As companhias estaduais tinham o poder das tomadas de decisões sobre políticas públicas no Brasil, na qual elas mesmas

realizavam a fiscalização dos próprios serviços. Na década de 1970, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) foi considerado a maior política de saneamento do país, distribuindo assim, recursos para que os estados criassem suas CESBs. Com a extinção do PLANASA, em 1992, o Brasil ficou sem uma política para o setor. Na década de 1990, o Governo passou a apoiar a concessão privada dos serviços de saneamento, havendo pouco investimento na cobertura desses serviços nas áreas carentes e mais necessitadas (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2009).

Dessa maneira, o Brasil que ainda não tinha uma política pública de saneamento básico, ficou órfão da única ferramenta que norteava as ações de saneamento em nível nacional após a extinção do PLANASA.

Com a criação do Estatuto da Cidade, em 2001, e da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA), em 2003, o Governo Federal fomentou métodos de coordenação para esta esfera (SALLES; MELAMED, 2009). Com a criação destes órgãos houve um avanço na área, passando a existir um órgão exclusivo para o setor de saneamento, com ênfase para as consequências da ausência ou precariedade de saneamento.

Devido a reivindicação de movimentos sociais, o Ministério das Cidades (MC) foi criado em 2003 com a função de incorporar políticas vinculadas ao desenvolvimento urbano, abrangendo políticas referentes ao transporte, trânsito, saneamento e habitação (SOUSA; COSTA, 2013).

A integração de diversos setores em um único órgão ou ministério não é uma tarefa fácil, devido a fatores culturais, de aceitação por parte dos atores neles inseridos, pela falta de diálogo entre os mesmos, entre outros. Porém, torna-se uma alternativa pertinente, porque os interesses e ações são tomados de forma global, abrangendo todos os setores nele contidos. Posteriormente, uma melhoria impactará de maneira positiva em todos os setores, porque estas esferas estarão interligadas. Não há uma habitação adequada sem saneamento, assim como o trânsito não funciona de maneira fluida se o transporte público ou alternativo não for priorizado.

Uma Legislação importante para o setor de saneamento foi a Lei nº 11.107/2005 e seu Decreto 6.017/2007, que tratam da gestão de serviços e consórcios públicos. Esta Lei incentivou que municípios que continham os mesmos interesses agissem em parceria, a fim de melhorar o planejamento e o fornecimento de serviços no setor (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2009).

Pela dificuldade na organização da área de saneamento no Brasil, aprovou-se a Lei nº 11.445/2007. Esta Lei tem diversos pontos importantes, dentre elas a exigência da elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) para servir como documento embasador dos planos municipais (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2009).

O setor de saneamento no Brasil passa a ter um planejamento com a criação do PLANSAB no ano de 2007, com sua elaboração, prevista na Lei nº 11.445/2007, as medidas a serem tomadas são idealizadas para um período de vinte anos. Ademais, o PLANSAB serve de base para os planos municipais (SILVEIRA; HELLER; REZENDE, 2013).

A PLANSAB consiste no planejamento integrado do saneamento básico, incluindo os quatro componentes: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem das águas pluviais urbanas, e possui o horizonte de 20 anos, período 2014 a 2033 (BRASIL, 2014b).

O histórico brasileiro quanto ao saneamento básico apresenta pontuais melhorias, porém, são poucas as ações efetivas que trouxeram grandes avanços. Dessa forma, acredita-se que com a Lei nº 11.445/2007 e suas exigências, o país possa progredir de forma significativa neste setor.

Utilizando dados do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), do Ministério da Fazenda e do IBGE, Rezende et al., (2007) concluíram que os municípios com maior IDH são aqueles que demonstram percentuais mais elevados de redes de esgoto e água, enquanto os municípios com menores IDH são os que contêm menores índices de cobertura desses serviços. Além disso, os locais com mais de 200 mil habitantes têm mais oferta de serviços, todavia, a porcentagem de abastecimento de água é sempre sobressalente ao esgotamento sanitário. São aproximadamente 92% de cobertura de rede de água e 69,5% de rede de esgoto.

O histórico das investigações referentes ao saneamento básico inicia-se com uma parceria entre o Ministério da Saúde e o IBGE em 1974, no qual o IBGE ficou responsável pela coleta das informações. Três anos mais tarde, o IBGE ficou encarregado de planejar, coletar e contabilizar os dados sobre saneamento trienalmente. Porém, nos três triênios posteriores não foram realizadas pesquisas. Em 2000, foi incluída a pesquisa sobre drenagem urbana (SALLES; MELAMED, 2009).

Entre 1970 e 1980, enquanto a população urbana brasileira crescia de 52 milhões para 80 milhões de pessoas, a cobertura dos serviços de água nas cidades aumentava 13%, ou seja, de 60,5% para 79,2%,

incorporando 31,9 milhões de pessoas aos serviços de abastecimento de água. Entre os censos de 1980 e 1991, a população urbana passou para 111 milhões e a respectiva cobertura dos serviços de água para 86,3%. Este incremento, 4% acima do crescimento da população urbana na década, representou a incorporação de 32,4 milhões de pessoas aos serviços de abastecimento de água e esgoto (SALLES; MELAMED, 2009, p. 211).

Embora observe-se um aumento considerável na cobertura de abastecimento de água e esgoto nas décadas citadas, vale considerar que quando os dados da abrangência de abastecimento de água e esgoto são considerados juntos, a parcela da população atendida por esgotamento sanitário é inferior à aquela atendida por abastecimento de água para uso e consumo humano. Este é um fator que mascara um problema grave, pois, na medida em que a água é consumida, parte dela é encaminhada para a natureza novamente em forma de um efluente, como o esgoto. Logo, as redes de coleta e tratamento de esgoto deveriam acompanhar este crescimento para evitar impactos negativos da má disposição do esgoto.

Na década posterior, 1990, 89,8% da população urbana passou a ter acesso a água encanada e tratada, de modo que mais 28,1 milhões de pessoas passaram a receber esse serviço (SALLES; MELAMED, 2009).

Já em relação a rede coletora de esgoto, houve crescimento, porém, menor que a rede de água e o crescimento populacional. Em 1970, 11,5 milhões de pessoas passaram a ter acesso à rede coletora de esgoto. Na década seguinte, esse serviço foi ampliado e 23,5 milhões de pessoas tiveram acesso. Em 1990 o país apresentou um crescimento menor, nessa década, 24,1 milhões de pessoas possuíam em seus domicílios rede coletora de esgoto (SALLES; MELAMED, 2009).

Os autores ainda chegaram à conclusão de que os serviços de saneamento no país são desiguais. Os locais mais carentes são municípios pequenos, áreas rurais favelas e periferias de cidades grandes (SALLES; MELAMED, 2009). Wartchow (2009, p. 274), fez uma lamentável e real afirmação: “no Brasil, os mais ricos da população têm saneamento igual ao dos países mais ricos e os mais pobres caminham com sua sede num ambiente de degradação e doença”.

No próximo tópico dessa dissertação, serão apresentados os principais pontos da Lei nº 11.445/2007, uma Lei importante no tocante das diretrizes sobre o saneamento brasileiro.

### 1.3 MARCOS INSTITUCIONAIS RECENTES DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

A Lei nº 11.445/2007 foi o marco legal no setor de saneamento, pelo fato de instituir as diretrizes nacionais para o saneamento básico e a Política Federal de Saneamento Básico.

A Lei trouxe muitas inovações para a gestão desta área, entre elas, a obrigatoriedade do planejamento, a curto, médio e longo prazo, a exigência da regulação e fiscalização, a ampliação das formas de prestação de serviços, a implantação do controle social como forma de participação da sociedade na definição das políticas e no controle e fiscalização da prestação dos serviços, e a necessidade de respeitar o direito dos usuários (OLIVEIRA FILHO, 2009, p. 544).

Dentre as informações e diretrizes relevantes para o setor, talvez o maior ganho desta Lei foi exigir que os municípios realizem uma importante fase em situações que requerem melhorias e investimentos: o planejamento. Todas as críticas e questionamentos realizados até o momento estão relacionados à ausência de planejamento desde a ocupação do Brasil e a criação das cidades. A partir da LNSB (Lei nº 11.445/2007), a federação obriga os municípios a pensarem e a planejarem suas ações.

Nesta temática, a Lei em questão não fala sobre a destinação de recursos financeiros, mas isto é necessário para que investimentos sejam executados (DUTRA, 2009).

Devido à importância desta Lei, a seguir destacamos alguns pontos referentes a ela. O primeiro apontamento refere-se ao Art. 2º o qual estabelece os princípios fundamentais da Lei

a) Universalização do acesso; b) integralidade; c) abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos; d) disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes; e) adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais; f) articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social; g) eficiência e sustentabilidade econômica; h) utilização de tecnologias apropriadas; i) transparência das ações; j) controle social; k) segurança, qualidade e regularidade; l) integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos; m) adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água (BRASIL, 2007a, Artigo 2º).

Todos esses princípios têm sua importância, pois, todos são necessários e, se fossem aplicados aos serviços de saneamento básico integralmente e de forma concomitante, os impasses e preocupações relacionados aos riscos e adversidades causados pela ausência de saneamento poderiam ser minimizados ou até solucionados.

No Art. 48 da Lei, ficam estabelecidas as diretrizes a serem implantadas em toda a federação,

a) Prioridade para as ações que promovam a equidade social e territorial no acesso ao saneamento básico; b) aplicação dos recursos financeiros por ela administrados de modo a promover o desenvolvimento sustentável, a eficiência e a eficácia; c) estímulo ao estabelecimento de adequada regulação dos serviços; d) utilização de indicadores epidemiológicos e de desenvolvimento social no planejamento, implementação e avaliação das suas ações de saneamento básico; e) melhoria da qualidade de vida e das condições ambientais e de saúde pública; f) colaboração para o desenvolvimento urbano e regional; g) garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares; h) fomento ao desenvolvimento científico e tecnológico, à adoção de tecnologias apropriadas e à difusão dos conhecimentos gerados; i) adoção de critérios objetivos de elegibilidade e prioridade, levando em consideração fatores como nível de renda e cobertura, grau de urbanização, concentração populacional, disponibilidade hídrica, riscos sanitários, epidemiológicos e ambientais; j) adoção da bacia hidrográfica como unidade de referência para o planejamento de suas ações; k) estímulo à implementação de infraestruturas e serviços comuns a Municípios, mediante mecanismos de cooperação entre entes federados; l) estímulo ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos e métodos economizadores de água (BRASIL, 2007a, Artigo 48).

O artigo citado anteriormente, define que a população deve ser servida dos serviços de saneamento de maneira igualitária e com equidade, muito diferente do que se vê na prática. Ainda que a Lei tenha sido publicada no ano 2007, espera-se que essas diretrizes sejam cumpridas pelo Governo e que a população tome conhecimento delas para poder colaborar com a implantação das mesmas.

A LNSB merece destaque por mencionar ações em conjunto para que o saneamento básico seja melhorado. Em seu Parágrafo Único, o Artigo 2 cita a articulação entre as esferas do “desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate e erradicação da pobreza, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social” (BRASIL, 2007a, Artigo 2).

Os objetivos da Política Federal de Saneamento Básico destacados no Art. 49, são necessários para a compreensão da importância da Lei, sendo os seguintes:

a) Contribuir para o desenvolvimento nacional, a redução das desigualdades regionais, a geração de emprego e de renda e a inclusão social; b) priorizar planos, programas e projetos que visem à implantação e ampliação dos serviços e ações de saneamento básico nas áreas ocupadas por populações de baixa renda; c) proporcionar condições adequadas de salubridade ambiental aos povos indígenas e outras populações tradicionais, com soluções compatíveis com suas características socioculturais; d) proporcionar condições adequadas de salubridade ambiental às populações rurais e de pequenos núcleos urbanos isolados; e) assegurar que a aplicação dos recursos financeiros administrados pelo poder público dê-se segundo critérios de promoção da salubridade ambiental, de maximização da relação benefício-custo e de maior retorno social; f) incentivar a adoção de mecanismos de planejamento, regulação e fiscalização da prestação dos serviços de saneamento básico; g) promover alternativas de gestão que viabilizem a auto sustentação econômica e financeira dos serviços de saneamento básico, com ênfase na cooperação federativa; h) promover o desenvolvimento institucional do saneamento básico, estabelecendo meios para a unidade e articulação das ações dos diferentes agentes, bem como do desenvolvimento de sua organização, capacidade técnica, gerencial, financeira e de recursos humanos, contempladas as especificidades locais; i) fomentar o desenvolvimento científico e tecnológico, a adoção de tecnologias apropriadas e a difusão dos conhecimentos gerados de interesse para o saneamento básico; j) minimizar os impactos ambientais relacionados à implantação e desenvolvimento das ações, obras e serviços de saneamento básico e assegurar que sejam executadas de acordo com as normas relativas à proteção do meio ambiente, ao uso e ocupação do solo e à saúde; k) incentivar a adoção de equipamentos sanitários que contribuam para a redução do consumo de água; l) promover educação ambiental voltada para a economia de água pelos usuários (BRASIL, 2007a, Artigo 49).

Para Montenegro (2009) a LNSB não solucionará todos os problemas deste setor em um passe de mágica, mas possibilitará modificações que até o momento estavam estagnadas. Ainda para o autor, ela é importante por englobar mais serviços de saneamento básico, tais como: manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais. Além disso, define que estas atividades sejam desempenhadas através de “planejamento, regulação, fiscalização e controle social”.

Para Dutra (2009), esta Lei visa um melhor contato entre os prestadores de serviço de saneamento e as unidades da federação, de maneira democrática, a fim de alcançar a universalização do acesso aos serviços.

Ademais, é fundamental a participação da sociedade na elaboração dos PMSB, pois cada município deverá criar normas e metodologias de regulação dos serviços para obter um planejamento perene e metódico.

De acordo com Marinho (2009), o primeiro passo e desafio dos municípios é a elaboração dos planos e, posteriormente, a construção de contratos que demonstrem as necessidades dos municípios e os projetos para as melhorias.

A elaboração desta Lei foi realmente um ganho, pela redação que impõe e pelas ações exigidas por ela. Cabe aos poderes públicos, Municipal, Estadual e Federal colocar em prática as exigências e fiscalizar o andamento das ações legais previstas na Lei.

### 1.3.1 Plano Nacional de Saneamento Básico

Como explicitado anteriormente, o PLANSAB foi criado para servir de base para os PMSB e para demonstrar as ações a serem tomadas nos próximos vinte anos após sua elaboração.

A Lei e sua efetivação através da elaboração do PLANSAB, bem como dos planos estaduais, regionais e municipais se constituem nas bases necessárias para que o investimento público ganhe escala, eficiência e articulação necessária para alcançar a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico (SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2009, p. 704).

A elaboração do PLANSAB não pode se restringir a uma tarefa técnica e científica, deve englobar todo o contexto da realidade brasileira. Nesta realidade envolvem-se aspectos econômicos, políticos, sociais, entre outros. A Lei nº 11.445/2007 foi a principal referência para a elaboração do plano, apoiada nos princípios da política de saneamento básico (BRASIL, 2014b).

A partir da Constituição Federal de 1988, a universalidade dos serviços, incluindo o saneamento básico foi instituída. No entanto, este princípio passou a ganhar importância neste setor a partir da Lei nº 11.445/2007, com a universalização do acesso. A universalidade é denominada como um serviço que todos possam ter acesso, sem que haja qualquer distinção, sobretudo “econômica, física, legal ou cultural”. A universalidade inserida na Lei deve ser incorporada pela integralidade, ou seja, abranger os serviços de esgotamento sanitário, abastecimento de água,

drenagem e manejo de águas pluviais urbanas e limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos. Desta maneira, não basta cumprir a missão de universalidade do acesso aos serviços de saneamento, deve-se ser posto em prática com integralidade e equidade (BRASIL, 2014b).

A equidade é um princípio muito relevante, podendo haver uma “equidade horizontal ou vertical”, isto é, como atingir um tratamento igualitário para todos ou desigual para todos. Isso significa que não deve haver injustiça e distinções entre a população, todos devem ter os mesmos direitos ao acesso dos serviços de saneamento, em mesma proporção (BRASIL, 2014b).

Além do PLANSAB ser apoiado em princípios da universalidade, equidade e integralidade dos serviços, ele ainda deve partir de elementos da sustentabilidade, sendo ela sustentada em quatro pilares. Um é composto pelos fatores ambientais, relacionados à preservação e à qualidade ambiental. Os demais pilares são: aspectos sociais relacionam-se a aceitação dos usuários quanto aos serviços; o pilar da governança abrange os aspectos políticos, no qual deve haver participação popular; e as questões econômicas, as quais relacionam-se com a exequibilidade econômica dos serviços (BRASIL, 2014b).

### 1.3.2 Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)

A Lei nº 11.445/2007 determinou que os municípios brasileiros deveriam elaborar seus PMSB. O princípio mais relevante da Lei é a “universalização dos serviços de saneamento básico”, com o objetivo de garantir que todos tenham água de qualidade e em quantidades necessárias, coleta e tratamento do esgotamento sanitário, drenagem e manejo das águas pluviais e coleta e tratamento dos resíduos sólidos (BRASIL, 2007a).

Os PMSB são exigidos para a liberação da concessão e contratação de serviços na área de saneamento pelos municípios. O PMSB deve ser produzido pelos titulares dos serviços, que pode ser um único município ou mais de um município, por meio de consórcios intermunicipais (BRASIL, 2007a; BRASIL, 2009).

Outro instrumento de política pública são os Planos Diretores Municipais que, de acordo com o Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001), são obrigatórios

para municípios com mais de 20 mil habitantes. No Plano Diretor podem ser definidos regimentos para o saneamento do município (BRASIL, 2009).

Para que o saneamento básico atinja seus objetivos, proporcionando saúde e qualidade de vida à população e redução de impactos ambientais decorrentes da contaminação, é necessário que esse serviço atenda toda a população de forma integral. Para tanto, o envolvimento da população na elaboração dos planos e no acompanhamento das ações, é fundamental. A participação social pode ocorrer de diversas formas na elaboração dos PMSB: consultas públicas; capacitação em oficinas e cursos; debates; formação de comitês ou grupos de trabalho. Havendo a participação popular em determinadas etapas da elaboração do PMSB há a possibilidade de diagnosticar as necessidades do município, analisar a realidade e reconhecer a viabilidade de mudança, averiguar as ações indispensáveis para a maioria dos indivíduos, perceber o estímulo da comunidade em participar, supervisionar e cobrar que as ações sejam concretizadas (BRASIL, 2009).

É de extrema relevância a participação popular na elaboração dos PMSB, mas é necessário que a população esteja preparada e disposta para participar. Em primeiro lugar, ela deve ter conhecimento referente ao PMSB, saber qual a sua serventia, quais os benefícios que sua elaboração irá trazer, quais as necessidades do município e o que é possível ser realizado do ponto de vista ecológico e econômico, além de saber quais os responsáveis pelas ações a serem tomadas, entre outros pontos. É neste momento que o município deveria proporcionar aos munícipes, cursos, debates e oficinas. Em segundo lugar, a população deve participar das audiências, apontar falhas no que está sendo proposto, lutar pelos seus direitos e expor suas necessidades.

Porém, esta participação só irá ocorrer se o município propiciar oportunidades para a população estar presente na elaboração dos PMSB. Muitas vezes a população só é comunicada de que haverá uma audiência pública em casos onde o município se vê obrigado a realizá-la. Se não bastasse isso, é comum que as prefeituras dos municípios utilizem essas audiências para demonstrar os PMSB já elaborados, enquanto deveriam ouvir as proposições da comunidade para elaborá-los.

A LNSB exige que o PMSB contenha: 1) diagnóstico técnico-social; 2) objetivos e metas contínuas e sucessivas para alcançar a universalização dos serviços, metas de qualidade, entre outras; 3) projetos, ações, programas, até mesmo os

emergenciais; 4) ferramentas e sistemas para a avaliação da eficiência e produtividade das ações planejadas (BRASIL, 2009).

Além das exigências previstas no PMSB, ele também deve prever valores e fontes de recursos financeiros para efetivar essas exigências. Somado a isso, deve determinar as ações prioritárias e direcionar os orçamentos futuros (BRASIL, 2009).

A Lei nº 11.445/2007 tem grande representatividade e importância para que o saneamento básico seja divulgado e conhecido por todos, além do dever de expor os estudos que fundamentam o Plano de Saneamento Básico. Outro fator expressivo desta Lei é que o titular dos serviços de saneamento deve utilizar um sistema de informações, vinculado ao Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNISA). Esse sistema busca reunir e organizar dados referentes à qualidade, à eficiência e à cobertura dos serviços de saneamento (BRASIL, 2007a).

Araújo e Zveibil (2009) afirmam que os PMSB exigidos pela LNSB, ainda que elaborados para obter recursos Federais e para possibilitar a delegação de alguns serviços, é uma iniciativa que oportuniza desenvolver um processo de planejamento no município. Através da atuação popular, serão reconhecidas as necessidades locais relacionadas aos serviços de saneamento.

Por isso é primordial o envolvimento da população na elaboração dos PMSB, pois se não houver participação, os representantes políticos irão direcionar as ações dos planos, podendo priorizar ações que a comunidade não julga prioritárias, por exemplo.

O modelo de gestão e planejamento será variável de acordo com algumas características do município, tais como seu porte, posição geográfica, dos sistemas já estabelecidos, capacitação técnica do pessoal, dos recursos disponíveis, dentre outras particularidades (ARAUJO; ZVEIBIL, 2009).

Além das especificidades municipais serem variáveis, outra variável que apresenta destaque é a decisão política em fazer um plano participativo e de não fazerem prevalecer interesses corporativistas ou de algumas regiões do município, priorizando alguns setores. Os PMSBs devem estar baseados nos fundamentos e diretrizes da Lei nº 11.445/2007, na qual todos devem ter o mesmo direito ao acesso dos serviços de saneamento básico.

Os PMSBs serão emitidos pelos titulares do município e poderão ser embasados em estudos disponibilizados pelo prestador de serviços, que devem subsidiar a elaboração de diagnósticos. Para que os planos estejam sempre

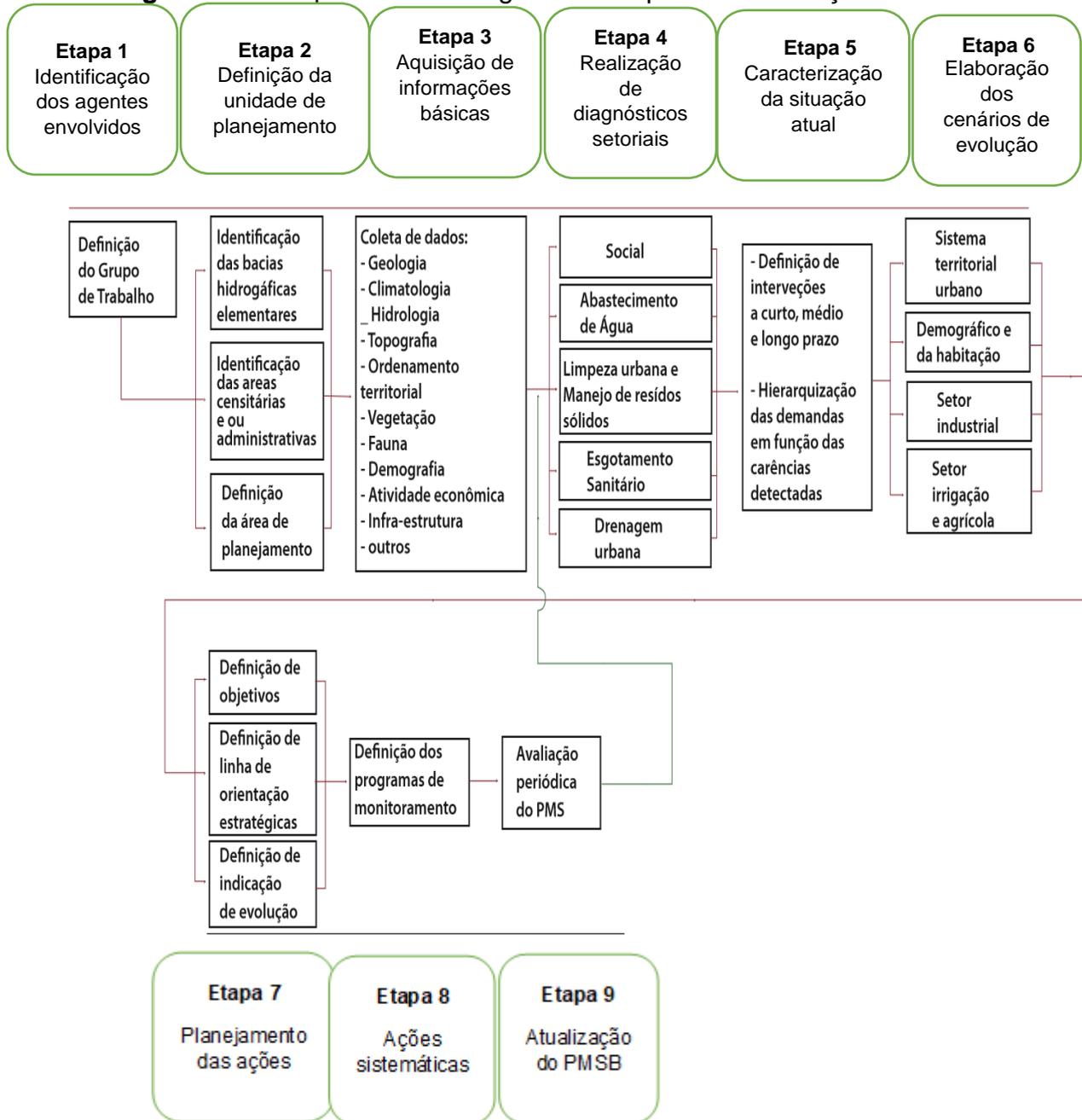
atualizados quanto às necessidades do município e de seus munícipes, o mesmo deve ser revisado em um intervalo máximo de tempo de quatro anos (BRASIL, 2007a).

É fundamental que todos os serviços integrantes do saneamento básico sejam realizados de forma simétrica e íntegra, de modo a não haver divergência entre os mesmos, pois se não houver harmonia entre eles haverá desperdício de capital e sua eficácia será comprometida (BRASIL, 2011a).

O planejamento do saneamento deve tratar não apenas quais são as ações futuras para melhoria dos sistemas, mas sim, reparar as carências e as dificuldades da realidade atual.

A seguir será apresentado um fluxograma (Fluxograma 1) no qual demonstra a sequência das etapas a serem seguidas para a elaboração dos PMSB.

### Fluxograma 1 - Sequência cronológica das etapas de elaboração de um PMSB.



Fonte: BRASIL (2011a).

Cada etapa da sequência cronológica na elaboração do PMSB exige um grande esforço a ser realizado por parte dos municípios. Além do esforço, é fundamental que cada etapa seja cumprida com comprometimento.

O primeiro passo, é a escolha e definição dos atores envolvidos na elaboração do PMSB, os quais devem ter conhecimento sobre o saneamento básico do município, envolvendo as secretarias existentes, como do planejamento urbano e do meio ambiente, além de funcionários de outros órgãos, como vigilância sanitária e afins. No

segundo momento, já com a equipe de elaboração do PMSB definida, deve-se estabelecer qual a área de planejamento (BRASIL, 2011a).

A terceira etapa é composta por uma busca de informações, como apontado no fluxograma anterior. Espera-se que estes dados já sejam conhecidos, porém, se não forem, devem ser coletados. Realiza-se em seguida, um estudo sobre a situação social do município e quanto aos componentes do saneamento básico, definindo quais os índices de cobertura para poder planejar as ações futuras e descobrir quais as necessidades (BRASIL, 2011a).

A partir do conhecimento da situação atual do município, são definidas quais as carências e as ações prioritárias em curto, médio e longo prazo. Elabora-se, então, os cenários futuros de evolução nos setores territoriais urbanos, demográficos, de habitação, setor industrial, de irrigação e agrícola (BRASIL, 2011a).

Então, com os dados e conhecimento da situação do município, bem como os cenários futuros, são planejadas as ações, definindo os objetivos e como eles serão traçados. A oitava etapa é a definição dos mecanismos de monitoramento da elaboração do PMSB. Por fim, é feita a revisão e atualização periodicamente do PMSB (BRASIL, 2011a).

Moraes (2009) acredita que o PMSB não deve ser apenas um documento técnico, pois deve ser acessível aos leigos do assunto.

O PMSB deve ser revisado em intervalos de quatro anos, vinculando as políticas municipais de “saúde, meio ambiente/recursos hídricos, desenvolvimento urbano/habitação e desenvolvimento agrário, dentre outras”. Além disso, deve-se ponderar também “o perfil epidemiológico da população e indicadores socioambientais, incluindo nível de renda da população e a salubridade ambiental”. Deve estar especificado no PMSB de que maneira, qual a data, com quais recursos serão efetuadas as ações propostas no PMSB. Para o aporte financeiro para a elaboração do plano é necessário estruturar um sistema de informação ou um banco de dados, fundamental para prover as informações para os diagnósticos (MORAES, 2009).

O prazo para a elaboração dos PMSB foi estendido até 2017, segundo o Decreto nº 7.217/2010. Caso o município não tenha seu PMSB, ele não poderá receber recursos da União para executar ações na área de saneamento básico (BRASIL, 2014b).

A SNSA do Ministério das Cidades reconhece a dificuldade no planejamento de suas ações. Por isso oferece suporte, por intermédio de seleção pública, a municípios para a elaboração do PMSB. Este suporte possibilita o repasse de recurso, capacitação dos servidores, dentre outros. A secretaria também já efetuou inúmeras práticas de capacitação dos envolvidos no processo de elaboração do PMSB em colaboração com prefeituras, consórcios, universidades, entre outros. Outro importante aporte é a disponibilidade de materiais técnicos, documentos, cursos à distância e outras publicações, sempre visando instruir os membros envolvidos (BRASIL, 2014b).

O Ministério das Cidades realizou um estudo para averiguar como está o andamento da elaboração dos PMSB no Brasil em 2016. Obteve como resultado os seguintes dados: 30% dos municípios brasileiros declararam possuir o PMSB e 38% afirmaram estar elaborando o PMSB. O resultado aponta um panorama favorável se comparado às metas estabelecidas pelo PLANSAB, a qual estabelece uma porcentagem de 32% dos municípios conterem seus PMSB até 2018 (BRASIL, 2017).

Embora os dados apontem que a meta será cumprida no ano de 2018 como planejado, esses índices são baixos quando se coloca em questão o prazo limite para todos os municípios apresentarem seus PMSB, que é até 31 de dezembro de 2017. Além disso, 38% estão em fase de elaboração e, como o PMSB é um documento complexo, há a possibilidade de uma parcela desses não concluírem até o prazo estabelecido.

Outros pontos relevantes que podem ser indicados em relação à elaboração dos planos são a qualidade dos mesmos, o nível de participação popular e a morosidade com que são construídos. O fator analisado é a existência, inexistência do plano ou ainda, se está em fase de elaboração. Porém, não é avaliada a qualidade destes, não é possível saber se os planos apresentam diagnósticos corretos, planejamento adequado, dentre outras informações. Além disso, não se expõe na pesquisa realizada pelo Ministério das Cidades, se a população pertencente ao município foi ouvida e considerada na elaboração do plano, sendo isso de fundamental importância. A morosidade com a qual os planos vão sendo elaborados destacam como um aspecto negativo, além da Legislação apresentar flexibilidade na extensão do prazo para a elaboração do plano.

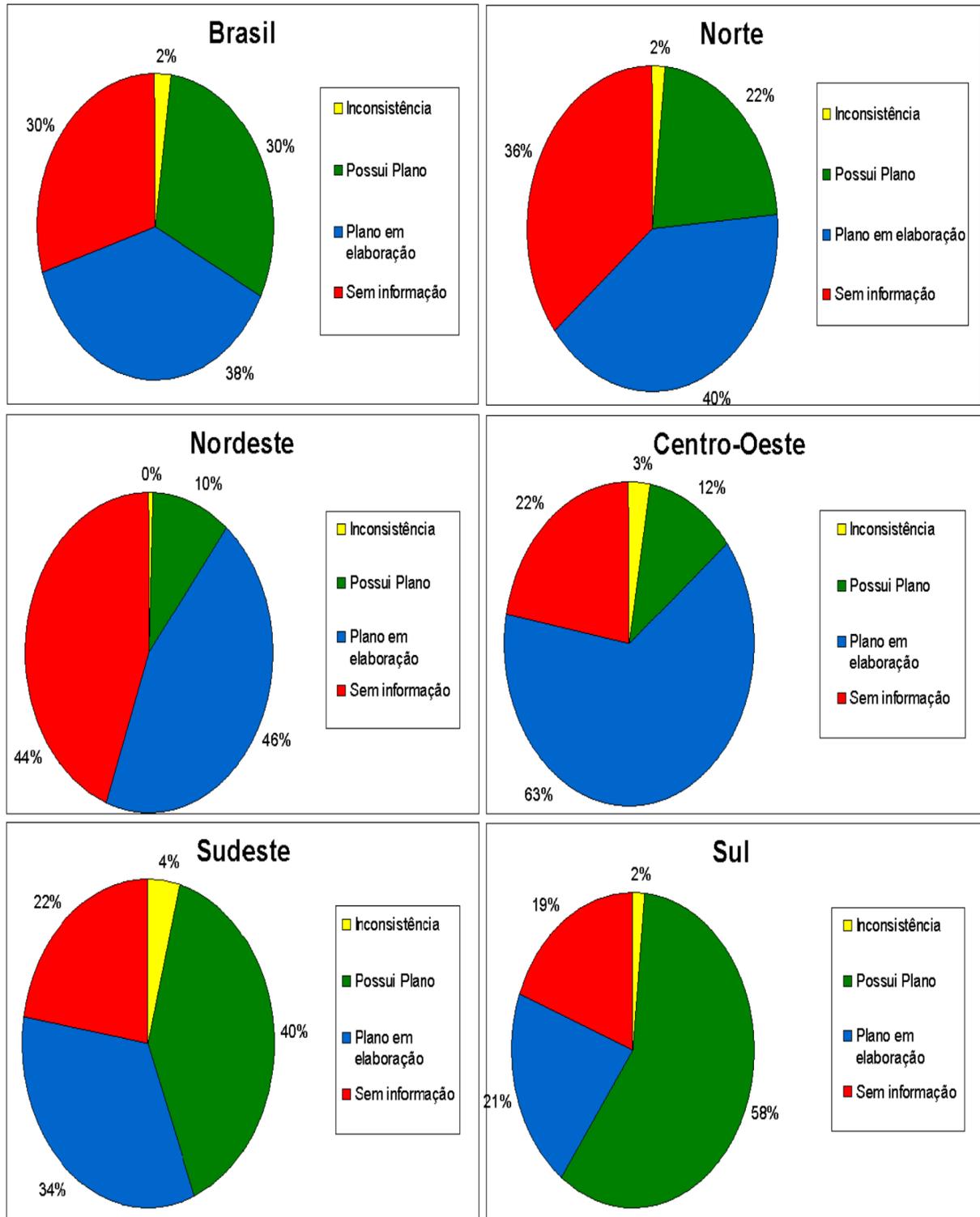
Na Figura 1 estão expostos os mapas, diferenciados por regiões, com a porcentagem dos municípios que contém o PMSB; os que não contém; os que

apresentam inconsistência - como no caso daqueles que declararam na pesquisa possuir o plano mas, nas fontes de dados buscadas constar que não possuem -; e os municípios que não repassaram informações sobre possuir ou não o PMSB (BRASIL, 2017).

A região que contém a maior porcentagem de planos elaborados é a Região Sul, em seguida a Região Sudeste apresentando os melhores índices. Em contrapartida, estão as Regiões Nordeste e Centro-Oeste, com apenas 10 e 12% dos municípios possuindo os PMSB (BRASIL, 2017).

A maior parte das Regiões (Centro-Oeste, Nordeste e Norte) alega que os PMSB estão em fase de elaboração. Esta realidade pode ser extrapolada para as Regiões Sudeste e Sul, apesar dessas duas Regiões apresentarem dados mais animadores. Contudo, apenas 30% dos municípios brasileiros já possuem o PMSB e 38% afirmam que ele está em fase de elaboração.

**Figura 1** - Panorama referente a elaboração dos PMSBs no Brasil.



Fonte: BRASIL (2017).

#### 1.4 SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS)

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) é a base de dados nacional utilizada no campo do saneamento básico, a secretaria responsável por ele é a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (PERTEL, AZEVEDO, VOLSCHAN JUNIOR, 2016).

O SNIS foi criado pelo Governo Federal, através do Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS). Para que as diretrizes nacionais e a LNSB sejam alcançadas e cumpridas com êxito, foi necessário possuir um sistema de informação referente ao saneamento básico, porque com a posse dos dados históricos temos uma “relação dos custos, padrões dos serviços e a elaboração de inferências a respeito da trajetória das variáveis mais importantes para o setor”, possibilitando estabelecer o melhor plano para o desempenho das atividades. Para que as despesas possam ser mitigadas, melhorias possam ser implantadas e para que ocorram diminuição das tarifas, é essencial que os dados oferecidos sejam confiáveis (MIRANDA, 2009).

São classificados como prestadores de serviços, aqueles que repassam os dados do seu município para o SNIS, podendo ser: as prefeituras, companhias estaduais, autarquias municipais e empresas privadas. Estes dados fornecidos servem para conhecer e avaliar como a gestão do saneamento nos municípios está ocorrendo (BRASIL, 2017b).

Além do sistema ser primordial para os gestores e atores envolvidos na temática do saneamento básico, ele funciona como uma espécie de ferramenta para que a sociedade possa realizar cobranças aos poderes públicos, através de embasamentos técnicos e comprobatórios (MIRANDA, 2009).

Os objetivos do SNIS, são:

- (i) Planejamento e execução de políticas públicas; (ii) orientação da aplicação de recursos; (iii) avaliação de desempenho dos serviços; (iv) aperfeiçoamento da gestão, elevando os níveis de eficiência e eficácia; (v) orientação de atividades regulatórias, de fiscalização e de controle social (MIRANDA, 2009, p. 220).

Outra vantagem de um sistema de informação para este setor é fazer uso de seus indicadores para possíveis comparações e, também, para servir como manual para quantificação e ponderação de desempenho. O sistema acumula fatores positivos, é reconhecido internacionalmente e os dados são públicos acessados de forma gratuita (MIRANDA, 2009).

O Sistema apoia-se em um banco de dados, que contém informações de caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade, sobre a prestação de serviços de água e de esgotos, bem como de manejo de resíduos sólidos urbanos. Considerando o modelo de organização dos serviços no Brasil, o SNIS é dividido em dois componentes: água e esgotos (SNIS-AE), e resíduos sólidos (SNIS-RS) (VON SPERLING; VON SPERLING, 2013, p. 314; MIRANDA, 2009 p. 220).

No SNIS-AE são expostas as companhias estaduais que atuam com esses serviços, prestadores de serviços municipais, empresas, autarquias, entre outros. As publicações destes serviços ocorrem desde 1996 e são anuais. Já as publicações de dados referentes ao manejo de resíduos sólidos iniciaram-se em 2004 (MIRANDA, 2009).

Somadas as utilidades do sistema já citadas apresentamos mais alguns usos do SNIS, contribuindo para a processo de desenvolvimento dos serviços:

a) Avaliação de desempenho: os próprios prestadores de serviços acompanham sua evolução e fazem comparação com outros prestadores; b) controle governamental: governantes estaduais e municipais avaliam e cobram melhoria de desempenho de seus prestadores de serviços; c) transparência: a sociedade conhece a situação dos serviços (público, imprensa, políticos, ONGs etc.); d) priorização de recursos para investimentos: o Governo Federal utiliza como critério nos seus programas (MIRANDA, 2009, p. 221).

Para que todas as vantagens do SNIS sejam de fato válidas, ele deve ser alimentado, acessado e usado como referência. Ele pode ser usado em diversas pesquisas acadêmicas, pelas prefeituras e também por qualquer cidadão que tiver interesse pelo tema. Ressalta-se que o SNIS é a principal e mais importante base de dados sobre saneamento do país.

O diagnóstico dos serviços de água e esgoto e de manejo dos resíduos sólidos, realizado no ano-base 2015, já estão disponíveis para acesso no *site* do SNIS, o diagnóstico para serviços de águas pluviais urbanas será divulgado pela primeira vez ainda no ano de 2017.

Segundo dados obtidos do SNIS-AE com o ano-base 2015, 74% do esgoto gerado no Brasil é coletado, entretanto, somente 42,7% recebem tratamento. A Região Centro-Oeste se destaca com coleta de 50,2% e tratamento de 92,6%. A evolução do ano de 2014 para 2015 foi de 1,1% no volume de esgoto tratado (BRASIL, 2017b). Ainda que os dados apresentem uma evolução anual, no que se refere ao

aumento no tratamento de esgoto, o índice continua sendo baixo. Para que todos tivessem acesso a esse serviço a ascensão deveria ser muito maior.

Em relação ao diagnóstico dos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos domiciliares no Brasil em 2015, o índice de cobertura de coleta regular é alto, pois 98,6% da população urbana é atendida por esse serviço. Contudo, os 1,4% restantes correspondem a 2,6 milhões de pessoas que ainda não tem acesso a coleta de resíduos sólidos urbanos. A situação mais preocupante é a da Região Nordeste, que possui metade desse percentual de coleta regular de resíduos sólidos urbanos. Ainda que o índice seja favorável para a população urbana, para a população rural a situação é outra, pois 47% não possuem acesso à coleta de resíduos sólidos, representando 15 milhões de habitantes do país (BRASIL, 2017a).

## CAPÍTULO 2: TRATAMENTO DE ESGOTO E O LODO DE ESGOTO

A produção de esgoto torna-se cada vez mais elevada devido ao crescimento populacional, fazendo com que sejam necessárias mais Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) no país.

Silva (2001) ressalta que a água é um elemento essencial para a humanidade e, devido a alguns fatores, o consumo deste produto tem se tornado cada vez maior. Conseqüentemente, aumentando a geração da quantidade de esgoto e outros efluentes, em decorrência de atividades tanto industriais, quanto agropecuárias e domésticas.

O esgoto tem um grande potencial de poluição e contaminação, principalmente por apresentar material fecal em sua composição. Essa composição é variável, pois depende das condições epidemiológicas da população geradora do esgoto (ANDREOLI et al., 2003).

A má disposição do esgoto, tanto doméstico quanto industrial, gera um passivo ambiental de grande proporção pela quantidade gerada elevada e sua carga contaminante é alta. Além da contaminação de corpos hídricos, solos, plantas, animais e humanos podem facilmente se contaminar com essa ação inadequada.

Embora há décadas atrás os esgotos fossem lançados em corpos d'água, a natureza ainda era capaz de absorver esses resíduos sem que danos graves fossem causados. Porém, essa realidade foi tomando um caminho distinto com o decorrer do tempo, de modo que a disponibilidade e qualidade da água foi alterada, necessitando de tecnologias para o tratamento da água (CORAUCCI FILHO et al., 2003).

Para Chagas (2000), a denominação esgoto foi utilizada tanto para designar a tubulação responsável por conduzir o esgoto, quanto para nomear o efluente em si que passa por essa tubulação. Todavia hoje, o termo é utilizado preferencialmente para designar o efluente resultante das atividades humanas e industriais. Entre os esgotos gerados por essas duas atividades, pode-se considerar que os esgotos sanitários são aqueles compostos por despejos domésticos, águas de infiltração e águas pluviais.

Segundo Chagas (2000), as ETEs atuam como “barreiras à disseminação de diversas enfermidades” e impedem a chegada de organismos patogênicos aos corpos

receptores, sobretudo, em regiões onde a saúde pública é ineficiente e que apresentam alta incidência de mortalidade e morbidade.

O tratamento de esgoto tem basicamente a função de segregar os sólidos e diminuir a concentração de matéria orgânica presentes no esgoto, por meio de três processos: químico, físico e biológico. Duas etapas ocorrem no tratamento: na primeira, a porção sólida irá continuamente ganhando estabilidade e se concentrando; na segunda, a parte líquida, ocorre a remoção de minerais e matérias orgânicas. Este processo ao qual o esgoto é submetido gera um efluente líquido que é despejado em corpos d'água após os padrões corresponderem ao permitido pela Legislação. Já a parte sólida, que é o lodo, necessita de um tratamento adequado (DAVID, 2002).

No tratamento primário do esgoto ocorrem algumas operações unitárias, entre elas: a remoção de sólidos grosseiros por meio do gradeamento; remoção da areia, com a caixa de areia; a remoção dos sólidos sedimentáveis que ocorrem no decantador primário; a digestão; e a retirada da umidade do lodo gerado pela digestão do esgoto. Os processos de oxidação biológica, realizados geralmente por filtração biológica e processos de lodos ativados, são caracterizados pelo tratamento secundário (CHAGAS, 2000).

De acordo com Chagas (2000), as operações unitárias físicas têm por função primordial remover as substâncias que se separam das porções líquidas ou que não estão dissolvidas no meio líquido, que são as responsáveis por desagregar as substâncias suspensas no esgoto. Participam desse processo: as remoções de sólidos grosseiros, flutuantes, sedimentáveis, da umidade do lodo, filtração, diluição e homogeneização do esgoto ou do lodo.

Seguindo os processos unitários físicos, ocorrem os processos unitários biológicos, os quais necessitam da atuação dos microrganismos existentes no esgoto, sendo que os mesmos transformam elementos complexos em componentes simples, como por exemplo, gás carbônico e sais minerais. Os principais processos biológicos no tratamento do esgoto são as oxidações biológicas e digestão do lodo. A primeira refere-se aos processos aeróbios, como filtros, lodos ativados, lagoas de estabilização e valos de oxidação, bem como aos processos de oxidação biológica anaeróbia, como os reatores anaeróbios de fluxo ascendente. A segunda ocorre por digestão anaeróbia e aeróbia e por meio das fossas sépticas (CHAGAS, 2000).

Resumidamente, o tratamento de esgoto pode ser separado da seguinte maneira: a) tratamento preliminar, onde ocorre a remoção dos sólidos grosseiros,

areia e material inerte; b) tratamento primário, no qual há a remoção de sólidos sedimentáveis, ocorrendo geralmente por gravidade e que irá formar em seu processo o lodo primário; c) tratamento secundário, por meio dos microrganismos, onde acontece a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e é gerado o lodo secundário ou biológico; d) tratamento avançado ou terciário, onde também há a geração do lodo, sendo que este processo tem a função de eliminar os nutrientes presentes nos efluentes; e) como última etapa da fase líquida do lodo em ETEs, tem-se a desinfecção para controlar os agentes patogênicos; f) como sexta etapa, apresenta-se a estabilização, adensamento, condicionamento, desaguamento/secagem e higienização (os quais serão melhores especificados nos item 2.1 dessa dissertação); g) na sétima etapa do tratamento de esgoto em ETEs ocorre a disposição final do lodo (ANDREOLI e PEGORINI, 2003) e o despejo da fração líquida tratada em corpos receptores.

Dentre os diferentes tipos de equipamentos para tratar o esgoto, de acordo com Andreoli et al. (1998), as ETEs do estado do Paraná utilizam em sua maioria os Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado (RALF), que é um equipamento similar aos Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (UASB). O RALF constitui-se de um mecanismo eficiente, moderno e com equipamento relativamente pouco extenso. É capaz de reduzir 70% da DBO com um dispêndio financeiro 80% inferior aos sistemas convencionais de tratamento.

Os processos de tratamento de esgoto podem ser aeróbios ou anaeróbios e apresentam algumas distinções entre si, como o material orgânico e o lodo. Nos sistemas aeróbios, as bactérias usufruem de praticamente todo o tipo material biodegradável, enquanto em sistemas anaeróbios, as bactérias formam grupos entre si. Esses grupos podem ser classificados em quatro processos: 1) hidrólise; 2) acidogênese; 3) acetogênese; e 4) metanogênese. A hidrólise consiste na solubilização do material particulado e biodegradável, transformando-se em açúcares, ácidos orgânicos de cadeia longa e peptidas. A acidogênese é uma classe formada pelas bactérias que transformam os compostos solubilizados em precursores de acetato. Outro grupo de bactérias que transformam os produtos da acidogênese em acetato são as pertencentes ao processo de acetogênese. E por fim, as bactérias do grupo da metanogênese que são capazes de utilizar o acetato para produzir o metano (VAN HAANDEL e ALÉM SOBRINHO, 2006).

Outra característica que diferencia os sistemas: aeróbios e anaeróbios, de acordo com Van Haandel e Além Sobrinho (2006), é que no processo anaeróbio o uso do material biodegradável é incompleto. Dessa forma, tanto no lodo como no efluente, há a presença de resíduos de material orgânico biodegradável.

Para Van Haandel e Além Sobrinho (2006), uma idade longa ou curta do lodo é diferente para os dois sistemas, aeróbio e anaeróbio. Por exemplo, para um lodo originário de um sistema aeróbio, 20 dias é uma idade longa, enquanto que para um resultante de um sistema anaeróbio é uma idade curta. Quando há oxigênio em uma quantidade considerável e a idade do lodo não é muito baixa, maior que dois ou três dias, o metabolismo do lodo biodegradável é completo em sistemas aeróbios. Já nos sistemas anaeróbios, o uso do material orgânico é completo quando a idade do lodo é longa, superior a 100 dias.

De acordo com Pegorini e Andreoli (2006), com o tratamento do esgoto, gera-se um impasse quanto à gestão dos resíduos gerados por esses processos. A cobrança pelo alcance de padrões em busca de uma sustentabilidade ambiental vem se tornando maior por parte dos órgãos ambientais e da população. A mudança de comportamento, quanto ao gerenciamento desses resíduos, vem ocorrendo, sobretudo, na última década. Anterior a isso, a omissão da gestão era visível e os impactos negativos foram gerados e acumulados.

Os tratamentos de esgotos podem ser diferenciados, como visto, em processos aeróbios e anaeróbios. Cabe aos gestores e concessionárias analisar qual processo é mais adequado para o esgoto e lodo gerados no município, levando em consideração as características climáticas, composição do esgoto e lodo, saúde da população, entre outros.

No que se refere ao tratamento de esgoto, a escolha deve se dar pela necessidade de redução de seu volume e concentração de água, para estabilizar a matéria orgânica nele contido e para seu possível reuso ou destinação final, ou ainda para ambos os aspectos. Já para escolher qual método de tratamento é o mais viável, devem ser avaliados os seguintes aspectos: primeiramente pensar para que o lodo será utilizado, ou seja, qual serventia terá. Em seguida ou de forma concomitante, analisar as características físicas, químicas e microbiológicas desse lodo (SILVA, 2001).

Segundo Pegorini e Andreoli (2006), a Agenda 21 contém um capítulo exclusivo no que se trata sobre os resíduos do saneamento (capítulo 21). Nele, estão contidas

recomendações a respeito de ações que minimizem a produção dos resíduos, opções de reuso e reciclagem dos mesmos e, se as anteriores não forem possíveis, a disposição final adequada.

A Agenda 21 destaca a importância da não geração de resíduos, seguida pelo reuso, reciclagem e, esgotadas as demais, a alternativa de disposição final. O mesmo ocorre na Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

O objetivo do tratamento do esgoto não deve se restringir somente a devolver ao ambiente um efluente líquido de qualidade mas, também a eliminar todos os riscos que os subprodutos gerados no processo apresentam.

## 2.1 TRATAMENTO DA FASE SÓLIDA DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Como visto no item anterior, o processo de tratamento do esgoto gera como principal subproduto e, em maior volume, o lodo de esgoto. Devido a relevância do mesmo, este item abordará o tratamento deste material.

O tratamento biológico de resíduos líquidos gera lodo em forma de flocos suspensos, podendo ser este primário ou secundário. Através da sedimentação dos materiais particulados presentes no esgoto, forma-se o lodo primário. O lodo secundário ou biológico, como também pode ser chamado, é produzido no reator biológico, sendo constituído pelos microrganismos e sólidos não biodegradáveis (PAULA JUNIOR et al., 2003).

A qualidade e a quantidade do lodo são variáveis, sendo distintos por apresentarem diferentes processos no tratamento do esgoto, pela vazão e pelas características do esgoto (PAULA JUNIOR et al., 2003).

Após a produção do lodo ele não está apto para ser destinado ou disposto no ambiente. É de senso comum entre os autores que o lodo deve passar pelo processo de desidratação. David (2002) apresenta as vantagens da desidratação: o volume é diminuído para simplificar as etapas seguintes; agilidade no manuseio; mitigação dos custos de traslado e disposição final; diminuição de chorume, se disposto em aterro sanitário; e se optar por incineração, utiliza-se menor energia no processo.

O tratamento da fase líquida e os métodos de estabilização do lodo resultam em um produto com alto teor de umidade, dificultando a desidratação de um

tratamento futuro ou mesmo para o transporte na sua destinação final. O processo pelo qual o lodo passará para a retirada de água deve corresponder ao seu uso posterior e sua escolha ficará condicionada às características do lodo, do local de destinação, do custo do transporte, entre outros (FERREIRA e ANDREOLI, 1999b).

Devido ao lodo não estar preparado para ser disposto ou destinado corretamente *in natura*, é necessário que passe pelos seguintes processos:

### 2.1.1 Adensamento do lodo

As vantagens em retirar água do lodo estão relacionadas aos seguintes aspectos: facilidade e economia no transporte do lodo; aumento no poder calorífico caso seja encaminhado para a incineração; e redução do volume, se o lodo for encaminhado para aterro sanitário ou para fins agrícolas. A escolha do processo e desidratação do lodo fica condicionada a área disponível para o processo e ao tipo de lodo (GOLÇALVES et al., 2001).

Conforme comentado, o lodo possui uma grande quantidade de água e parte dessa água precisa ser retirada da massa para condicioná-lo aos possíveis usos ou à destinação final. De acordo com Chagas (2000), o processo do adensamento do lodo resulta em uma elevação na concentração de sólidos por meio da retirada de uma fração da água, diminuindo assim o índice de umidade. Esse procedimento reduz o volume do lodo, para dessa forma, atenuar os gastos operacionais, tais como a secagem e a digestão.

Para Chagas (2000), quando não se utiliza adensadores mecânicos na retirada de água do lodo, tais como prensas e centrífugas, existem as alternativas como adensador por flotação e por gravidade.

Dentre os adensamentos existentes os mais comuns são: por gravidade, flotação, com ar dissolvido, centrífuga, adensador de esteira e tambor rotativo. O método mais utilizado de adensamento por gravidade é realizado em tanques de sedimentação circulares, contendo braços raspadores de lodo. Nesse sistema, o lodo entra na parte central do tanque, ocorrendo então a sedimentação e compactação do lodo. No fim do processo, o lodo é retirado do fundo do tanque (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

O adensamento por flotação ocorre com a incorporação de microbolhas de ar. Essas bolhas entram em contato com o material particulado fazendo com que sua densidade seja reduzida. Com a união das partículas de ar e de material particulado, ocorre o empuxo, no qual as partículas sobem para a superfície e podem ser removidas por um raspador (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006). De acordo com Ferreira e Andreoli (1999b), costuma-se usar esse tipo de adensador em situações onde se deseja adensar lodo ativado em excesso. O teor de sólidos acrescidos são em torno de 3 a 5%, sendo esse fator (o teor de sólidos), uma condição decisiva no volume final do lodo, seja para um possível tratamento, para um uso determinado ou para uma disposição.

As centrífugas apresentam duas funções, quando se objetiva retirar a água: o adensamento e o desaguamento do lodo. Porém, este adensamento só é indicado para os lodos biológicos de descarte. De acordo com os autores, o adensamento por centrifugação envolve a sedimentação das partículas de lodo sob influência da força centrífuga (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Os adensadores de esteira são equipamentos modernos que unem o adensamento com o desaguamento, sendo estes combinados em série. Utilizam polímeros para o seu condicionamento (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

O último adensador é o de tambor rotativo. Esse mecanismo contém um tambor rotativo no seu interior, movimentado com o auxílio de um motor, e também telas usadas para filtração. O lodo condicionado com polímero é adicionado na parte interna do tambor e é filtrado. Os sólidos adensados são encaminhados no tambor por uma rosca parafuso e o filtrado é dirigido à calha de drenagem (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

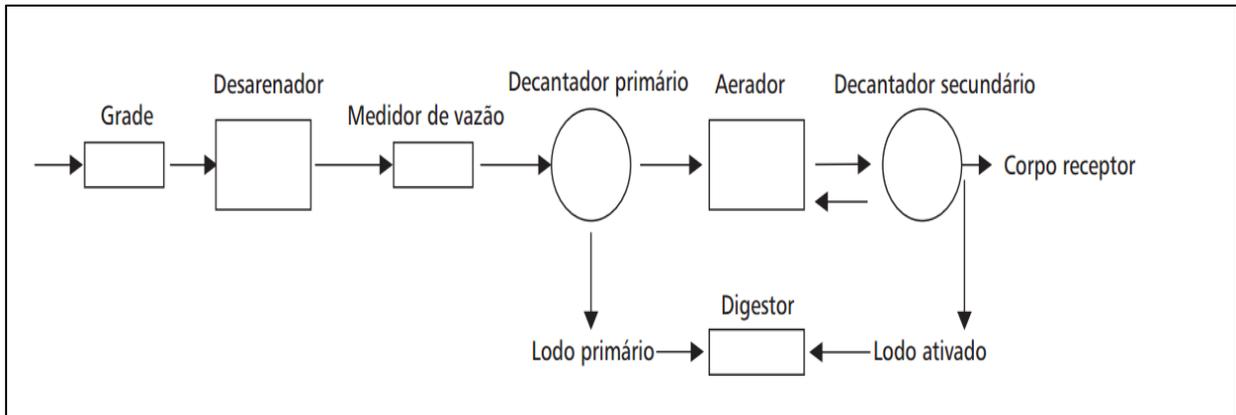
O processo seguinte à retirada de água, no qual se desidrata o lodo por processos de adensamento, é a estabilização do lodo, que será discutida a seguir.

### 2.1.2 Estabilização do lodo

Em sistemas convencionais de tratamento de esgoto (Fluxograma 2) onde o esgoto percorre pelo decantador primário, seguido pelo tanque de aeração e pelo decantador secundário, gera-se o lodo primário. Este material resultante tem uma

sedimentação com alta instabilidade; já o lodo secundário, nomeado da mesma forma por lodo ativado, é também instável. É fundamental que os dois lodos passem por processos de estabilização (FERNANDES e SOUZA, 2001).

**Fluxograma 2** - Fluxograma típico do sistema de lodos ativados.



Fonte: Fernandes e Souza (2001).

Para Fernandes e Souza (2001), quanto maior a equivalência entre a matéria orgânica e o lodo, quanto maior a aparência similar desses dois produtos, mais elevado será sua capacidade de gerar odores e putrefar; somados a essas características estão os elevados índices de organismos patogênicos. No decorrer do processo de transformação dos elementos orgânicos, presentes no lodo (biodegradação), o mesmo irá se tornando mais estabilizado, ocorrendo dessa forma, a redução dos patógenos e de odores.

A estabilização é uma ação indispensável no processo de tratamento do lodo de esgoto, pois, segundo David (2002), é nesta etapa que ocorre a mitigação dos patógenos, a extinção de odores e a atenuação ou a eliminação da decomposição do lodo. A estabilização ocorre das seguintes maneiras: por “redução biológica de conteúdo volátil, oxidação química do material volátil, adição de produtos químicos e aplicação de calor para desinfecção” (DAVID, 2012; MIKI, ALÉM SOBRINHO E VAN HAANDEL, 2006, p. 57).

Tornar o lodo estável é uma característica desejável e necessária. De acordo com Miki, Além Sobrinho e Van Haandel (2006), os propósitos da estabilização são: diminuir ou erradicar o potencial de putrefação; extinguir os maus odores; eliminar ou mitigar a presença de patógenos. Existem três processos mais utilizados na estabilização: a estabilização com cal; digestão aeróbia e anaeróbia; e compostagem.

Chagas (2000), também afirma que a estabilização deve ocorrer devido à redução de agentes patogênicos, de odores indesejáveis para que não haja uma decomposição prolongada, posterior ao período pretendido. O atendimento aos requisitos de não gerar odores, persistir com os microrganismos adversos e conter um lodo com putrescibilidade irá interferir nas propriedades do lodo.

Além desses atributos interferentes nas características citadas por Chagas, Fernandes e Souza (2001) acrescentam a tecnologia utilizada no tratamento do lodo.

A estabilização do lodo pode ocorrer tanto por métodos químicos quanto por biológicos que serão expostos a seguir. Na estabilização química o lodo recebe o incremento de produtos que visam impedir a atividade biológica ou oxidar a matéria orgânica. Dentre os produtos químicos mais utilizados, destaca-se a adição de cal no lodo (FERNANDES e SOUZA, 2001).

A adição de cal no lodo de esgoto eleva o Potencial Hidrogeniônico (pH) a pelo menos 12 de alcalinidade. Isso fará com que os organismos patogênicos não sobrevivam, inviabilizando a putrefação do mesmo e combatendo os maus odores. Isso contribui para a diminuição dos riscos causados à saúde humana (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Segundo Fernandes e Souza (2001), a cal está entre os produtos com menores custos utilizados no tratamento de esgoto. Além dos benefícios promovidos no lodo, a calagem é capaz de retirar fósforo em tratamentos avançados, condicionando o lodo para o desaguamento mecânico e estabilizando o lodo quimicamente, sendo que a cal pode ser usada na forma virgem e hidratada. Este método de estabilização é muito empregado nas ETEs brasileiras por apresentar baixo custo, eficiência na erradicação de agentes patogênicos e por assegurar um bom produto final para ser utilizado na agricultura, por exemplo.

Para as salmonelas e cistos de protozoários, qualquer dosagem de cal fará com que ocorra a morte desses organismos. Outros organismos facilmente eliminados são os helmintos, entretanto, os ovos de helmintos são mais resistentes por terem uma proteção natural. Para eliminação dos estreptococos devem ser adicionados ao lodo uma quantidade superior de cal, sendo necessário 50% de cal em relação a quantidade de lodo de esgoto para a eliminação total dos mesmos (FERNANDES e SOUZA, 2001).

Dentre os processos de estabilização biológica estão as digestões anaeróbias, aeróbias e compostagem. Neste processo são usados mecanismos naturais de

degradação no qual a porção putrescível é biotransformada em lodo (FERNANDES e SOUZA, 2001).

A digestão anaeróbia é outra opção para a estabilização do lodo, sendo regularmente empregada por apresentar baixo custo de operação e pelo fato de em seu processo gerar dois gases: o gás metano e o gás carbônico, que podem ser utilizados como fonte energética (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Segundo Fernandes e Souza (2001), a estabilização por digestão anaeróbia é um dos sistemas mais antigos empregados para essa finalidade e consiste em solubilizar e reduzir as substâncias orgânicas complexas por ação dos microrganismos com a ausência de oxigênio.

No processo de estabilização, cada 100 quilogramas (kg) de lodo *in natura*, constituído por 70 kg de sólidos voláteis e 30 kg de sólidos fixos, ao final do processo da digestão anaeróbia, serão transformados em: 40 kg de gases, 30 kg de sólidos voláteis e 30 kg de sólidos fixos (FERNANDES e SOUZA, 2001).

A digestão aeróbia é usualmente utilizada em ETEs de pequeno porte, pois apresentam baixo custo de investimento, sua operação é simples, o lodo digerido torna-se mais estável biologicamente e com menores odores, e o material sobrenadante contém uma concentração de matéria orgânica pequena. Entretanto, seu custo operacional é alto, pois é necessária aeração devido ao gasto de energia (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

No processo de digestão aeróbia sucedem-se duas fases: a oxidação direta da matéria orgânica biodegradável e a oxidação do material microbiano celular. O lodo passa em média de 10 a 12 dias no reator aeróbio submetido a uma temperatura de 20°C (FERNANDES e SOUZA, 2001).

Segundo Fernandes e Souza (2001, p. 38), a compostagem pode ser identificada como, “uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável”.

A grande distinção da compostagem em relação às digestões, tanto aeróbias como anaeróbias é que a estabilização ocorre em meio sólido. Na compostagem, os componentes orgânicos biodegradáveis são submetidos a um processo bioquímico complexo, passando por fases de ação de várias associações de microrganismos (FERNANDES e SOUZA, 2001).

Os fatores que mais influenciam o processo da compostagem são: a umidade, a temperatura e a aeração. Para que o procedimento ocorra com êxito alguns parâmetros físico-químicos devem ser considerados, buscando expor os microrganismos a um ambiente favorável para que ocorra a transformação da matéria orgânica. Os processos são os seguintes: aeração, temperatura, umidade, relação carbono/nitrogênio, estrutura e pH (FERNANDES e SOUZA, 2001).

A estabilidade do lodo é fundamental para qualquer forma de destinação ou disposição do biossólido, não interessando para nenhum dos métodos possuir um material com mau cheiro, com vetores indesejados presentes no local, com agentes patogênicos e com um grau de putrescibilidade alto. Além disso, até mesmo para as próximas fases do tratamento do lodo, não é desejável possuir um lodo instável.

### 2.1.3 Condicionamento do lodo para desaguamento

Segundo Miki, Além Sobrinho e Van Haandel (2006), o condicionamento tem por objetivo tornar mais fácil a separação das fases sólido-líquido do lodo, tanto por meios químicos quanto físicos. Devido a esse processo, a quantidade de água é reduzida, diminuindo assim a umidade do lodo. Para o condicionamento químico pode-se utilizar produtos inorgânicos ou orgânicos. Os produtos inorgânicos mais utilizados, são os sais férricos, ferrosos e de alumínio, o óxido ou hidróxido de cálcio. Os segundos são os polímeros, contendo grande grupo dos polieletrólitos orgânicos.

Segundo Gonçalves et al. (2001), existem dois processos sucessivos no condicionamento do lodo. No primeiro momento, ocorre a coagulação e, no segundo, a floculação. A primeira etapa tem como função desestabilizar as partículas com a redução das forças eletrostáticas de repulsão entre as mesmas. A segunda etapa acontece com a aglomeração dos colóides e dos sólidos finos através de baixos gradientes de agitação.

Os coagulantes mais utilizados são os sais metálicos, a cal e os polímeros, nos quais os coagulantes inorgânicos mais usados são o cloreto férrico e a cal, porém existem também o sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico (GONÇALVES et al., 2001).

#### 2.1.4 Desaguamento do lodo

Com o lodo condicionado corretamente através das duas etapas, coagulação e floculação, o mesmo está preparado para o desaguamento.

De acordo com Miki, Além Sobrinho e Van Haandel (2006), o desaguamento é um mecanismo físico para a retirada de água do lodo. Para Pedroza et al. (2006), os processos de desaguamento mecânico não são totalmente eficazes na retirada de água desejada do lodo, pois, o produto final é uma torta que, além de estar na fase semi-sólida, apresenta uma quantidade de patógenos indesejados.

A seguir serão apresentados os principais equipamentos de desaguamento do lodo de esgoto, a começar pelo filtro prensa de esteira.

O filtro prensa de esteira “*belt filter press*” quando comparado aos outros equipamentos de desaguamento, tem um custo de investimento e de operação considerado baixo, porém, demanda uma quantidade de água considerável para a lavagem das telas onde o lodo fica contido. Além disso, por se tratar de um maquinário aberto, pode exalar odores (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

As centrífugas são equipamentos antigos, utilizados há mais de 30 anos em ETEs. A centrifugação é um processo no qual a força centrífuga é gerada aumentando a velocidade de separação das porções sólidas e líquidas. Apresenta como vantagens um bom produto no que se refere a desaguamento com mínimo odor, é instalada facilmente e o investimento é relativamente baixo. Tem como desvantagens a necessidade de qualificação profissional para sua manutenção, pois apresenta desgaste das peças, entre outros (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

O filtro prensa de placas é pouco usado no Brasil para o desaguamento de lodo e, quando comparado a outros equipamentos que exercem a mesma função, apresenta mais desvantagens do que vantagens, como o alto custo de investimento e de mão de obra, necessidade de mão de obra qualificada e de uma área grande para sua instalação, além de operar somente em batelada<sup>2</sup> (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Com o intuito de aperfeiçoar as técnicas no tratamento do lodo de esgoto, novas tecnologias surgiram. Dentre elas estão as prensas parafusos “*screw press*”, que apresentam similaridades com a centrifuga e, o filtro prensa de esteira, que tem a

---

<sup>2</sup> Um equipamento em batelada opera de forma a exigir um carregamento de insumo, neste caso o lodo, realizando seu processo e tendo um fim sem iniciá-lo de forma contínua.

vantagem de não causar ruído e vibrações (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

A retirada de água pode ocorrer de diferentes maneiras e com o auxílio de equipamentos distintos que contém a mesma função. A variedade de mecanismos existentes traz ganhos para a recuperação do lodo como um novo produto, pois, é possível escolher qual o mais adequado conforme a necessidade.

### 2.1.5 Secagem

Como os equipamentos desaguadores de lodo não fornecem um material totalmente seco, é necessário que o biossólido passe também pelo processo de secagem.

Ferreira e Andreoli (1999b) afirmam que a disposição final do lodo é o fator determinante na escolha do método de secagem ao qual o produto será submetido. Com a disposição final determinada, será possível estabelecer a forma de transporte até o local e, como o custo dessa ação é elevado, quanto menor o teor de água e volume do lodo, melhor. Esses métodos de secagem podem ser mecânicos ou naturais. Sendo que os processos mecânicos são mais vantajosos em ETEs com alta geração de lodo e em locais sem espaço físico para a secagem natural.

Os principais métodos de secagem mecânica e natural serão apresentados a seguir.

#### 2.1.5.1 Secagem térmica e mecânica

A secagem térmica ocorre através da injeção de calor no lodo de esgoto, fazendo com que a água contida nele sofra evaporação, sem comprometer ou alterar a matéria orgânica presente no lodo. Ao fim do processo, o lodo possuirá uma umidade de 5 a 10% e teor de sólidos de 90 a 95%. Entre os secadores disponíveis no mercado para secagem térmica, os mais usuais são: secadores rotativos, por dispersão de ar, leito fluidizado, transportador de esteira ou túnel e mistos que serão demonstrados na sequência (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Os secadores rotativos são formados a partir de um cilindro horizontal onde o lodo é conduzido para as extremidades, de um lado para o outro. O vapor pressurizado inserido no secador atinge uma temperatura de 500°C para secadores rotativos diretos; e o vapor ou o óleo a uma temperatura de 250°C para secadores rotativos indiretos (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Os secadores por dispersão de ar ou secadores de transporte pneumático contêm em sua estrutura: caldeira, moinho, ciclone separador, misturador e ventilador de vapor. Os gases injetados no processo atingem temperaturas de 500 a 700°C. Esse tipo de secador apresenta algumas desvantagens como: sofrem abrasão, gera poeira, podem causar risco de fogo e explosão e o material resultante da secagem é muito fino, muitas vezes tendo que ser peletizado para possível uso posterior (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Apesar de os secadores de leito fluidizado serem considerados eficientes, dificilmente são utilizados na secagem de lodo. São equipamentos verticais onde através de um “sopro de ar” os gases aquecidos são inseridos no processo (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Secadores de múltiplas bandejas são secadores verticais com uma câmara cilíndrica e várias bandejas ocas estacionárias horizontais. Na parte interna dessas bandejas, passa um óleo a temperatura de aproximadamente 250°C, transferindo indiretamente calor para o lodo (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Nos chamados secadores tipo túnel ou secadores transportadores de esteira, o processo de secagem ocorre com o acondicionamento do lodo sobre esteiras, que são transportadas para túneis aquecidos. O calor inserido no secador é de cerca de 150°C (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Os secadores mistos (direto/indireto) são equipamentos que usam maiores quantidades de gases quentes que secadores indiretos comuns, onde os gases transferem calor por transferência ou por arraste. Apresentam a vantagem da secagem direta e indireta, reduzindo, dessa forma, o consumo de energia (MIKI, ALÉM SOBRINHO e VAN HAANDEL, 2006).

Assim como os equipamentos de desaguamento do lodo apresentam uma grande diversidade, os equipamentos destinados à secagem mecânica do lodo são numerosos. Cabe uma análise de prós e contras de cada estação de tratamento para averiguar qual o equipamento ideal para sua ETE.

### 2.1.5.2 Secagem Natural

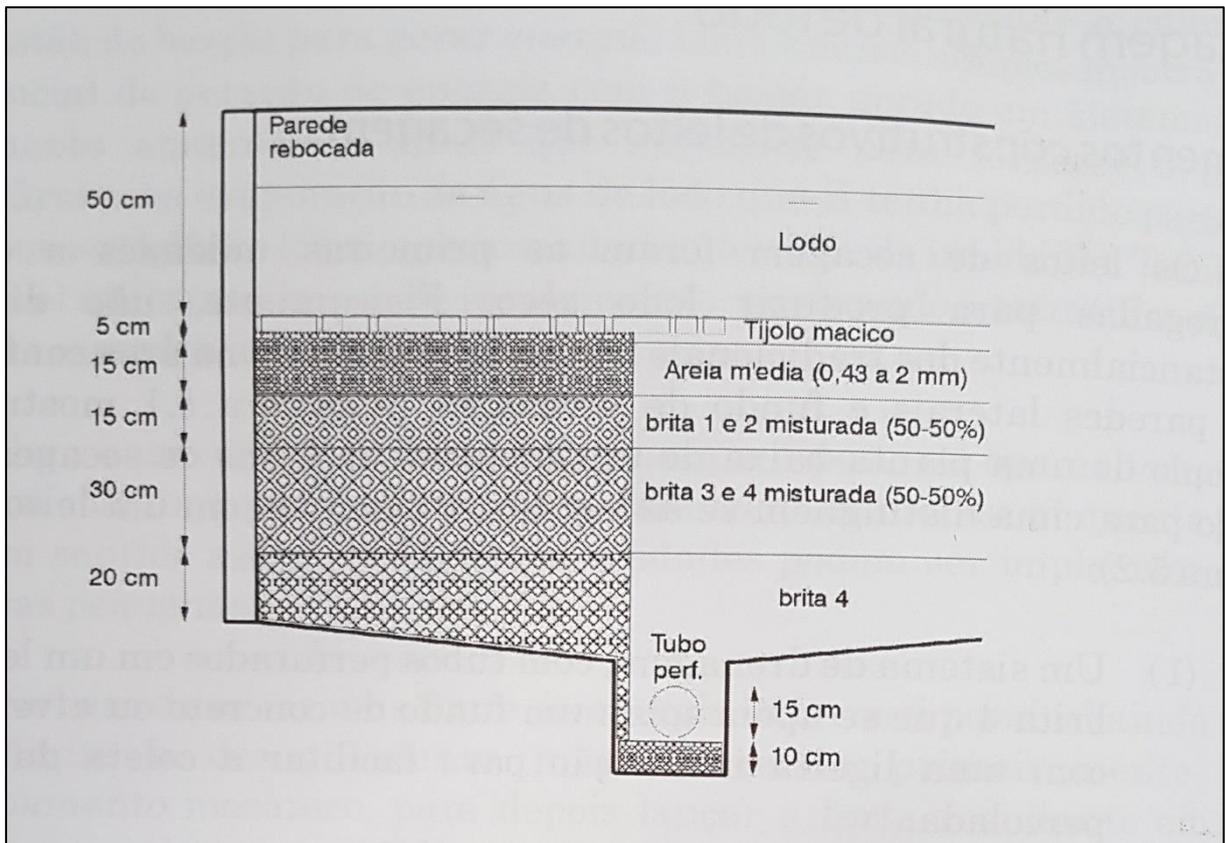
A secagem natural é um método muito vantajoso quando comparado a secagem térmica nos aspectos de custos de implantação e manutenção, porém, só podem ser instalados em ETEs que dispõem de grande área disponível.

Para a secagem natural do lodo é usual a utilização de leitos de secagem, nos quais operam em batelada e não necessitam da incorporação de polieletrólitos ou coagulantes. A perda de água desejada ocorre por meio de dois processos: por percolação e por evaporação. A percolação consiste no funcionamento do leito como um filtro, onde o líquido, denominado percolado, é separado do sólido, chamado de torta de lodo percolado. A evaporação ocorre com a incidência de energia solar, onde o líquido é transformado em vapor (PEDROZA et al., 2006).

Uma desvantagem do leito de secagem é que os lodos depositados nos leitos estão suscetíveis as intempéries do tempo, como a chuva. Por isso, de acordo com Pedroza et al. (2006), pode-se proteger os leitos com uma cobertura de material transparente. As vantagens desse método estão na sua simplicidade, baixo custo de instalação e de operação. Entretanto, as desvantagens ainda não estão neutralizadas, pois, a área necessária para a implantação dos leitos é relativamente grande quando comparada a equipamentos secadores.

Os leitos de secagem são estruturados com as seguintes camadas que podem ser observadas na Figura 2.

**Figura 2** - Composição típica da camada drenante de um leito de secagem.



Fonte: Pedroza et al. (2006).

Segundo Pedroza et al. (2006), a camada inferior é composta por concreto ou alvenaria, contendo tubos que irão drenar a água; e pedra brita 4. Esta camada tem uma ligeira inclinação para que a percolação seja possível. A segunda e a terceira camadas mais profundas são constituídas por britas de granulometrias iniciais maiores, que vão sendo reduzidas. Estas camadas são importantes para a camada superior a elas que é a porção realmente filtrante. A quarta camada é formada por areia, que filtrará o percolado. Sobre ela, são adicionados tijolos maciços sem rejuntas com uma distância aproximada de 2 centímetros (cm). Esses espaços devem ser cobertos de areia. Por fim, sobre os tijolos é depositado o lodo.

Por ser um sistema sujeito a interferências climáticas, a usabilidade desse método tem maior eficácia em regiões quentes. Outro fator que viabiliza essa secagem é a boa digestão anteriormente realizada no lodo, favorecendo assim, a drenagem e a não geração de odores desagradáveis (FERREIRA e ANDREOLI, 1999b).

Os processos de secagem natural mais utilizados são: leitos de secagem e lagoas de secagem de lodo. Nos leitos de secagem ocorrem a percolação da água

excedente e a evaporação natural. No fim do processo, o teor de sólidos estará entre 40 e 75%, dependendo do período em que ficou exposto e também do clima. No estado do Paraná, segundo estudos analisados pelos autores, esse período de tempo de secagem é de 25 dias. As lagoas de lodo geralmente não contêm sistemas de drenagem no fundo. Em alguns casos, contêm sistemas de drenagem lateral. Dessa forma, a secagem acontece por meio da evaporação. O tempo necessário para que esse procedimento ocorra é de três a seis meses (FERREIRA e ANDREOLI, 1999b).

## 2.2 CONCEITO E ORIGEM DO LODO DE ESGOTO

Após conhecer o sistema de tratamento de esgoto e saber como o lodo é gerado, torna-se interessante defini-lo e caracterizá-lo.

Nas ETEs, com o tratamento do esgoto para que a água em boa qualidade possa retornar ao ambiente, gera-se o lodo de esgoto, denominado também por biossólido (QUINTANA et al., 2011). Embora o tratamento do esgoto seja considerado essencial e realmente é, nesse processo são gerados alguns produtos considerados como problemas por parte dos gestores, dentre eles o lodo de esgoto.

De acordo com Silva (2001), David (2002) e Van Haandel e Além Sobrinho (2006), a composição do lodo sofre variações por diversos motivos, dentre eles as especificidades da água geradora do lodo, das características do método de tratamento do esgoto e da possível destinação deste produto. Para David (2002), estes são compostos geralmente de sólidos voláteis, que são os materiais orgânicos; e de sólidos fixos, que são os minerais.

Para David (2002), a escolha do método de tratamento do esgoto irá interferir no produto final gerado, sendo ele mais valorado agricultavelmente ou não. Esta distinção pode ocorrer pelos diversos tipos de adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação, interferindo assim nos atributos físicos e químicos do lodo.

De acordo com Van Haandel e Além Sobrinho (2006), pelo tamanho das partículas e pela sua biodegradabilidade, o material orgânico pode ser diferenciado nos seguintes modelos: a) não biodegradável e solúvel; b) não biodegradável e particulado; c) biodegradável e solúvel; d) biodegradável e particulado. As porções

não biodegradáveis não são metabolizadas nos processos de tratamentos, a parte particulada irá compor o lodo e a parte solúvel acompanhará o efluente líquido.

A composição do lodo é variável, seja pela sua origem, pela sazonalidade ou pelo tratamento ao qual o esgoto é submetido. Em geral, o lodo é composto por 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e a porcentagem restante representa os macro e micronutrientes, além de algumas substâncias que podem ser tóxicas (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Os aspectos negativos encontrados no lodo de esgoto são: 1) há uma instabilidade biológica, pois se a parcela de matéria biodegradável do lodo for muito alta, o lodo pode vir a se tornar putrescível; 2) o volume gerado de lodo é alto devido a concentração de sólidos suspensos ser baixa; 3) no que se refere a qualidade do lodo este apresenta uma qualidade ruim por apresentar bactérias, vírus e parasitas na sua composição, sendo um potencial causador de riscos à saúde da população (VAN HAANDEL e ALÉM SOBRINHO, 2006).

Como parte destes elementos não pode estar em contato com a natureza e com os indivíduos, é necessário que haja um tratamento, ou seja, uma descontaminação destes agentes e produtos, para então eliminar os riscos inerentes ao esgoto. Este melhoramento das características do esgoto ocorre nas ETEs, estabelecimentos nas quais o esgoto é tratado e devolvido aos corpos hídricos ainda na forma líquida. Porém, subprodutos sólidos e semissólidos são formados neste processo, os sólidos grosseiros, espuma, areia e os lodos (SILVA, 2001).

O lodo advindo de uma ETE, seja ele primário, secundário e terciário, é originário de diferentes etapas do processo de tratamento. O lodo primário é proveniente do decantador primário e, nesta primeira fase, a concentração de sólidos fica em torno de 3%. É importante que este lodo seja adensado para que o volume se torne menor. Além disso, apresenta uma concentração de patógenos alta e odores desagradáveis. O lodo secundário é retirado do decantador secundário, após passar por um procedimento de conversão biológica. Este adensamento é de mais difícil execução quando comparado ao adensamento primário. Estes dois lodos iniciais são denominados brutos e ainda não digeridos. Então, mescla-se os dois e, juntos, passam para a etapa da digestão (DAVID, 2002).

Segundo Ferreira e Andreoli (1999b), o lodo bruto resultante do tratamento primário apresenta uma cor acinzentada, é pegajoso, contém odor desagradável e

fermenta facilmente. O lodo digerido possui uma coloração marrom escura e não possui odor.

Para Silva (2001), os principais fatores para a grande quantidade de lodo de esgoto gerado são a ascensão tanto agrícola quanto populacional, aumentando assim a utilização de água e, conseqüentemente, de lodo gerado.

De acordo com Onofre, Abatti e Tessaro (2015), com o aumento da cobertura da rede de esgoto e do seu tratamento, os países europeus têm-se preocupado com a crescente produção do lodo gerado no processo de tratamento.

Ao classificar os resíduos de saneamento, o lodo merece destaque, pois, apesar de representar apenas 1 ou 2% do volume do esgoto tratado, acarreta em um dispêndio na ordem de 20 a 60% dos custos operacionais de uma ETE. Ademais, os outros resíduos gerados apresentam um volume pequeno e podem ser dispostos em aterros sanitários, enquanto o lodo requer, muitas vezes, um espaço físico maior e o envolvimento de outros setores (ANDREOLI e PEGORINI, 2003).

É essencial que a disposição do lodo seja pensada e planejada ainda na fase dos projetos das ETEs, para garantir que impactos ambientais adversos sejam evitados.

### 2.3 MÉTODOS DE TRATAMENTO, DESTINAÇÃO E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO

O gerenciamento do lodo de esgoto é um problema de ordem ambiental e sanitário, de modo que sua má gestão pode ocasionar impactos no ambiente e para a população.

Para Ferreira e Andreoli (1999a), a escolha da destinação final do biossólido deve-se dar devido aos seguintes fatores: a) quantidade de lodo gerado no tratamento; b) tomar conhecimento se há características especiais no lodo que possam afetar negativamente à disposição; c) reconhecer também se o lodo é composto por esgoto industrial; e d) a produção e a caracterização do biossólido produzido na ETE.

De acordo com Gomes e Bernardino (2013), embora apresentem custos distintos e formas de disposição diferenciadas, a disposição do lodo em aterro e seu uso agrícola são as opções mais relevantes. Contudo, existem outras maneiras de

aproveitar ou dispor o biossólido, sendo elas: a recuperação de áreas degradadas; reuso industrial e, *landfarming*. Um fator importante, se não o mais relevante, na escolha do método de tratamento ou de disposição final é o custo que o mesmo trará para a instituição responsável, que pode ser pública ou privada.

As formas de tratamento do lodo em destaque são a calagem e a compostagem, pois demandam poucos recursos e requerem uma mão de obra pouco qualificada para os processos. Porém, as duas apresentam um fator adverso em comum, que é o aumento no volume final do lodo, pelo fato de receberem o incremento de outros produtos. Para isso, a secagem apresenta-se como mais vantajosa por não necessitar da adição de produtos e garantir um produto higienizado (ANDREOLI et al., 2001).

De acordo com Chagas (2000), as formas mais usuais de disposição do biossólido são a disposição agrícola, aterro sanitário e incineração. Chueiri (2001) destaca a reciclagem agrícola; incineração; *landfarming*; aterros sanitários; e descarga em oceanos e lagos. Já Tsutiya (1999) indica as seguintes possibilidades de disposição do lodo de esgoto: i) incineração; ii) disposição oceânica; iii) reuso industrial, na produção de agregados leves e fabricação de tijolos; iv) restauração de terras; v) uso agrícola; e vi) disposição em aterros. Segundo Bettiol e Camargo (2006), as principais disposições finais e opções de aproveitamento do lodo de esgoto são: a) reuso industrial, para produção de cerâmicas, tijolos, cimento e agregados leves; b) incineração; c) aterro sanitário ou exclusivos para resíduos perigosos; d) recuperação dos solos; e) *landfarming*; f) transformação em óleo combustível; g) uso agrícola e florestal.

A higienização do lodo de esgoto é necessária para que os agentes patogênicos indesejados sejam eliminados ou reduzidos, a ponto de atender a Legislação. Dessa forma, serão apresentadas as principais técnicas de higienização e descontaminação do lodo, assim como alguns dos possíveis usos de lodo, seja através da incorporação no solo ou como matéria prima para gerar outros produtos.

### 2.3.1 Calagem

A calagem é uma técnica simples de desinfecção do lodo, pois, consiste na incorporação da cal à massa de lodo de esgoto. Essa incorporação pode ocorrer de

forma manual ou mecânica, dependendo do volume de lodo gerado pela ETE e dos recursos disponíveis para aquisição do maquinário.

A adição de cal ao lodo de esgoto é uma metodologia para a estabilização e desinfecção (química e térmica) do material. Com a incorporação desse material, gera-se uma alcalinização brusca, de maneira a elevar o pH a pelo menos 12, eliminando ou inativando assim os agentes patogênicos que compõem o lodo. Além disso, a incorporação da cal tem a função de aumentar a temperatura, por causar reações químicas, até aproximadamente 60°C. Esse processo ao qual o biossólido é submetido, além dos atributos anteriores, aumenta a porosidade do lodo, reduz o odor e, como os solos paranaenses são considerados ácidos, já atua como um condicionador do solo por torná-lo mais básico (ANDREOLI et al., 1998).

Os agentes patogênicos não resistem a exposição a um pH muito elevado. Esse processo de mistura da cal ao lodo requer uma quantidade de 30 a 50% de cal em relação ao peso seco do lodo. Os fatores que atuam no processo de desinfecção do biossólido são: aumento da temperatura, resultante de uma reação exotérmica em que a cal, em contato com a água presente no lodo, libera calor; mudança do pH; e a atuação da amônia gerada a partir do nitrogênio (ANDREOLI et al., 2001; IHLENFELD, 1999).

Se o lodo tratado com cal for utilizado na agricultura, as vantagens desse método de estabilização e desinfecção são maiores ainda. De acordo com Andreoli et al. (2001), o biossólido incorporado com a cal contém componentes fundamentais para o solo agrícola, tais como cálcio e magnésio, corrigindo a acidez e substituindo ou reduzindo a necessidade de calagem. De acordo com Ihlenfeld (1999), o período de armazenagem da mistura de lodo e cal deve ser de 60 dias.

### 2.3.2 Compostagem

A compostagem também é um processo simples do ponto de vista operacional e, assim como a calagem, ela pode ser realizada com mão de obra não qualificada. Porém, o atendimento aos requisitos necessários para a eliminação dos patógenos exigem um controle rigoroso de temperatura, umidade e aeração.

Na compostagem, que nada mais é do que um processo biológico, a matéria orgânica é degradada por microrganismos presentes no lodo por meio de processos

exotérmicos que geram calor e aumento da temperatura na massa a ser compostada. Essa temperatura deve ser mantida em torno de 60°C por, pelo menos dez dias. Para que ocorra a compostagem do lodo, necessita-se da adição de algum resíduo orgânico, podendo ser este algum vegetal picado, folhas, palha, bagaço de cana, entre outros (IHLENFELD, 1999). Para Andreoli et al. (1998), o material a ser escolhido deve ser rico em carbono, sendo este denominado como material estruturante.

Para Ihlenfeld (1999), outro fator importante a ser considerado nesse processo é a umidade, que deve estar entre 55 e 65%. A atividade microbiana exige dois elementos essenciais, nitrogênio e carbono. O primeiro é consumido na degradação e fornecido pelo próprio lodo; o segundo é disponibilizado pelos resíduos. A concentração carbono/nitrogênio ideal é 20-30/1, isto é, entre 20 e 30 unidades de carbono para uma unidade de nitrogênio.

O processo de revolvimento e a aeração são necessários para a boa compostagem da massa pois, com o decorrer dos dias, a temperatura, após atingir seu topo, tende a diminuir, assim como a atividade biológica. Se após o revolvimento a temperatura voltar a subir o processo ainda não pode ser finalizado. Se permanecer estável, o composto está pronto (IHLENFELD, 1999).

Após a temperatura alcançar os valores mais elevados possíveis na compostagem, em um período de aproximadamente 30 dias, ela começa a diminuir gradativamente até chegar a temperatura ambiente e, então, entrar na fase de maturação, que dura aproximadamente 60 dias. Após esse período, o composto estará pronto para uso. Esse composto deve apresentar características como: odor equivalente ao de bolor; cor negra; um material úmido; e um produto de fácil manejo (ANDREOLI et al., 1998).

De acordo com Andreoli et al., (1998) a garantia de que os agentes patogênicos foram erradicados depende essencialmente do período da fase termófila e da técnica aplicada na compostagem, assim como do controle de características e parâmetros.

### 2.3.3 Landfarming

De acordo com Ferreira e Andreoli (1999a), a prática de *landfarming* consiste na utilização do solo como um sistema de tratamento do lodo, no qual é aplicado em um local escolhido por vários anos. O solo é usado como um retentor de metais, base

para a atividade biológica (bioxidação). Nesse sistema, o lodo fica exposto ao sol, degradando a matéria orgânica. É interessante ressaltar que os nutrientes do lodo não serão aproveitados. O solo serve apenas para tratar o esgoto e não para beneficiar-se de seus componentes.

As doses de aplicação de lodo em base seca são altas, entre 60 e 70 toneladas ao ano quando não há um sistema de impermeabilização. Já quando há impermeabilização na camada de solo, entre 60 e 80 centímetros de profundidade, pode-se aplicar de 300 a 600 toneladas ao ano por hectare. Ao depositar o lodo sobre o solo, acrescenta-se uma camada de solo para recobrimento, visando acelerar a degradação da matéria e para evitar a atração de vetores (FERREIRA e ANDREOLI, 1999a).

Dessa maneira, torna-se uma alternativa emergencial para o tratamento do lodo, de baixo custo, fácil execução e que, se bem operada, não apresenta risco ao ambiente (FERREIRA e ANDREOLI, 1999a).

#### 2.3.4 Incineração

A incineração é uma forma segura de tratamento para lodos por eliminar totalmente os organismos patogênicos. Como produto resultante desse processo, obtém-se as cinzas que precisam ser dispostas em um local apropriado. Todavia, o lodo é somente tratado e não pode ser utilizado como matéria prima ou como um agregado que pode ser incorporado em produtos.

Os países mais adeptos dessa técnica concentram-se na Europa e o Japão, que é o país com maiores índices de uso da incineração para a disposição de resíduos. Ressalta-se que a incineração é a tecnologia mais segura no tratamento de qualquer resíduo, porém, do ponto de vista ambiental e econômico não é uma boa escolha, por exigir alto dispêndio financeiro e por afetar negativamente ao meio ambiente por conta das cinzas e emissões atmosféricas (CHAGAS, 2000).

As principais vantagens da incineração são a diminuição do volume incinerado e a eliminação de agentes patogênicos e de substâncias tóxicas (CHAGAS, 2000; FERREIRA e ANDREOLI, 1999a).

Segundo Tsutiya (1999), a eliminação da água e dos sólidos orgânicos do biossólido ocorrem por combustão, reduzindo o volume da massa em cinco vezes, sendo que a porção resultante é composta por sólidos fixos.

### 2.3.5 Produção de Cerâmica

Segundo Areias (2015), o biossólido contém elementos químicos e fases cristalinas que podem ser utilizados na fabricação de cerâmicas, pois, as matérias primas para produtos cerâmicos estão se esgotando.

A maior preocupação quanto ao uso do lodo de esgoto é pela presença de agentes patogênicos e metais pesados, mas, quando incorporado à massa cerâmica torna-se um material não mais perigoso devido ao processo pelo qual irá ser submetido.

Países como Japão, Espanha e Alemanha utilizam o lodo como matéria prima para a produção de cerâmica, porém, no Brasil esse tipo de destinação é pouco significativa (CATOLICO, CARVALHO e JARQUE, 2015).

De acordo com Ingunza et al. (2006), adição do lodo ocorre no momento em que a massa cerâmica está sendo preparada, onde argilas e lodo vão formando essa massa. Uma das vantagens em se adicionar lodo à massa cerâmica é o fato do lodo atuar como corretor da umidade.

Para Catolico, Carvalho e Jarque (2015), as principais vantagens do uso de lodo de esgoto como matéria prima para a indústria cerâmica são: menor valor em relação à fabricação, transporte e energia; destinação ambientalmente segura para o lodo; não há necessidade da extração total dos recursos naturais; e no processo de fabricação da cerâmica, por utilizar altas temperaturas, deixa o material com riscos sanitários mínimos.

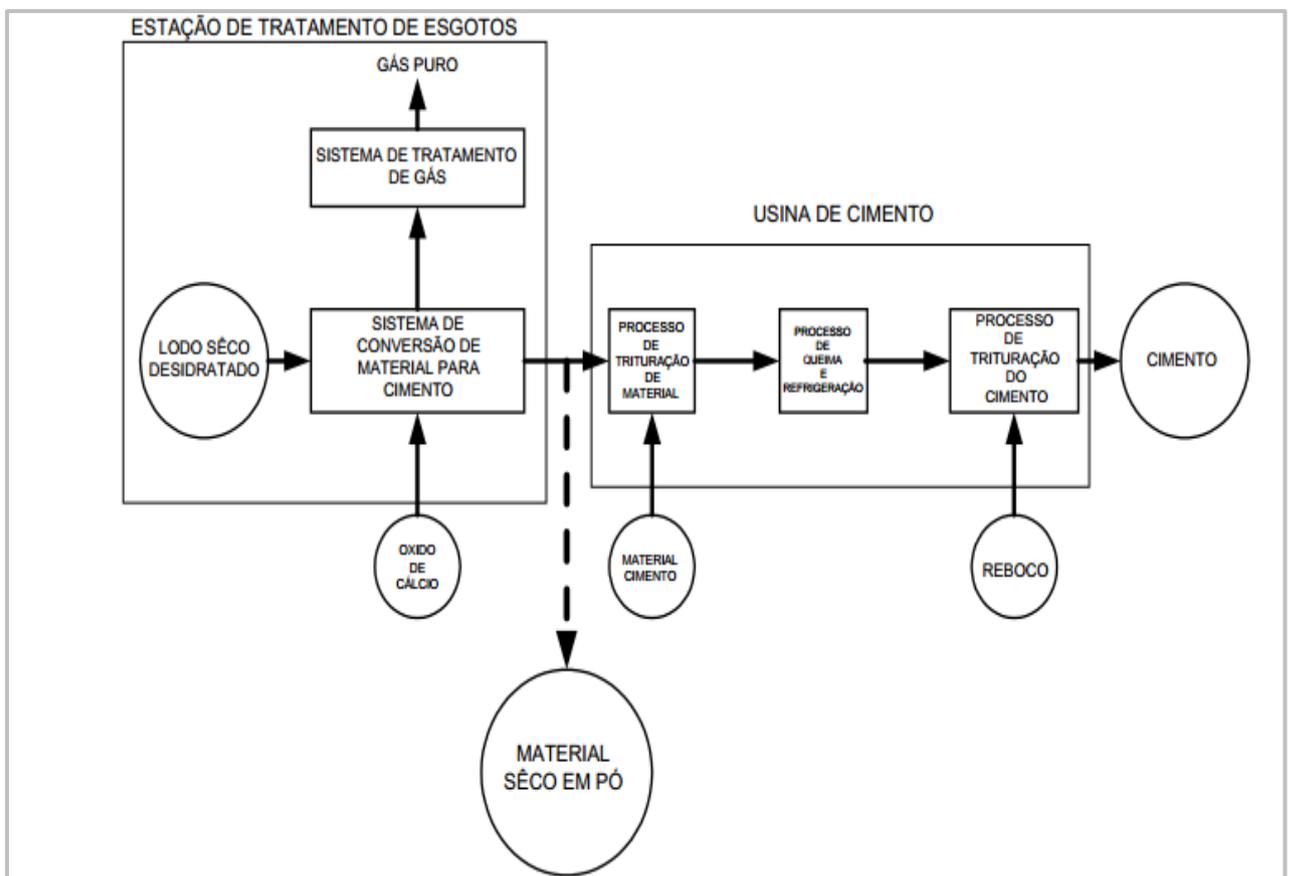
### 2.3.6 Produção de Cimento e Tijolos

Segundo Tsutiya (1999), o uso de lodo na produção de cimento pode ser empregado como material a ser adicionado à mistura com a farinha crua que deve ser “clinkerizada” ou como combustível auxiliar para os fornos de “clinkerização”,

contendo um poder calorífico de aproximadamente 2.000 quilocalorias por quilogramas (kcal/kg). A “clinkerização” atua como uma espécie de incinerador. Com isso, ocorrerá a eliminação de agentes patogênicos, de produtos tóxicos e metais pesados. Após esse processo, o material é incorporado à matéria prima do cimento por ligações estáveis.

Na Figura 3, o aproveitamento do bio-sólido na produção de cimento é apresentado.

**Figura 3** - Conversão do lodo de esgotos para materiais de cimento.



Fonte: Tsutiya (1999).

O lodo pode ser utilizado na fabricação de cimento por conter materiais inorgânicos similares à argila e à pedra calcárea. Como descrito na Figura 3, com a mistura de cal ou com a secagem, o bio-sólido é desidratado. Através de um exaustor de gás, o odor e a umidade são eliminados, assim, a matéria seca é agregada a outros materiais. Em seguida, essa massa é moída, moldada, queimada e resfriada para se produzir o “clinker”, sendo moído mais uma vez antes da incorporação do gesso calcinado para a produção do cimento ser completa (TSUTIYA, 1999).

Para Tsutiya (1999), uma série de vantagens são encontradas na utilização do biossólido para a produção de cimento: a) nenhum material é enviado para aterro, pois, não há a produção de cinza ou qualquer outro resíduo; b) o produto gerado pode ser usado em inúmeras aplicações; c) a procura por cimento é contínua, então a demanda por lodo não se esgotará; d) o uso do biossólido é total, tanto de materiais orgânicos como inorgânicos, seja para a produção de materiais de cimento, seja para o combustível usado no processo; e e) a instalação é facilitada, podendo ser executada na própria ETE.

Na África do Sul, desde 1979, as ETEs usam o lodo de esgoto para produção de tijolos, principalmente em larga escala. Para a produção, utiliza-se um volume de 30% de biossólido para a fabricação de tijolos comuns e de 5 a 8% para tijolos de acabamento. Com a incorporação do biossólido, há uma economia de água. Os tijolos são mais leves, havendo então, menores custos no transporte. Com o alto poder calorífico do biossólido, a fornalha tem maior rendimento operacional; e há a reutilização de energia térmica a partir da queima dos gases de secagem (TSUTIYA, 1999).

### 2.3.7 Disposição em aterros sanitários

A disposição de biossólidos em aterros sanitários consiste na retirada do lodo do local onde foi produzido para ser disposto em uma área segura onde, em teoria, não deve haver contato com indivíduos, nem contaminação do solo e dos corpos hídricos.

De acordo com Chagas (2000), os aterros sanitários são soluções de disposição final menos onerosas no Brasil. O aterramento dos resíduos fundamenta-se em confinar os resíduos sólidos em uma determinada área, acrescentando uma camada de material inerte em cima dos resíduos, uma vez ao dia ou com uma periodicidade maior, se necessário.

Os aterros sanitários deveriam receber apenas os rejeitos. A fração de resíduos recicláveis deveria ser encaminhada para a reciclagem e, os orgânicos poderiam ser compostados. Porém, no Brasil, esta não é uma realidade, pois muitos resíduos, que poderiam ser reaproveitados ou utilizados como matéria prima, são descartados dessa forma, o lodo é um desses.

Os custos com a aquisição de área para a construção de aterro são altos em decorrência da porção de área necessária ser muito grande para a realização da disposição dos resíduos. Ferreira e Andreoli (1999a) apresentam um exemplo. Em um município de 300.000 a 500.000 habitantes, gera-se em média 25 toneladas por dia de lodo em base seca, sendo necessário, a depender da tecnologia empregada, de 2 a 20 hectares por ano de solo para depositar o lodo.

A disposição do lodo em aterros pode ocorrer em dois locais distintos: em aterros exclusivos ou em aterros comuns, que recebem todos os resíduos sólidos de um município (TSUTIYA, 1999).

Com o confinamento do lodo no aterro e o cobrimento com terra, o material passa a biodegradar-se anaerobicamente. Sem a presença do oxigênio, esse processo ocorre lentamente e a matéria orgânica demora a se degradar. Além disso, ocorre a produção de metano. Dessa forma, exige-se um criterioso estudo na implantação do aterro, assim como a utilização de tecnologias para controle ambiental das consequências geradas da degradação dos resíduos. No processo de decomposição da matéria, geram-se percolados com a perda de água do lodo. Nesse caso, duas consequências adversas podem ocorrer: 1) se um sistema de coleta do percolado não for realizado, o material pode atingir o lençol freático ou então escoar até as águas superficiais, causando eutrofização pelo acúmulo de nutrientes e contaminação por metais pesados e outros contaminantes orgânicos; 2) faz-se necessário um procedimento para a drenagem e queima ou reaproveitamento dos gases produzidos no aterro antes de serem lançados na atmosfera (FERREIRA e ANDREOLI, 1999a).

### 2.3.8 Recuperação de áreas degradadas

Dependendo do fator pelo qual o solo foi degradado - extração de minério, monocultura, desastres ambientais, queimadas, contaminações, entre outros - a falta de nutrientes e matéria orgânica é enorme. Dessa maneira, o biossólido ganha destaque na incorporação dessas áreas carentes de fontes nutricionais.

Com o solo apresentando condições físico-químicas mais adequadas, até mesmos os microrganismos têm seu número aumentado ou voltam a habitar o solo degradado, melhorando assim, a composição do solo como um todo.

De acordo com Sampaio et al. (2012), o lodo de esgoto incorporado em solos degradados aumenta o teor de matéria orgânica e de nutrientes do mesmo, já que, recuperar uma área degradada exige a adição de elementos orgânicos para melhorar as propriedades físicas do solo.

Para Barbosa e Tavares Filho (2006), o crescimento de leguminosas e gramíneas ocorre rapidamente com a aplicação do lodo. Com isso, as plantas crescem de maneira viçosa, sendo mais produtivas e tendo um crescimento radicular maior.

A aplicação do lodo no solo pode ocorrer com o material em diferentes estados, podendo ser seco ou em tortas. Segundo Tsutiya (1999), as tortas de biossólidos são capazes de auxiliar na transição de terras estéreis para terras produtivas. As quantidades de tortas incorporadas ao solo podem ser altas, podendo variar de 7 a 450 toneladas por hectare. Em média, aplica-se cerca de 112 toneladas secas por hectare de solo, uma única vez.

### 2.3.9 Fins florestais

O uso do biossólido como fertilizante em áreas florestais é extremamente relevante por não haver impedimentos e restrições no que se referem a contato direto e possível contaminação humana, como no caso da agricultura, pela ingestão de alimentos.

### 2.3.10 Fins agricultáveis

Com a maioria da população inserida nas cidades e a mão de obra para as atividades agrícolas cada vez menor, o solo é sistematicamente mais exigido, na busca por maior produtividade através da mecanização e do uso de insumos.

Há então uma procura por produtos que possam ser reaproveitados, já que insumos minerais possuem fonte esgotável e apresentam custo maior que um produto que seria descartado, como o lodo, por exemplo.

De acordo com Andreoli et al. (1998), dentre as alternativas de disposição do biossólido, a reciclagem agrícola é a mais vantajosa, pois, converte um rejeito em um

insumo agrícola acarretando, dessa forma, ganhos econômicos e ambientais. A matéria orgânica presente no bio sólido interfere de maneira positiva nas características do solo, reduzindo muitas vezes, a erosão. Apesar dessas e muitas outras vantagens do uso agrícola do lodo de esgoto, para que sua utilização seja segura, uma série de normas, parâmetros e restrições devem ser consideradas.

Para Chagas (2000), ao se comparar os fertilizantes convencionais com o bio sólido, percebe-se que o valor do segundo material é inferior ao primeiro. Outro benefício do lodo é que em sua massa existem partículas aglomerantes, as quais estruturam anéis com íons metálicos capazes de agrupar partículas finas do solo, sais e minerais, facilitando a penetração das raízes. Somado a isso, ocorre uma maior retenção da umidade, aumenta a abertura de sulcos no solo, aumenta a aeração do solo, diminui a perda de nutrientes, reduz o escoamento superficial, cria um ambiente favorável para o desenvolvimento de micro e macrorganismos desejáveis.

Andreoli e Pegorini (1998), destacam também a importância da utilização do lodo na agricultura em relação a conservação do meio ambiente, reduzindo assim a extração e exploração dos recursos naturais.

Para Tsutiya (1999), a disposição do lodo no solo agrícola é a disposição mais adequada nos âmbitos econômicos, ambientais e técnicos. O valor agregado ao produto depende dos nutrientes nele contidos e da porcentagem da matéria orgânica.

Além dos nutrientes presentes no lodo retornarem ao solo, o uso agrícola do lodo tem um custo baixo e quando operado de forma correta é seguro para o meio ambiente e para a população. Ao decidir utilizá-lo, é necessário conhecer seu valor agrícola, sua demanda, custos com o beneficiamento e transporte e possuir um plano para o gerenciamento e monitoramento do produto. No Brasil, é uma alternativa muito interessante, pelo fato do solo necessitar de matéria orgânica devido ao intemperismo climático ao qual é submetido (FERREIRA e ANDREOLI, 1999a).

Para Bittencourt (2009), o uso agrícola do bio sólido é uma forma de impulsionar o desenvolvimento sustentável, já que há uma devolução dos nutrientes e da matéria orgânica ao solo, contribuindo para a produção de alimentos.

## 2.4 FATORES DE RISCO QUANTO AO USO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA

Sabe-se que a má gestão dos lodos pode causar efeitos negativos ao ambiente. Entre os maiores causadores de impactos adversos estão a contaminação por metais pesados, elementos persistentes e agentes patogênicos.

Conforme Zeitouni (2005), o lodo é considerado uma alternativa aos fertilizantes químicos na agricultura, trazendo ganhos econômicos e ambientais. Todavia, dependendo da saúde da população, do sistema de tratamento de esgoto e da contaminação por efluentes industriais, o lodo contém em sua composição patógenos, metais pesados e compostos orgânicos persistentes em um volume variável.

Para Andreoli et al. (2001) e Ihlenfeld (1999), o lodo contém a maior parte dos microrganismos contidos no esgoto sanitário, podendo colocar a saúde da população em risco, caso não seja bem gerenciado. A contaminação pode ocorrer principalmente pelo material fecal presente no lodo.

Outro fator adverso ocasionado na decomposição do lodo é a geração de nitrato e amônio, decorrentes da conversão do Nitrogênio (N). O nitrato pode ser lixiviado e o amônio provavelmente fica retido no solo. O N também pode passar pelo processo de desnitrificação com a decomposição do lodo, sendo que o N na forma de nitrato pode ser convertido em nitrogênio gasoso. Para obter vantagem com a incorporação do N ao solo, a quantidade do mesmo deve ser igual a capacidade da planta de absorvê-lo, assim, não ocorrerá uma possível contaminação (BETTIOL; CAMARGO, 2006),

Segundo Bettiol e Camargo (2006), o Fósforo (P) não é um dos elementos mais preocupantes em relação à contaminação do solo ou água pela incorporação do lodo. Porém, esse em uma quantidade superior à desejada - quando houver a ocorrência de perda de solo por arraste de terra e se sua deposição ocorrer em corpos d'água - o solo receptor pode ser eutrofizado pela alta carga de P. Portanto, é essencial a realização de monitoramento dos solos quanto aos seguintes elementos: nitrato, compostos orgânicos persistentes, metais pesados e agentes patogênicos.

### 2.4.1 Metais Pesados

Os metais pesados presentes no lodo de esgoto são provenientes, em pequenas quantidades, dos próprios resíduos e das canalizações pelas quais o esgoto passa até chegar a ETE. As fontes citadas anteriormente apresentam níveis naturais de metais, entretanto, pode haver a incidência de ligações clandestinas de indústrias que elevam o teor de metais pesados no esgoto e, conseqüentemente, no lodo (FERREIRA e ANDREOLI, 1999c; CHAGAS, 2000).

Os metais não são necessariamente produtos indesejados, pois em certas quantidades, são elementos essenciais às plantas. De acordo com Chagas (2000), o Zinco (Zn) e o Cobre (Cu) são dois desses micronutrientes. Porém, os que não são necessários às plantas ou mesmo os necessários, em quantidades elevadas, acumulam-se no solo podendo ser tóxicos às plantas e aos indivíduos.

De acordo com Bettiol e Camargo (2006), a composição do lodo pode apresentar em sua composição maiores níveis de Ferro (Fe), Molibdênio (Mo), Zn, Níquel (Ni) e Cu, além de Cádmio (Cd) e Chumbo (Pb), que, no solo e em quantidades superiores ao desejado, atuam como contaminadores do solo.

Para Ferreira e Andreoli (1999c), os metais pesados mais perigosos que podem estar presentes no lodo são: Cd, Cu, Mo, Ni, Zn.

O pH alcalino do solo reduz a mobilidade dos metais pesados no solo e, por consequência, do solo às plantas. Contudo, no Brasil os solos são considerados em sua maioria ácidos. Um fator relevante nesse caso é o uso de calagem para a higienização do lodo, usada em grande escala no país, o que torna os solos pela incorporação do bio sólido mais alcalino (FERREIRA e ANDREOLI, 1999c).

Nos próximos parágrafos deste item serão apresentados os principais metais encontrados no bio sólido, começando pelo Cd.

O Cd é considerado o metal mais perigoso e não é necessário para o crescimento e desenvolvimento animal e vegetal e se encontrado no solo, traz risco também para os humanos. Apresenta pouca mobilidade no solo e sua concentração média na crosta terrestre é de 0,15 parte por milhão (ppm) (FERREIRA e ANDREOLI, 1999c).

O elemento cobre está entre aqueles que são essenciais às plantas, mas é tóxico em níveis altos. É um dos metais com menos mobilidade no solo. Pode ser

encontrado no organismo humano pela assimilação com proteínas, trabalhando para a formação de tecidos humanos (FERREIRA e ANDREOLI, 1999c).

O Zn é também um elemento fundamental aos animais e às plantas, sendo limitado na maioria dos solos do Brasil. Quando o pH do solo apresentar um valor menor que 6,5, pode haver uma toxicidade desse elemento (FERREIRA e ANDREOLI, 1999c).

O Ni pode apresentar toxicidade às plantas presentes em solos com pH de 6,5. O teor desse metal depende da rocha de origem do solo sendo, por isso, muito variável (FERREIRA e ANDREOLI, 1999c).

Como visto, os metais pesados podem ser benéficos ao solo e às plantas ou maléficos em condições de solos e quantidades inadequadas. É por esse motivo que os solos e bioossólidos devem ser analisados antes da incorporação desse fertilizante, pois, em alguns casos apresentará características favoráveis, indiferentes ou negativas.

#### 2.4.2 Agentes Patogênicos

Dentre os agentes patogênicos existentes no lodo, os cistos de protozoários, bactérias e ovos de helmintos são os mais perigosos para a saúde humana e animal. Esses microrganismos apresentam maiores riscos pelos seguintes motivos: o tempo de sobrevivência é alto; apresentam alta incidência nos indivíduos; e tem uma distribuição geográfica extensa (ANDREOLI et al., 2001).

Segundo Ferreira e Andreoli (1999c), enquanto alguns organismos patogênicos podem viver por anos no solo outros possuem um curto ciclo de vida nesse tipo de ambiente. No Brasil, um dos limitantes ao uso de lodo em terrenos agrícolas é a presença desses organismos fora dos limites estabelecidos. Entretanto, a solução para esse problema é relativamente fácil e viável. Basta adotar técnicas de eliminação dos mesmos pela higienização do bioossólido, tais como a compostagem e a calagem.

De acordo com Gonçalves, Jordão e Além Sobrinho (2003), as contaminações dos agentes patogênicos podem ocorrer por: ingestão de água não tratada ou de má qualidade; consumo de alimentos contaminados; ou pelo contato direto com água ou solo contaminado. Entre essas formas de contaminação, a mais preocupante é a contaminação do solo e da água por vírus, bactérias, helmintos e protozoários

presentes no esgoto ou em seus derivados. Esses agentes patogênicos são totalmente indesejados no bio sólido após o seu tratamento.

#### 2.4.2.1 Helmintos

Os helmintos são, de acordo com Andreoli et al. (1998), os microrganismos patogênicos mais resistentes. Entre eles, no estado do Paraná, destaca-se a *Taenia solium*, causando grande preocupação por parte dos agentes de saúde pelo fato de causar a neurocisticercose.

Gonçalves, Jordão e Além Sobrinho (2003), também alertam para a resistência dos helmintos no ambiente, relatando que eles são resistentes a alguns desinfetantes, dificultando assim, a sua eliminação. A contaminação humana por esses microrganismos ocorre pela ingestão de ovos e larvas ou pela penetração na pele ou mucosa de larvas, necessitando apenas de uma larva ou ovo para a infecção.

#### 2.4.2.2 Vírus

Por se multiplicarem no trato gastrointestinal e por serem eliminados nas fezes, os vírus entéricos estão presentes no lodo de esgoto em grande número. As doenças causadas por esses vírus são: hepatite A; enterovírus; parvovírus; rotavírus e adenovírus (GONÇALVES, JORDÃO e ALÉM SOBRINHO, 2003).

#### 2.4.2.3 Bactérias

Dentre as bactérias, as pertencentes ao grupo dos coliformes termotolerantes são indicadoras de contaminação na água e no solo. Esses organismos indicadores, em geral, não são os responsáveis pelas doenças em si, porém, indicam a presença de origem fecal no ambiente. As bactérias patogênicas inseridas no trato intestinal animal e humano são causadoras de doenças gastrointestinais, entre elas: cólera, disenteria e febre tifóide. Felizmente, esses organismos são pouco resistentes aos desinfetantes (GONÇALVES, JORDÃO e ALÉM SOBRINHO, 2003).

As bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes termotolerantes, antes denominados coliformes fecais, constituem aproximadamente 95% da flora intestinal (BIER, 1978). Com isso, os esgotos sanitários e, conseqüentemente os lodos de esgoto, são compostos por um grande número dessas bactérias que, dentre outras, são as principais causas de patologias humanas em decorrência da contaminação por bio sólidos.

#### 2.4.2.4 Cistos de Protozoários

De acordo com Gonçalves, Jordão e Além Sobrinho (2003), os protozoários presentes no esgoto sanitário mais conhecidos e detectados são: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia* e *Balantidium coli*. O *Cryptosporidium* é hoje um protozoário também contido no lodo. Antigamente, acreditava-se que era apenas um patógeno animal. Ihlenfeld (1999) cita o protozoário *Toxoplasma gondii* entre os mais detectados no bio sólido.

As conseqüências de uma contaminação por protozoários são as seguintes: diarreia, enterite aguda, gastroenterite, perda de peso e modificações no sistema nervoso (IHLENFELD, 1999).

## 2.5 BENEFÍCIOS DO LODO NA AGRICULTURA

Após relatar os possíveis empecilhos do uso do lodo e suas conseqüências adversas, caso ele não seja manejado corretamente, torna-se conveniente apresentar os pontos positivos do uso do bio sólido na agricultura.

Segundo Figueiredo e Tanamati (2010), a procura por adubos orgânicos tem sido elevada pelo fato dos valores dos fertilizantes industriais serem altos. Na fase inicial do uso da adubação orgânica não havia receio algum quanto ao seu uso. Entretanto, com o passar do tempo e com a maior utilização dos adubos, a preocupação com os materiais poluentes resultantes da decomposição desses produtos foi crescendo, devido a capacidade que os mesmos tinham de contaminar o ambiente e os indivíduos.

De acordo com Dynia, Boeira e Souza (2006), o lodo de esgoto pode ser comparado aos fertilizantes de outros materiais orgânicos utilizados no solo. As vantagens deste uso são duas: a) de maneira geral, quando se pensa em sustentabilidade, a primeira consiste na ciclagem dos nutrientes onde os mesmos não são perdidos e retornam ao solo; b) a segunda vantagem é reduzir a pressão pela extração mineral para a fabricação de fertilizantes comerciais.

Os principais nutrientes que fazem do biossólido um produto interessante, do ponto de vista agrícola, são os seguintes: P, N, micronutrientes e a matéria orgânica (ANDREOLI et al., 1998; BARBOSA e TAVARES FILHO, 2006; ONOFRE, ABATTI e TESSARO, 2015).

Para Andreoli et al. (1998), essas substâncias são importantes em duas esferas: para a produção agrícola e para a conservação da fertilidade do solo. Os nutrientes presentes proporcionam uma estabilidade de elementos no solo, fazendo com que haja aumento na produção. A matéria orgânica faz com que a porcentagem de húmus seja elevada, contribuindo para a armazenagem e infiltração da água no solo, o que acarretará em uma diminuição da erosão.

De acordo com Onofre, Abatti e Tessaro (2015), o lodo de esgoto, ao ser incorporado no solo, contribui para a reciclagem da matéria orgânica e devolução de nutrientes, trazendo melhorias nas propriedades biológicas, físicas e químicas do solo e, conseqüentemente, aumentando a produtividade.

O biossólido age como condicionador do solo, favorecendo a agregação de partículas, estrutura e elevando sua aeração. É uma complementação à adubação, atuando de forma positiva nos aspectos de redução dos custos, em virtude da necessidade de menor quantidade de fertilizantes químicos (BARBOSA e TAVARES FILHO, 2006).

Para Bettioli e Camargo (2006), o uso de lodo em solos agrícolas tem inúmeros benefícios, como a incorporação de macronutrientes (N e P) e de micronutrientes (Fe, Zn, Co, Mo e Mn). No entanto, os lodos são pobres em Potássio (K), sendo necessária a adição de adubos minerais.

Portanto, é necessário conhecer a composição química dos biossólidos e sua dinâmica, assim como a composição química dos solos onde se pretende aplicar o lodo.

O biossólido passa a ter uma grande vantagem quando comparado ao fertilizante mineral. David (2002), afirma que os fertilizantes minerais não contêm

matéria orgânica em sua composição. Logo, é necessária adição deste elemento de outra fonte, como esterco, por exemplo. O bio sólido contém P em sua composição, que é um nutriente de relevante interesse agrônomo, essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas.

Segundo Bettiol e Camargo (2006), o lodo tem a capacidade de reter água em solos arenosos. Em solos argilosos, ele aumenta a infiltração e permeabilidade, trazendo benefícios para os agregados na superfície do solo.

De acordo com Andreoli et al. (2003), as agências ambientais estão estimulando o uso do lodo na agricultura, na medida em que o lodo apresente atributos adequados para este fim. Para estar apto para essa finalidade, é necessária a passagem por um processo de desinfecção e secagem do lodo, diminuindo assim a umidade e a fração de organismos patogênicos.

Para Quintana et al., (2011) o uso de bio sólido na agricultura proporciona, devido aos nutrientes e matéria orgânica contidos nele, resultados positivos que os adubos químicos não são capazes de propiciar.

Segundo Bittencourt et al. (2009), a utilização do bio sólido na agricultura propicia as seguintes melhorias: a) o solo torna-se mais resistente à erosão; b) há uma maior retenção de água no solo; c) provê nutrientes às plantas; d) diminui as consequências negativas de uma disposição final incorreta; e) com a incorporação da matéria orgânica e dos nutrientes no solo, as condições químicas, físicas e biológicas do solo são favorecidas; f) gera ganhos para a agricultura familiar; g) eleva a produtividade agrícola; e h) diminui os custos da adubação química para os agricultores.

A utilização agrícola do lodo apresenta várias vantagens principalmente por este, tratado anteriormente como um rejeito, passar a ser um recurso economicamente valorizado, se bem utilizado.

### 2.5.1 Culturas aptas ao uso do lodo

O terceiro capítulo desta dissertação trata das Legislações referentes à coleta e tratamento do esgoto, com destaque para as Normas relacionadas ao tratamento e destinação do bio sólido. Dentre estas Legislações, está a Resolução do CONAMA

nº 375/06 que descreve as restrições locacionais e as culturas nas quais o lodo não pode ser aplicado.

Dessa forma, entende-se que, salvo as restrições e medidas restritivas descritas pela Resolução, as demais culturas existentes podem receber o lodo de esgoto para fertilizar solos, respeitando as classes no qual o lodo irá se enquadrar.

### **CAPÍTULO 3: ASPECTOS LEGAIS RELACIONADOS A COLETA, TRATAMENTO DE ESGOTO E DO LODO DE ESGOTO**

Sabe-se que a coleta e o tratamento do esgoto são serviços integrantes do saneamento básico e, portanto, fundamentais para assegurar uma boa qualidade de vida para a população e condições adequadas para o meio ambiente sadio.

Através disso, é primordial que existam políticas públicas e Legislações para padronizar e estabelecer critérios para a coleta e o tratamento de esgoto, considerando o processo de licenciamento do empreendimento de tratamento; parâmetros de descarte ao corpo d'água do efluente líquido tratado após passar por processos de descontaminação; e indicadores de eliminação de contaminantes para os possíveis usos dos resíduos sólidos gerado no tratamento do esgoto, ou seja, do lodo de esgoto.

Mais do que Legislações completas, é necessário que as mesmas sejam cumpridas, que haja prestação de contas e, sobretudo, que a fiscalização seja uma atividade rotineira, a fim de garantir que as exigências sejam realizadas.

Ainda sobre as Legislações brasileiras e Estadual (do Paraná), elas indicam uma série de informações e exigências essenciais, restringindo a disposição final do esgoto e sua posterior utilização.

Antes do tratamento do esgoto, é preciso fazer sua coleta, que consiste em captar os esgotos domésticos produzidos, através de redes coletoras, conduzindo-os para uma ETE. É importante destacar esta fase de coleta, pois, sem ela não há tratamento. É a fase inicial para que o tratamento possa ocorrer.

Este capítulo da dissertação tem por objetivo expor as Legislações brasileiras e paranaenses existentes sobre o esgoto doméstico, destacando seus principais pontos quanto ao processo de licenciamento ambiental para estações de tratamento de esgoto; as condições e padrões de lançamento de efluentes; as exigências em relação ao uso de fertilizantes; e as exigências legais para o uso do lodo de esgoto na agricultura.

### 3.1 NORMAS PARA OS LICENCIAMENTOS AMBIENTAIS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Todas as atividades potencialmente causadoras de danos ou impactos ambientais adversos devem ser devidamente avaliadas e licenciadas pelos órgãos ambientais competentes, como uma medida de preservação e conservação dos recursos naturais provindos da natureza. Como as estações de tratamento de esgoto enquadram-se nestes empreendimentos, neste item serão expostas informações a respeito do licenciamento deste setor.

#### 3.1.1 Resolução CONAMA nº 377 de 2006

A Resolução nº 377/2006 do CONAMA é a Legislação Federal que dispõe sobre o licenciamento de uma ETE. Portanto, ela deve ser seguida por todos os estados, podendo ser complementada por Normas Estaduais que sejam mais restritivas.

Esta Resolução faz referência ao licenciamento ambiental simplificado de unidades de transporte e de tratamento de esgoto de pequeno e médio portes. Somente não poderão ser licenciados empreendimentos de forma simplificada se o órgão competente<sup>3</sup> considerar a área de instalação como “ambientalmente sensível” (BRASIL, 2006b).

São consideradas unidades de tratamento de esgoto de pequeno porte aquelas que apresentam em seu projeto uma vazão inferior ou igual a 50 Litros por segundo (L/s) ou que tenha uma capacidade para atender no máximo 30.000 habitantes. As unidades de esgoto de médio porte são aquelas no qual apresentam uma vazão entre 50 L/s e 400 L/s ou que possua uma capacidade de atender de 30.000 habitantes a 250.000 habitantes. É de responsabilidade dos órgãos ambientais estabelecer os critérios para definir os sistemas de esgotamento sanitário de pequeno e médio porte, em concordância com os parâmetros de população atendida ou de vazão nominal (BRASIL, 2006b).

---

<sup>3</sup> O órgão competente ou órgão ambiental competente citados nesta e nas outras normas e legislações deste trabalho, não são esclarecidos pelas mesmas, podendo ser eles municipais, estaduais ou federais.

O empreendimento poderá solicitar o licenciamento simplificado para unidades de transporte e tratamento de esgoto sanitário de médio porte, se entregar ao órgão ambiental os estudos referentes às seguintes informações: I- do empreendimento; II- do responsável técnico; III- da caracterização dos recursos hídricos, da vegetação e do meio socioeconômico; IV- da área do projeto; V- do plano de monitoramento; e VI- das medidas compensatórias e mitigadoras (BRASIL, 2006b).

Já as unidades de transporte e tratamento de esgoto sanitário de pequeno porte, quando não localizadas em área “ambientalmente sensível”, ficam obrigadas a apresentar somente uma Licença Ambiental Única de Instalação e Operação (LIO) ou ato administrativo equivalente, sob condição de regularização do Conselho Estadual de Meio Ambiente (BRASIL, 2006b).

No momento da requisição de uma LIO ou ato administrativo equivalente, os documentos a seguir serão exigidos,

I- Informações gerais sobre o projeto e outras informações consideradas relevantes pelo órgão ambiental competente; II- declaração de responsabilidade civil e a respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica (ART); III- autorização para supressão de vegetação, quando for o caso; IV- Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos para lançamento de efluentes; e V- localização em conformidade com instrumento de ordenamento territorial do município ou do Distrito Federal (BRASIL, 2006b, Artigo 4).

Independente da categoria a qual a ETE de um município pertença, é imprescindível que os documentos e compromissos exigidos pelo órgão ambiental competente para o licenciamento sejam elaborados com seriedade dos fatos, que sejam atendidas as imposições e que haja fiscalização das informações que são repassadas aos licenciadores.

### 3.1.2 Resolução SEMA nº 001 de 2007 e Resolução SEMA nº 021 de 2009

Estas Resoluções que serão abordadas neste item da dissertação referem-se ao licenciamento de empreendimentos de saneamento, estabelecendo padrões ambientais e outras providências. São Normas do estado do Paraná, especificamente da SEMA. Como todas as Normas Estaduais, elas devem seguir obrigatoriamente o que é estabelecido em nível Federal e incluir orientações complementares.

Em concordância com os requisitos e critérios do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), órgão de fiscalização ambiental vinculado à SEMA, os resíduos produzidos em ETEs, de desarenador, gradeamento, espuma e lodos podem, obedecendo o estabelecido, serem depositados em aterros no interior das ETEs para seguirem seu gerenciamento. Para a Legislação paranaense esses resíduos citados podem também ser destinados a aterros sanitários do município ou da região, desde que os mesmos possuam licenciamento e concordem em recebê-los (PARANÁ, 2007; PARANÁ, 2009).

Os resíduos de desarenador, de gradeamento e de espuma, assim como o lodo de esgoto são os resíduos sólidos produzidos no sistema de tratamento de esgoto. Entretanto, para fim desta pesquisa o foco estará no lodo de esgoto, já que os demais resíduos não podem ser utilizados na agricultura, devendo ser enviados para aterros sanitários.

Quanto ao lançamento de efluentes líquidos produzidos nas ETEs em corpos d'água, os padrões estabelecidos são os seguintes: a DBO pode chegar até 90 Miligramas por Litros (mg/L); a Demanda Química de Oxigênio (DQO) até 225 mg/L; os óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L; e os óleos minerais até 20 mg/L (PARANÁ, 2007; PARANÁ, 2009).

### 3.2 LEGISLAÇÃO SOBRE AS CONDIÇÕES E PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Após o esgoto doméstico produzido nas cidades passar por um tratamento em uma ETE, os resíduos gerados são: 1) um resíduo líquido, que pode ser devolvido para algum corpo hídrico (geralmente um rio); 2) um resíduo sólido, chamado de lodo de esgoto, que pode ser reutilizado.

Em relação ao efluente líquido, os padrões e critérios estabelecidos no Brasil são determinados pela Resolução CONAMA nº 430/2011, como será visto a seguir.

### 3.2.1 Resolução CONAMA nº 430 de 2011

De acordo com esta Resolução, os esgotos sanitários são a “denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos” (BRASIL, 2011b, Artigo 4).

O esgoto pode ser lançado em um corpo d’água de duas formas: por lançamento direto ou indireto. O primeiro corresponde ao despejo direto no corpo receptor e, no segundo caso, acontece uma “condução do efluente” através de uma rede coletora que obtém outros efluentes antes do lançamento no corpo receptor, podendo ter recebido tratamento ou não (BRASIL, 2011b).

É obrigação do empreendedor, na fase de licenciamento do empreendimento, comunicar ao órgão ambiental quais substâncias podem estar presentes no efluente produzido por sua empresa ou indústria (presentes na Resolução CONAMA nº 357/2005 ou não), quanto aos padrões de qualidade da água. A não ocorrência desta informação pode acarretar em sérias punições, como a suspensão ou cancelamento da licença dada (BRASIL, 2011b).

O órgão ambiental competente deve estabelecer critérios de ecotoxicidade para os lançamentos de efluentes, pois o não cumprimento de critérios pode causar efeitos tóxicos às espécies aquáticas do corpo receptor (BRASIL, 2011b).

Os empreendimentos e indústrias, só poderão descartar seu efluente líquido na rede coletora se o órgão ambiental competente julgar que o resíduo não apresenta substâncias danosas ao ambiente, de acordo com as informações repassadas pelos empreendedores.

Empreendedores que possuem empreendimentos com fontes poluidoras têm a tarefa de auto monitorar os efluentes gerados como uma forma de controle destes. O órgão ambiental competente pode exigir que sejam cumpridos procedimentos de monitoramento, como avaliações periódicas da qualidade do corpo hídrico (BRASIL, 2011b).

Até o dia 31 de março de cada ano, o responsável por empreendimentos potencialmente poluidores de fontes hídricas deve conceder ao órgão ambiental competente uma Declaração de Carga Poluidora, a qual se refere ao ano anterior. Neste documento deve constar uma caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes. Além disso, cabe ao órgão ambiental solicitar outras informações que julgar

necessárias. A declaração deve ficar armazenada no empreendimento juntamente com a ART do profissional habilitado, para que o órgão ambiental fiscalize em uma situação de necessidade (BRASIL, 2011b).

Para os empreendimentos de tratamento de esgoto sanitário têm-se condições e padrões de lançamentos distintas de outros efluentes, estando especificado na Seção III desta Resolução. As exigências são as seguintes: 1) pH entre cinco e nove; 2) temperatura abaixo de 40°C, no qual a variação de temperatura não pode ser maior que 3°C no limite da zona de mistura; 3) é permitido até 1 mililitro por Litro (mL/L) de materiais sedimentáveis em teste de uma hora em cone *Inmhoff*. Caso o lançamento ocorra em lagoas ou lagos onde a velocidade é aproximadamente nula, os materiais sedimentáveis devem ser virtualmente ausentes; 4) os materiais flutuantes devem ser ausentes; 5) a DBO de cinco dias a 20°C deve apresentar remoção de no mínimo 60% de DBO ou pela comprovação de pesquisa que demonstre a autodepuração do corpo hídrico capaz de atender a Legislação; 6) presença de substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) de até 100 mg/L (BRASIL, 2011b).

De acordo com o Art. 22 da Resolução nº 430/2011, o lançamento de esgoto sanitário realizado em emissários submarinos “deve atender aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura e ao padrão de balneabilidade, de acordo com as Normas e Legislação vigentes” (BRASIL, 2011b).

O órgão ambiental competente, em situações onde julgar necessário, pode exigir o teste de ecotoxicidade do efluente por apresentar características potencialmente tóxicas ao corpo receptor (BRASIL, 2011b).

Os empreendimentos que tem por tarefa e objeto tratar o esgoto produzido em um determinado município devem tratar seus resíduos antes de darem uma disposição final. É fundamental que os resíduos sólidos e líquidos estejam livres de agentes patogênicos e substâncias tóxicas, pois, após tratamento, que se espera que seja eficaz, eles serão devolvidos à natureza.

Lembra-se que o tratamento do esgoto é uma atividade que busca solucionar um problema. Então, de forma alguma, os resíduos desse processo podem gerar alguma poluição ou contaminação, comprometendo as condições ambientais de um local.

### 3.3 LEGISLAÇÕES REFERENTES AOS FERTILIZANTES USADOS NA AGRICULTURA

O uso de fertilizantes na agricultura torna-se uma prática cada vez mais frequente no cotidiano agrícola. Dentre os motivos pelos quais esse uso é recorrente estão: o exaurimento do solo devido ao modelo da monocultura, o uso intensivo de maquinários, solos pobres em nutrientes essenciais ao crescimento de plantas, a prática de queimadas e o aumento na produtividade, entre outros.

Como os fertilizantes, artificiais ou naturais, são fundamentais para corrigir as deficiências dos solos de alguns nutrientes, os mesmos devem passar por processos de averiguação e cumprimento de requisitos para serem incorporados ao solo. É essencial que esse produto seja seguro e corresponda ao esperado pelo produtor, para não comprometer sua produção ou depositar no solo substâncias indesejadas.

Quando se trata da utilização de um rejeito como um novo produto com valor agrícola, o mesmo deve ser priorizado. É o caso do lodo de esgoto, um resíduo sólido que se mal tratado, torna-se um produto inutilizado e traria dispêndios financeiros para sua destinação adequada. Além desses gastos, o não uso do lodo como fertilizante agrícola seria um desperdício de matéria orgânica e nutrientes, necessários para crescimento de plantas.

#### 3.3.1 Instrução Normativa nº 25 de 2009

Para garantir a qualidade e eficiência dos fertilizantes, a principal Norma com diversas diretrizes e especificidades é a Instrução Normativa (IN) nº 25/2009, emitida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Esta Instrução Normativa visa validar as “Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura” (BRASIL, 2009).

Como o tema de nossa dissertação é o lodo decorrente do esgoto sanitário, discutiremos a seguir apenas os aspectos do uso desse tipo de resíduo como fertilizante.

Segundo a Instrução Normativa nº 25/2009, que revogou a Instrução Normativa nº 23/2005 do MAPA, o lodo de esgoto pertence à categoria de fertilizantes orgânicos compostos, oriundos de tratamentos de esgotos sanitários, que resultem em produto de uso seguro na agricultura, enquadrando-se nos limites estabelecidos para contaminantes. Estes fertilizantes orgânicos são divididos em quatro classes (Quadro 1), sendo que o lodo de esgoto pertence à classe D (BRASIL, 2009).

**Quadro 1** - Tipos de fertilizantes agrícolas segundo a IN nº 25/2009 MAPA.

<b>CLASSE</b>	<b>TIPO DE FERTILIZANTE</b>
<b>A</b>	São aqueles que, em sua produção, usam matéria prima de origem vegetal, animal e de processamentos da agroindústria, sem que em seu processo sejam utilizados metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos.
<b>B</b>	Refere-se a aqueles que em sua produção, utiliza matéria proveniente de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, na qual metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são usados no processo.
<b>C</b>	Abrange os fertilizantes que em sua produção utilizam qualquer volume de matéria prima proveniente de resíduo domiciliar.
<b>D</b>	Engloba aqueles que utilizam qualquer quantidade de matéria prima advinda do tratamento de dejetos sanitários.

Fonte: Brasil (2009).

Reforça-se a questão de que o lodo de esgoto pode ser utilizado para fins agrícolas como um excelente fertilizante orgânico, desde que passe por um tratamento eficaz e seguro, certificando que não há a presença de agentes patogênicos e substâncias indesejáveis acima do permitido.

Independentemente do tipo de fertilizante produzido para posterior uso, deve-se seguir algumas garantias e especificações como estabelece a Instrução Normativa. O lodo de esgoto enquadra-se na categoria de produto sólido, no qual pode ser um produto farelado, farelado grosso, pó ou granulado, de acordo com o tamanho dos grânulos estabelecidos e diferenciados na Instrução Normativa (BRASIL, 2009).

Após o processo de tratamento, o lodo de esgoto torna-se um material seco, desidratado, de fácil desagregação, porém, um produto sólido com aspecto terroso (Figura 4).

**Figura 4** - Lodo de esgoto após tratamento.



Fonte: Arquivo Pessoal (Novembro, 2014).

De acordo com o Artigo 4 da Instrução Normativa nº 25/2009, os macronutrientes primários devem ser informados quando incorporados ao solo em unidade de porcentagem mássica, sendo eles: o N em teor total; o Óxido de Potássio ( $K_2O$ ) em teor solúvel em água; e Pentóxido de Fósforo ( $P_4O_{10}$ ) em teor total para fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos e

Para fertilizantes organominerais para aplicação no solo: 1) para os produtos que contenham concentrados apatíticos, fosfatos naturais, fosfatos naturais reativos, termofosfatos, escórias de desfosforação e farinha de ossos, ou a mistura destes com fosfatos acidulados, teor solúvel em CNA mais água ou em ácido cítrico a 2%, relação 1:100; e; 2) para os produtos que contenham fosfatos acidulados e parcialmente acidulados, teor solúvel em citrato neutro de amônio mais água (BRASIL, 2009, Artigo 4).

É importante apresentar a quantidade de cada nutriente no solo, pois, os fertilizantes apresentam variações entre si e os solos também. Isso será um fator

decisivo na escolha do tipo de fertilizante, assim como a quantidade de massa do produto que será incorporado ao solo.

Os fertilizantes orgânicos, produzidos a partir de matéria prima das Classes B, C e D, oriundos de agroindústrias, indústrias e resíduos urbanos, devem conter licença ambiental para sua operação, habilitando a utilização dos fertilizantes ou, então, um pronunciamento do órgão de meio ambiente competente, referente a conformidade do seu uso na agricultura segundo as perspectivas ambientais (BRASIL, 2009).

Para que os fertilizantes das Classes C e D sejam comercializados dentro da legalidade, é essencial uma recomendação técnica expedida por um engenheiro florestal ou engenheiro agrônomo com registro no conselho de classe. Esta recomendação deve ser expressa em documento, folheto, rótulo ou embalagem (BRASIL, 2009).

Então, além de conter a porcentagem de cada nutriente, sejam macros ou micros, um profissional técnico deve dar seu parecer quanto a qualidade do fertilizante. Essas exigências são fundamentais para que o produto seja utilizado de forma segura e eficaz, são ações em prol da qualidade ambiental e sanitária. O monitoramento do produto após sua aplicação também é fundamental.

Para garantir o uso correto destes produtos, é obrigado por esta Instrução Normativa o acompanhamento dos mesmos por 180 dias após a disposição, como um método de fiscalização do produto (BRASIL, 2009).

Assim como outros fertilizantes oriundos de diversas matérias primas ou subprodutos, aqueles advindos do lodo de esgoto também devem passar por análises e testes a fim de garantir a salubridade ambiental, tanto do solo quanto das culturas que serão fertilizadas.

A seguir, através dos Decretos expostos, serão apresentados alguns conceitos importantes relacionados aos fertilizantes e algumas exigências do MAPA.

### 3.3.2 Decreto nº 4.954 de 2004; Decreto nº 8.059 de 2013; e Decreto nº 8.384 de 2014

Estes Decretos têm por finalidade impor as Normas referente ao “registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de

fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura” (BRASIL, 2014a, artigo 1).

É importante conceituar alguns produtos para diferenciá-los, já que em diferentes trabalhos o lodo é denominado ora como fertilizante, ora substrato, ora corretivo (Quadro 2).

**Quadro 2** - Definição de substrato, fertilizante e corretivo do solo.

<b>PRODUTOS AGRONÔMICOS</b>	<b>DEFINIÇÕES</b>
<b>Fertilizante</b>	Substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas, podendo ser fertilizante: mineral; orgânico; mononutriente; binário; ternário; com outros macronutrientes; com outros micronutrientes; mineral simples; mineral misto; mineral complexo; orgânico simples; orgânico misto; orgânico composto; e organomineral.
<b>Substrato</b>	Produto usado como meio de crescimento de plantas.
<b>Corretivo</b>	Produto de natureza inorgânica, orgânica ou ambas, usado para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, isoladas ou cumulativamente, não tendo em conta seu valor como fertilizante, além de não produzir característica prejudicial ao solo e aos vegetais, assim subdividido: corretivo de acidez; de alcalinidade; de sodicidade; e do solo.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2014a).

De acordo com as definições estabelecidas, acredita-se que o lodo de esgoto seja um fertilizante orgânico misto (BRASIL, 2004).

Esses produtos apresentam características diferentes e um profissional habilitado deve recomendá-los visando suprir as necessidades da cultura a ser plantada em determinado solo. Assim será realizado uma escolha para definir qual produto é o mais indicado, seja natural ou sintético, mineral ou orgânico, pois existem algumas restrições quanto ao uso do fertilizante de lodo de esgoto, como será visto nos itens desse capítulo.

O Decreto nº 8.384, em seu Art. 49, estabelece que cabe ao MAPA inspecionar e fiscalizar locais “produtores, comerciais, importadores e exportadores de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas e de seus produtos e matérias-primas”. Além desta função, o MAPA tem a incumbência de criar, padronizar e aprovar documentos, formulários e outros que

julgar necessário, referentes ao “controle, inspeção e fiscalização” destes produtos (BRASIL, 2014a). Assim como todos os itens do Decreto devem ser cumpridos, este talvez seja um dos mais importantes: a responsabilidade de um órgão Federal inspecionar e fiscalizar esses produtos.

O MAPA pode através de ações administrativas, para a efetivação deste regulamento estabelecer:

I - As exigências, os critérios e os procedimentos a serem utilizados: a) na padronização, na classificação e no registro de estabelecimentos e produtos; b) na inspeção, fiscalização e controle da produção e do comércio; c) na análise laboratorial; d) no credenciamento, na origem, dos estabelecimentos exportadores de produtos e matérias-primas para o mercado nacional; e) no credenciamento de instituições de pesquisa para fins de experimentação de produtos novos; f) no cadastramento de empresas prestadoras de serviços de industrialização, armazenagem, acondicionamento, análises laboratoriais e as geradoras de materiais secundários destinados ao uso direto na agricultura ou como matéria-prima para a fabricação de produtos especificados neste Regulamento e no cadastramento de empresas fornecedoras de minérios para a fabricação dos produtos abrangidos por este Regulamento; II - a destinação, o aproveitamento ou reaproveitamento de matéria-prima, produto, embalagem, rótulo ou outro material; III - a criação de marcas de conformidade, que poderão ser utilizadas pelos estabelecimentos que tenham optado pela adoção do programa de Boas Práticas de Fabricação e Controle; IV - as definições, conceitos, objetivos, campo de aplicação e condições gerais para a adoção do programa previsto no inciso III (BRASIL, 2004, Artigo 109; BRASIL, 2013, Artigo 109; BRASIL, 2014a, Artigo 109).

Nota-se a importância do MAPA em todas as fases do processo de produção, comercialização, regulamentação e fiscalização de fertilizantes e outros incorporadores do solo. Esse órgão deve fazer uso de todas as suas atribuições para assegurar as propriedades e especificidades do produto agrícola.

A principal Legislação referente ao uso do fertilizante sob análise nesta pesquisa com potencial a ser usado na agricultura brasileira será apresentado no tópico a seguir.

### 3.4 LEGISLAÇÃO QUANTO AO USO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA

Diversos trabalhos são publicados e autores renomados defendem o uso do lodo de esgoto produzido em estações de tratamento de esgoto como fertilizante

agrícola. É um uso sustentável de um produto considerado, anteriormente, um resíduo sem serventia, mais do que isso, um rejeito.

Entretanto, para que esse resíduo possa ser um produto valorado, a garantia de que o mesmo é seguro, tanto para o meio ambiente como para a saúde humana deve ser comprovada. Essa comprovação se dá por meio do cumprimento da Legislação. A principal Norma Federal em relação ao tratamento e uso do lodo de esgoto sanitário como fertilizante agrícola é a Resolução CONAMA nº 375 de 2006.

#### 3.4.1 Resolução CONAMA nº 375 de 2006

Com pesquisas e experimentos sobre o tratamento e uso de lodo de esgoto como fertilizante agrícola realizadas sobretudo na década de 1990 e nos anos 2000, surgiu a necessidade de criar uma Legislação Federal que norteasse as ações e apresentasse parâmetros, restrições e diretrizes para esse uso.

Esta Resolução do CONAMA tem por função uniformizar e padronizar nacionalmente o uso do lodo de esgoto na agricultura e silvicultura, trazendo ganhos para diversos setores, como saúde pública, correta destinação de um produto considerado rejeito e, também, vantagens para os agricultores.

##### 3.4.1.1 Exigências para o uso do lodo

Sabe-se que a utilização do lodo de esgoto, chamado também de biossólido, traz diversos ganhos à agricultura e silvicultura. Contudo, antes deste ser depositado no solo, a atividade deve ser regulamentada, atendendo as condições e restrições, visando garantir a segurança do ambiente e da população.

Com isso, o biossólido deve ser submetido à caracterização biológica (agentes patogênicos) e química (poluentes orgânicos, metais pesados, entre outros), nos quais obrigatoriamente, devem atender a todas as condições da Resolução nº 375/2006 do CONAMA (SANEPAR, 2011).

Ressalta-se que os lodos para fins agricultáveis não podem ter origem industrial. Além disso, não poderão ser utilizados lodos provenientes de aeroportos e portos; de hospitais; resíduos de gradeamento e desarenador; produto gorduroso de

caixas de gordura, de decantadores primários e reatores anaeróbicos; de sistemas individuais de tratamento sem ter recebido tratamento da ETE; lodo perigoso; e lodo não estabilizado (BRASIL, 2006a).

Os lodos provenientes de ETEs geralmente apresentam características semelhantes, embora sempre sejam distintos de uma estação para outra até mesmo dentro de um único município. Porém, as exceções citadas anteriormente são advindas de locais e estabelecimentos onde os lodos contêm naturezas muito diferenciadas e específicas, além de resíduos provenientes do próprio tratamento de esgoto e de lodos com propriedades perigosas, onde o tratamento convencional de esgoto não seria capaz de torná-lo seguro para fins agrícolas.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006, os lodos originados de tratamento de esgoto - quando destinado à agricultura - necessariamente, deverão ser submetidos a processo de redução da atratividade de vetores e patógenos. No Artigo 7 desta Resolução, está descrito que a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado para ser aplicado no solo deve conter as seguintes informações: o potencial agrônômico, as substâncias inorgânicas e orgânicas com potencial tóxico, os indicadores bacteriológicos e os agentes patogênicos, e estabilidade (BRASIL, 2006a).

Ao caracterizar o lodo, no que se refere ao seu potencial agrícola, é necessário determinar alguns parâmetros, sendo eles:

Carbono orgânico; fósforo total; nitrogênio Kjeldahl; nitrogênio amoniacal; nitrogênio nitrato/nitrito; pH em água (1:10); potássio total; sódio total; enxofre total; cálcio total; magnésio total; umidade; e sólidos voláteis e totais (BRASIL, 2006a, Artigo 7).

Esses parâmetros irão determinar qual a aptidão do lodo com fins agricultáveis, o quão ele é bom para o solo, ou seja, qual o seu potencial agrícola para melhorar as propriedades do solo para receber uma determinada cultura.

Na determinação das substâncias inorgânicas para a caracterização química do lodo, deverão ser conhecidas as substâncias: “Arsênio; Bário; Cádmio; Chumbo; Cobre; Cromo; Mercúrio; Molibdênio; Níquel; Selênio; e Zinco”. Para a caracterização química de substâncias orgânicas, devem ser determinadas as substâncias presentes na Quadro 3 (BRASIL, 2006a).

**Quadro 3** - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas a serem determinadas no lodo de esgoto.

<b>SUBSTÂNCIA</b>	
Benzenos clorados	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
1,2-Diclorobenzeno	Benzo(a)antraceno
1,3-Diclorobenzeno	Benzo(a)pireno
1,4-Diclorobenzeno	Benzo(k)fluoranteno
1,2,3-Triclorobenzeno	Indeno(1,2,3-c,d)pireno
1,2,4-Triclorobenzeno	Naftaleno
1,3,5-Triclorobenzeno	Fenantreno
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	Lindano
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's) Constantes da Convenção de Estocolmo
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	Aldrin
Esteres de ftalatos	Dieldrin
Di-n-butil ftalato	Endrin
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	Clordano
Dimetil ftalato	Heptacloro
Fenóis não clorados	DDT
Cresóis	Toxafeno
Fenóis clorados	Mirex
2,4-Diclorofenol	Hexaclorobenzeno
2,4,6-Triclorofenol	PCB's
Pentaclorofenol	Dioxinas e Furanos

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006.

A caracterização química, tanto das substâncias orgânicas quanto das inorgânicas com potencial tóxico, é essencial para a avaliação do uso do lodo de determinada ETE, pois, as principais preocupações quanto a este uso ocorrem em função de substâncias tóxicas, metais pesados e agentes patogênicos. Estas substâncias presentes no lodo, quando incorporado no solo, podem apresentar sérios danos ambientais e sanitários, como: a contaminação do solo, da água, de animais, de alimentos e de humanos.

Apesar da determinação das substâncias orgânicas potencialmente tóxicas ser exigida e de grande importância, a Resolução CONAMA 375/06 não estabelece os

limites máximos de concentração que cada substância pode apresentar no biossólido. Há somente os limites máximos para essas substâncias, exceto para os Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's), presentes no solo.

Para investigar e certificar que o lodo é seguro para ser disposto em solo agrícola, a Resolução orienta a realização da caracterização e definição da concentração quanto à presença dos seguintes indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos: “coliformes termotolerantes; ovos viáveis de helmintos; *Salmonella*; e vírus entéricos” (BRASIL, 2006a).

A determinação dos agentes patogênicos é de extrema importância, porque, assim como a falta de tratamento de esgoto, como vimos no Capítulo 1 dessa dissertação, em quantidades acima do permitido, esses agentes podem acarretar doenças graves aos seres humanos.

Em relação a estabilidade, o lodo só será considerado estável se apresentar uma relação sólidos voláteis/sólidos totais menor que 0,70. Caso julgar necessário, o órgão ambiental competente pode solicitar outras análises que não estão presentes nessa resolução, perante causa reconhecida (BRASIL, 2006a). O lodo não estabilizado apresenta mau cheiro e, além disso, atrai vetores, ambos não desejáveis para um lodo que será utilizado na agricultura.

No que se refere ao monitoramento do lodo, a variável tempo fica condicionada a quantidade produzida anualmente. Para uma produção de até 60 toneladas/ano, o monitoramento exigido é anual; no caso de 60 a 240 toneladas/ano solicita-se que seja semestral. Quanto maior a quantidade produzida de lodo, maior a frequência de monitoramento (BRASIL, 2006a).

O monitoramento deve ser realizado da maneira como é exigido pela Resolução. Mesmo que apresente as características desejáveis antes da disposição no solo, o monitoramento pode diagnosticar situações adversas, que podem ser tratadas, mitigadas e solucionadas antes de causarem impactos negativos.

Os limites máximos de concentração permitidos de substâncias inorgânicas para utilização na agricultura e para a concentração de agentes patogênicos estão nas Tabelas 1 e 2, respectivamente (BRASIL, 2006a).

**Tabela 1** - Concentração máxima de substâncias inorgânicas permitidas no lodo de esgoto (biossólido).

SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA NO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO (MG/KG, BASE SECA)
Arsênio	41
Bário	1.300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1.500
Cromio	1.000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2.800

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006.

**Tabela 2** - Concentração máxima de agentes patogênicos permitidas no lodo.

TIPO DE LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO	CONCENTRAÇÃO DE PATÓGENOS
A	Coliformes Termotolerantes <math><10^3</math> NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos <math>< 0,25</math> ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus <math>< 0,25</math> UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <math><10^6</math> NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos <math>< 10</math> ovos / g de ST

ST: Sólidos Totais.

NMP: Número Mais Provável.

UFF: Unidade Formadora de Foco.

UFP: Unidade Formadora de Placa.

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006.

Após cinco anos da publicação desta Resolução, ficou estabelecido que somente o lodo de esgoto da Classe A pode ser aplicado no solo. A exceção para que o lodo de Classe B seja utilizado a constatação de novos limites embasados em pesquisas que apontem a segurança deste lodo (BRASIL, 2006a).

A Legislação brasileira não classifica ou define as classes de lodo, apenas faz a separação das classes em Classe A e Classe B. Então seguimos a Legislação Norte Americana CFR 40 Part 503 da Environmental Protection Agency (EPA), agência reguladora dos Estados Unidos da América.

O fator que direciona a classificação do lodo nas duas classes é o tratamento pelo qual o lodo foi submetido. O lodo pertencente a Classe A é aquele que passou por um processo de redução de agentes patogênicos e de atração de vetores, sendo que o mesmo deve ter sido aceito pelo órgão ambiental responsável. Os processos aceitáveis para eliminação de agentes patogênicos para essa Classe são: secagem térmica, tratamento térmico, digestão aeróbia, termofílica, irradiação e pasteurização. Antes do biossólido ser destinado ao agricultor, que fará uso desse produto, ele deve ser avaliado quanto à presença de *salmonella sp.* e coliformes. O valor máximo aceitável para *salmonella sp.* é menor que 3 NMP/4gST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais) e para coliformes deve ser menor que 100 NMP/gST (US EPA, 1993).

Para ser considerado um lodo de Classe B, os processos de eliminação de patógenos são: digestão aeróbia, secagem, digestão anaeróbia e estabilização com cal. Os coliformes, em uma média geométrica de sete amostras, devem ser inferiores à  $2 \times 10^6$  NMP/gST ou  $2 \times 10^6$  UFC/gST<sup>2</sup> (Unidades Formadoras de Colônias por grama de Sólidos Totais) ou então, em apenas uma amostra, ter uma quantidade menor do que  $2 \times 10^6$  NMP/gST (US EPA, 1993).

#### 3.4.1.2 Restrições quanto ao uso do lodo de esgoto

Existem algumas restrições quanto ao uso de biossólidos na agricultura. De acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006, é proibido utilizá-lo em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, além de culturas nas quais a parte comestível entre em contato com o solo. Caso haja intenção de se plantar pastagem na área onde o lodo foi depositado, é necessário um tempo de espera de 24 meses após a aplicação. Para plantio de outras culturas proibidas, deve-se plantar somente após 48 meses da aplicação (BRASIL, 2006a).

Os lodos de esgoto de Classe A podem ser aplicados em todas as culturas, exceto nas proibidas acima. Em contrapartida, os de Classe B somente podem ser

utilizados em cultivo de café, cultivo para produção de óleos e fibras, silvicultura, com auxílio mecânico na aplicação, em covas ou sulcos (BRASIL, 2006a).

Além disso, existem restrições locacionais e de aptidão do solo relacionadas às áreas de aplicação. Não é autorizada a destinação do lodo ou produto derivado em:

I - unidades de conservação, com exceção de Áreas de Proteção Ambiental (APA);

II - Áreas de Preservação Permanente (APP);

III - áreas internas da zona de transporte para fontes de águas minerais, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa;

IV - locais num raio inferior à 100 metros de poços rasos e moradias ou menor metragem desde que causem inoportuno à vizinhança;

V - em uma longitude mínima de 15 metros de vias públicas e drenos interceptores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheira que drenam águas subterrâneas e superficiais;

VI - em áreas agricultáveis com declividade das parcelas superiores a:

a) 10% quando há aplicação superficial sem incorporação;

b) 15% na aplicação superficial com incorporação;

c) 18% no caso de aplicação subsuperficial e em sulcos, e também quando há deposição superficial sem incorporação em áreas para produção florestal;

d) 25% em aplicações em covas;

VII - em parcelas com solos com espessura inferior à 50 centímetros até o horizonte C;

VIII - em locais com profundidade do aquífero freático seja inferior à 1,5 metros da cota mais baixa do terreno;

IX - em locais agricultáveis denominados como não pertinente por decisão de órgãos ambientais e de agricultura (BRASIL, 2006a).

A seguir serão apresentadas outras exigências para o uso desse fertilizante no solo.

### 3.4.1.3 Projeto agrônômico e UGL

Segundo a Resolução CONAMA nº 375/2006, é obrigatória a existência de uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), adequadamente licenciada pelo órgão ambiental competente, para que o lodo possa ser aplicado no solo. As exigências estabelecidas pelo órgão licenciador à UGL são as mesmas exigidas às atividades que podem poluir o meio ambiente ou alterá-lo. No licenciamento ambiental deve constar as áreas de aplicação do lodo e as formas como serão divulgadas as informações aos moradores do local onde possui o solo receptor do lodo (BRASIL, 2006a).

A UGL, devidamente licenciada, pode compreender um local só para o gerenciamento do lodo ou então estar anexada à ETE, fazendo parte da mesma área na qual o lodo é produzido. Esta localidade deve apresentar condições seguras nos âmbitos ambientais e sanitários. Por isso, faz-se necessário o licenciamento e todas as precauções exigidas para que o manejo desse material seja seguro.

Tornou-se obrigatório, a partir desta Resolução, a criação de um projeto agrônômico das áreas de aplicação onde o lodo de esgoto será depositado. No Anexo VIII da Resolução, há um roteiro a ser seguido para a elaboração do projeto agrônômico, no qual um profissional habilitado deve ser o responsável pela elaboração (BRASIL, 2006a).

A UGL é a responsável por remeter ao proprietário de terra ou ao responsável, uma declaração com informações relevantes sobre lodo de esgoto. Conforme o Anexo VI da Resolução, nesta declaração deve haver informações básicas como endereço, os processos de descontaminação do lodo, concentração de substâncias, a área de aplicação, quantidade a ser aplicada, método de aplicação, dentre outros esclarecimentos (BRASIL, 2006a).

A obrigação da UGL de informar os receptores do fertilizante é muito relevante, pois os mesmos, muitas vezes não têm conhecimento de como o lodo é tratado e há muito preconceito por utilizar um resíduo do processo de tratamento de esgoto. Além disso, é importante que eles saibam como e a quantidade correta do uso do biossólido. Essas informações devem ser repassadas por um profissional habilitado sempre colocando, em primeiro lugar, a proteção do ambiente e da saúde humana.

### 3.4.1.4 Aplicação do lodo de esgoto

Os seguintes critérios devem ser seguidos para identificar a quantidade de lodo máxima depositada no solo

a) 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 da resolução;

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

b) o cálculo da taxa de aplicação máxima anual deverá levar em conta os resultados dos ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo de esgoto ou produto derivado constantes do anexo II desta resolução, no solo predominante na região de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo de esgoto ou produto derivado não ultrapasse o limite de 7,0; e

c) observância dos limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas (Tabela 3) (BRASIL, 2006a, Artigo 17).

**Tabela 3** - Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas.

SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	CARGA ACUMULADA TEÓRICA PERMITIDA DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS PELA APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO
	(KG/HA)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromio	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006.

A incorporação do biossólido ao solo apresenta inúmeras vantagens todavia, se esse produto for aplicado em uma quantidade superior ao permitido, pode haver acúmulo de nutrientes e substâncias tóxicas ou não desejadas. Do mesmo modo, não é interessante que a quantidade seja inferior à adequada, porque, isso pode comprometer o desenvolvimento do cultivar.

Como já mencionado, a UGL é encarregada de repassar mais algumas informações ao proprietário da terra ou responsável quanto ao manuseio e aplicação do lodo de esgoto, tais como:

- 1) as restrições do uso do lodo e da área;
- 2) a quantidade máxima da aplicação permitida que consta no projeto agrônômico;
- 3) métodos de conservação do solo e da água;
- 4) orientação quanto a não aplicação em condições chuvosas;
- 5) para o lodo de Classe A, deve-se evitar a aplicação manual deste produto;
- 6) para o lodo de Classe B, a aplicação deve ser mecanizada, em covas ou sulcos, incorporando o lodo posteriormente;
- 7) ensinar os operadores do lodo no solo os métodos de higiene, de segurança e de utilização de equipamentos;
- 8) utilizar equipamento correto para não alterar a taxa adequada do lodo;
- 9) até 30 dias de aplicação do lodo, evitar atividades manuais na área receptora do lodo;
- 10) quando utilizado lodo de Classe B e a colheita for realizada de forma manual, a aplicação deve ser realizada seis meses antes da colheita;
- 11) os 12 meses posteriores as aplicações do lodo devem ser de vigilância para que a população não tenha contato com a área de aplicação do lodo; e
- 12) caso o proprietário de terra perceba alguma irregularidade com o projeto agrônômico, deve entrar em contato com a UGL que informará o órgão ambiental responsável por essas atividades (BRASIL, 2006a).

A estocagem na propriedade recebedora do lodo não deve ultrapassar 15 dias, sendo que o local de estocagem não deve apresentar declividade maior que 5% e respeitar as distâncias mínimas estabelecidas, citadas anteriormente nas restrições de uso do solo. Além disso a estocagem não pode ocorrer sobre o solo diretamente (BRASIL, 2006a).

A Resolução CONAMA nº 375/2006 apresenta importantes exigências que, se devidamente cumpridas, podem eliminar o potencial de contaminação do uso do biossólido em atividades agrícolas e na silvicultura.

#### 3.4.1.5 Monitoramento da área de aplicação do lodo de esgoto

Além dos cuidados para iniciar o processo de uso do lodo de esgoto, faz-se necessário o monitoramento de todas as áreas agrícolas que utilizam esse produto, para acompanhar a quantidade de nutrientes do solo e a necessidade de aplicação de fertilizantes, incluindo o biossólido; o processo de absorção do lodo e de seus nutrientes, entre outros fatores. Em locais onde o lodo será aplicado não é diferente. As propriedades do solo devem ser conhecidas, através de análises laboratoriais sobre suas características físico-químicas antes da aplicação do lodo. A quantidade de lodo aplicado e a periodicidade do monitoramento dependerá das substâncias presentes no solo e no próprio lodo usado como fertilizante.

A UGL é a responsável por caracterizar o solo receptor do lodo no que se refere “aos parâmetros de fertilidade, substâncias inorgânicas, condutividade elétrica e sódio trocável”. O órgão ambiental apresentará valores orientadores da qualidade do solo. Com os resultados da qualidade do lodo e do solo, será realizada uma avaliação para definir a aptidão agrícola do solo e a possibilidade de uso do lodo (BRASIL, 2006a).

As concentrações permitidas no solo de substâncias orgânicas têm seus valores e substâncias apresentadas na Tabela 4, a seguir.

**Tabela 4** - Concentrações máximas permitidas de substâncias orgânicas em solos agrícolas.

SUBSTÂNCIAS	CONCENTRAÇÃO PERMITIDA NO SOLO (MG/KG)
<b>Benzenos Clorados</b>	
1,2-Diclorobenzeno	0,73
1,3-Diclorobenzeno	0,39
1,4-Diclorobenzeno	0,39
1,2,3-Triclorobenzeno	0,01
1,2,4-Triclorobenzeno	0,011
1,3,5-Triclorobenzeno	0,5
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,16
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,01
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,0065
<b>Ésteres de ftalatos</b>	
Di-n-butil ftalato	0,7
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1,0
Dimetil ftalato	0,25
<b>Fenóis não clorados</b>	
Cresóis	0,16
<b>Fenóis clorados</b>	
2,4-Diclorofenol	0,031
2,4,6-Triclorofenol	2,4
Pentaclorofenol	0,16
<b>Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos</b>	
Benzo(a)antraceno	0,025
Benzo(a)pireno	0,052
Benzo(k)fluoranteno	0,38
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,031
Naftaleno	0,12
Fenantreno	3,3
Lindano	0,01

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006.

No mínimo a cada três anos, deve-se realizar o monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo. Caso o lodo tenha passado por processo de estabilização

alcalina, o monitoramento deve ser feito anteriormente a cada aplicação (BRASIL, 2006a).

A obrigatoriedade do monitoramento de substâncias inorgânicas no solo ocorre nas seguintes ocasiões:

I - em todas as aplicações de lodo desde que estas substâncias sejam “poluentes limitantes da taxa de aplicação”;

II - em situações em que a carga acumulada teórica atingir 80% da carga acumulada teórica permitida estabelecida na Tabela 3 (anteriormente exposta), sendo possível analisar se as próximas aplicações serão corretas;

III - a cada cinco aplicações, nas camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade do solo (BRASIL, 2006a).

Para as substâncias orgânicas, o monitoramento deverá ser efetuado em todas as situações onde estas substâncias forem observadas. Devem também ser verificadas as concentrações constantes das substâncias presentes na Tabela 1. A periodicidade do monitoramento deve ser definida pelo órgão ambiental competente (BRASIL, 2006a).

Havendo circunstâncias onde estejam ocorrendo impactos negativos à saúde pública ou ao ambiente, a aplicação do lodo de esgoto deve ser suspensa (BRASIL, 2006a).

#### 3.4.1.6 Quanto as responsabilidades

O gerenciamento e o monitoramento do uso do lodo na agricultura são responsabilidades do gerador e da UGL. O órgão ambiental pode auditar os resultados dos monitoramentos exigidos por esta Resolução quando achar necessário. Na ocorrência de “negligência, imprudência, imperícia, má-fé ou inobservância dos critérios e procedimentos previstos nesta Resolução” com o uso do lodo, assim que confirmado o acontecimento, o autor deste ato será responsabilizado (Artigo 23). Há também a categoria de “responsável solidário” quando se trata da qualidade da água e do solo em locais de aplicação do lodo, sendo eles: o gerador do lodo; o proprietário daquela terra; o responsável técnico; quem se beneficiar da aplicação; o transportador; a UGL; e o detentor da posse efetiva (BRASIL, 2006a).

O órgão ambiental licenciador deve possuir um banco de dados com as informações contidas na Resolução em questão. Além disso, deve divulgar e dispor os dados para uso da população. A tarefa de enviar os resultados dos monitoramentos tanto do solo quanto do lodo é de responsabilidade da UGL. Somada a estas informações, a UGL deve, todos os anos, informar ao órgão ambiental licenciador quais propriedades receberam o lodo de esgoto, assim como quais as quantidades disponibilizadas a cada uma delas (BRASIL, 2006a).

Todos os que estão envolvidos no processo de tratamento, destinação e uso do lodo são responsáveis pelo resíduo, desde os geradores, órgãos responsáveis, até os usuários desse fertilizante. Cabe a cada um cumprir suas obrigações, manejá-lo da maneira correta e assegurar a proteção do ambiente em que será depositado.

#### 3.4.2 Resolução SEMA nº 001 de 2007 e Resolução SEMA nº 021 de 2009

Os critérios para utilização agrícola do lodo produzido em ETE dispostos na Resolução da SEMA nº 001/2007 e Resolução SEMA nº 021/2009 assim como seus parâmetros estabelecidos e limites máximos permitidos são correspondentes aos contidos na Resolução do CONAMA nº 375/2006, apresentando algumas diferenças, por ser mais restritiva, destacadas em **negrito** (Tabela 5).

**Tabela 5** - Limites máximos de substâncias inorgânicas permitidas no lodo segundo a SEMA nº 001/07 e a CONAMA nº 375/06.

SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA NO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO (MG/KG, BASE SECA)	
	Legislação Federal CONAMA nº 375	Legislação Estadual SEMA nº 001
Arsênio	41	41
Bário	1300	1300
Cádmio	39	<b>20</b>
Chumbo	300	300
Cobre	1500	<b>1000</b>
Cromio	1000	1000
Mercúrio	17	<b>16</b>
Molibdênio	50	50
Níquel	420	420
Selênio	100	100
Zinco	2800	<b>2500</b>

Fonte: Resolução SEMA nº 001/2007; Resolução CONAMA nº 375/2006.

Outra diferenciação está na concentração máxima permitida para agentes patogênicos, na Resolução do CONAMA nº 375/2006 há uma distinção entre as Classes de lodo, porém, na Resolução do SEMA nº 001/2007 há apenas uma classificação como pode ser vista a seguir (Tabela 6).

**Tabela 6** - Limites máximos de agentes patogênicos permitidas no lodo.

PATÓGENOS	CONCENTRAÇÃO
Coliformes Termotolerantes	<10 <sup>3</sup> NMP / g de ST
Ovos viáveis de helmintos	< 0,25 ovo / g de ST
<i>Salmonella</i>	Ausência em 10 g de ST
Vírus	<0,25 UFP ou UFF/g de ST

ST: Sólidos Totais.

NMP: Número Mais Provável.

UFF: Unidade Formadora de Foco.

UFP: Unidade Formadora de Placa.

Fonte: Resolução SEMA nº 001/2007.

A Resolução do SEMA nº 001/2007 utiliza uma metodologia proposta por Souza et al., (1994) para classificar o solo de acordo com sua aptidão. Esta metodologia classifica o potencial dos solos em classes de aptidão, “definidas pelo grau de limitação de impedimento mais forte à aplicação de lodos de esgotos”. Nos dois quadros (Quadros 4 e 5) seguintes podemos observar os critérios para de classificação de aptidão do solo e viabilidade do uso (PARANÁ, 2007).

**Quadro 4** - Classes de aptidão das terras para utilização agrícola de lodo e recomendações.

CLASSE DE APTIDÃO	USO	OBSERVAÇÃO
<b>Classe I</b>	Permitido	Permitida a utilização do lodo de esgoto sem restrições
<b>Classe II</b>		
<b>Classe III</b>		
<b>Classe IV</b>	Não recomendado	Poderá ser permitido o uso mediante apresentação de fatores atenuantes
<b>Classe V</b>	Vetado	Não deve ser permitida aplicação

Fonte: Resolução SEMA nº 001/2007.

Embora a Resolução SEMA nº 001/2007 trate das cinco Classes de aptidão do solo, neste trabalho, serão consideradas somente as Classes I, II e III, pois, são as que permitem o uso do lodo no solo, sem restrições.

Para melhor entendimento do quadro a seguir, temos que: para limitação Grau 0 há um potencial de uso do lodo de esgoto muito alto; para o Grau 1, o potencial de uso do lodo de esgoto é alto; para o Grau 2, o potencial de uso do lodo é moderado; para o Grau 3, o potencial de uso do lodo é baixo; e para o Grau 4, não se recomenda o uso do lodo de esgoto.

**Quadro 5** - Critérios para classificação e aptidão dos solos para utilização de lodo.

FATOR	GRAU DE LIMITAÇÃO	CRITÉRIO	CLASSES DE APTIDÃO		
			I	II	III
<b>Profundidade</b>	0 – nulo	Latossolos, Nitossolos, Cambissolos profundos e Argissolos profundos	X	X	X
	2 – moderado	Cambissolos com citação de pouca profundidade e Argissolos com citação de pouca profundidade	-	-	X

	3 – forte	Neossolos ou outras unidades com citação de solos rasos	-	-	-
<b>Textura superficial</b>	0 – nulo	Textura argilosa (35 a 60% de argila)	X	X	X
	1 – ligeiro	Textura muito argilosa (> de 60% de argila) Textura média (15-35% de argila)	-	X	X
	2 – moderado	Textura siltosa (<35% de argila e <15% de areia)	-	-	X
	3 – forte	Textura arenosa (<15% de argila)	-	-	-
<b>Suscetibilidade a erosão</b>	0 – nulo	Solos em relevos planos	X	X	X
	1 - ligeiro	Solos argilosos ou muito argilosos em relevo suave ondulado	-	X	X
	2 - moderado	Solos de textura média ou siltosa em relevo suave ondulado e solos com textura argilosa e muito argilosa em relevo ondulado	-	-	X
	3 - forte	Solos em relevo ondulado com textura arenosa e/ou caráter abrupto ou relevo forte ondulado associado à textura muito argilosa	-	-	-
	4 - muito forte	Relevo forte ondulado, com textura média e arenosa Relevo montanhoso ou escarpado independente da classe textural	-	-	-
<b>Drenagem</b>	0 - nulo	Solos acentuadamente e bem drenados	X	X	X
	1 - ligeiro	Fortemente drenados	-	X	X
	2 - moderado	Solos moderadamente drenados	-	-	X
	3 - forte	Solo imperfeitamente e excessivamente drenado	-	-	-
	4 - muito forte	Solos mal e muito mal drenados	-	-	-
<b>Relevo</b>	0 - nulo	Relevo plano (0-3%)	X	X	X
	1 - ligeiro	Relevo suave ondulado (3-8%)	X	X	X
	2 - moderado	Relevo ondulado (8-20%)	-	X	X
	3 - forte	Relevo forte ondulado (20-45%)	-	-	-
	4 - muito forte	Relevo montanhoso ou escarpado (maior que 45%)	-	-	-
<b>Pedregosidade</b>	0 - nulo	Solos sem fase pedregosa	X	X	X
	2 - moderado	Citação de pedregosidade na legenda	-	-	-
	3 - forte	Solos com fase pedregosa	-	-	-

<b>Hidromorfismo</b>	0 - nulo	Solos sem indicação de hidromorfismo	X	X	X
	2 - moderado	Solos com caráter gleico	-	-	X
	3 - forte	Solos hidromórficos	-	-	-
<b>pH</b>	0 - nulo	Solos com pH inferior a 6,5 para aplicação de lodo calado Qualquer faixa de pH para lodo compostado	X	X	X
	3 - forte	Solos com pH igual ou superior a 6,5 para uso de lodo calado	-	-	-

Fonte: Adaptado da Resolução SEMA nº 001/2007.

A Resolução demonstra através desses quadros (Quadros 4 e 5), o quanto um determinado solo está apto para receber o biossólido e mostra quais os critérios que poderiam impossibilitar ou, então, facilitar a escolha do local para a disposição. Seguindo todas essas determinações e classificações, pode-se assegurar qual o solo mais habilitado para receber o lodo e qual trará mais benefícios para as culturas incorporadas com o lodo.

A classificação quanto ao grau de limitação, em relação à profundidade é considerado de grau nulo para as Classes I, II e III, sendo estes solos: latossolos, nitossolos, cambissolos profundos e argissolos profundos. O grau de limitação moderado apresenta-se para a Classe III, que representam os cambissolos e argissolos com citação de pouca profundidade (PARANÁ, 2007).

O lodo de esgoto pode ser utilizado sem restrições em solos com textura argilosa (35 a 60% de argila) para as três Classes (I, II, III), sendo que estes apresentam grau nulo de limitação. Para a textura muito argilosa (> de 60% de argila) e textura média (15-35% de argila e <15% de areia) para os solos de Classe II e III, apresentam grau ligeiro de limitação de uso. Para solos com textura siltosa (< 35% de argila e < 15% de areia), o grau de limitação é moderado e seu uso é permitido para a Classe III (PARANÁ, 2007).

Em relação a suscetibilidade à erosão, os solos em relevos planos apresentam grau nulo de limitação para as Classes I, II e III. Há ligeira limitação para solos argilosos ou muito argilosos, em relevo suave ondulado, para as Classe II e III. Já o grau de limitação é moderado para solos de textura média ou siltosa, em relevo suave ondulado, e para solos com textura argilosa e muito argilosa em relevo ondulado para a Classe III (PARANÁ, 2007).

Quanto ao grau de limitação de drenagem os solos acentuadamente e bem drenados recebem o grau nulo para os solos Classes I, II e III. Os solos fortemente drenados contêm um grau de limitação ligeiro para os solos Classes II e III. Solos moderadamente drenados, com grau moderado de limitação, abrangem a Classe III (PARANÁ, 2007).

As Classes I, II e III estão enquadradas em solos com relevo plano (0-3%) com grau de limitação nulo e também para relevo suave ondulado (3-8%) com grau de limitação ligeiro. Com grau de limitação moderado estão os solos com relevo ondulado (8-20%), incluídos nas Classes II e III (PARANÁ, 2007).

Em relação a pedregosidade, solos sem fase pedregosa apresentam grau nulo de limitação para as Classes I, II e III. Quanto ao hidromorfismo, os solos que não contém indicação de hidromorfismo têm grau nulo de limitação para as Classes I, II e III, enquanto solos com caráter gleico são considerados de grau moderado para a Classe III (PARANÁ, 2007).

Solos com pH inferior a 6,5 para aplicação de lodo calado e solos sem qualquer faixa de pH para lodo compostado apresentam grau de limitação nulo para as Classes I, II e III (PARANÁ, 2007).

No que se refere a desinfecção do lodo provocada por patógenos, a Resolução SEMA nº 001/2007 acrescenta um tópico a mais nos processos de redução adicional de patógenos, sendo que pode ocorrer por “processo de estabilização alcalina prolongada, pela adição de quantidade suficiente de reagente alcalino para elevação e manutenção do pH em no mínimo 12, por período mínimo de 30 dias”. Além disso, nos processos para redução da atratividade de vetores há um critério a mais na estabilização química, no qual:

O processo de estabilização alcalina prolongada, pela adição de quantidade suficiente de reagente alcalino para elevação e manutenção do pH em no mínimo 12, por período mínimo de 30 dias, permanecendo com pH acima de 11 até a aplicação (PARANÁ, 2007, anexo 6A).

A Legislação Estadual torna-se mais comprimida do que a Federal no aspecto da redução de agentes patogênicos. A mesma não apresenta os processos de redução significativa de patógenos.

## **CAPÍTULO 4: REDE COLETORA DE ESGOTO E ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO MARRECAS**

O capítulo 4 contém as informações adquiridas por meio das entrevistas realizadas com funcionários da Sanepar e com os agricultores beneficiados com o biofóssido. Inicialmente, será apresentado um histórico da destinação do lodo de esgoto no Paraná, além de uma caracterização da área do município de Francisco Beltrão e da rede coletora de esgoto. Em seguida, serão descritas as respostas das questões do Apêndice A (entrevista com técnicos) e, posteriormente, as informações obtidas por meio do Apêndice B (entrevista com agricultores).

### **4.1 USO DO LODO NO PARANÁ**

O Paraná, através da Sanepar, foi um dos primeiros estados a se preocupar com a destinação correta do sólido de maior proporção gerado no tratamento de esgoto, o biofóssido, assim como a se empenhar no tratamento seguro do mesmo, para posterior destinação ou disposição.

A preocupação com a destinação do biofóssido no Paraná, iniciou no final da década de 1980, por iniciativa da Sanepar, com pesquisas desenvolvidas pela própria empresa, a partir de uma experiência da França. Era preciso dar uma destinação correta ao lodo de esgoto porque até enviá-lo para aterro sanitário, na época, era uma tarefa difícil, por existirem poucos aterros sanitários no estado (SANEPAR, 2017, informação verbal a<sup>4</sup>).

Criou-se então, um programa interdisciplinar de pesquisa para uso do lodo com a participação de outros estados, do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e de universidades. A partir disso, descobriu-se a possibilidade de destiná-lo para a agricultura (SANEPAR, 2017, informação verbal a).

O uso do lodo na agricultura iniciou-se nos anos 2000, pois os estudos sempre foram voltados para o uso na agricultura, além de algumas pesquisas para uso em áreas degradadas (SANEPAR, 2017, informação verbal a).

---

<sup>4</sup> Informações repassadas através de e-mails e comunicação verbal por telefone por funcionários da Sanepar de Curitiba.

Em 2002, em parceria com a Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Sanepar criou projetos pilotos referentes a destinação do lodo de esgoto da ETE Belém, localizada em Curitiba, e da ETE de Foz do Iguaçu. Nesta época, não havia uma Legislação para o uso do biossólido na agricultura, somente uma Instrução Técnica nº 001/2002 do IAP. Em 2007, surgiu uma diretriz da empresa, que não foi oficialmente instituída. Anos depois, o lodo voltou a ser destinado para a agricultura de forma mais consolidada (SANEPAR, 2017, informação verbal a).

No Paraná, todo lodo de esgoto produzido é destinado à agricultura e em algumas situações, onde não há infraestrutura e pessoal capacitado, ele é disposto em aterro sanitário (SANEPAR, 2017, informação verbal a).

No município de Francisco Beltrão, em 2007 e 2008, a distribuição do lodo foi realizada, todavia, não de forma sistematizada (SANEPAR, 2017, informação verbal a).

Como demonstrado através de informações obtidas na entrevista e conversas, o processo de destinação do lodo de esgoto não foi sistemático e contínuo desde o início. Algumas dificuldades foram encontradas e a consolidação ocorreu alguns anos depois do interesse da empresa em realizar ações que buscam conservar o ambiente e alguns anos após a criação das Legislações já apresentadas.

Outra iniciativa válida tomada pela Sanepar é a geração de energia a partir dos gases produzidos no processo de decomposição de substâncias presentes no lodo de esgoto nas ETEs. A estação de tratamento de esgoto Ouro Verde, localizada em Foz do Iguaçu desenvolve esta atividade, a produção de biogás, desde 2009. Dessa forma, soma-se vantagens, além do lodo de esgoto conter um valor agregado e tornar-se um produto desejado aos agricultores, os gases que a princípio seriam indesejados, são utilizados para o setor energético.

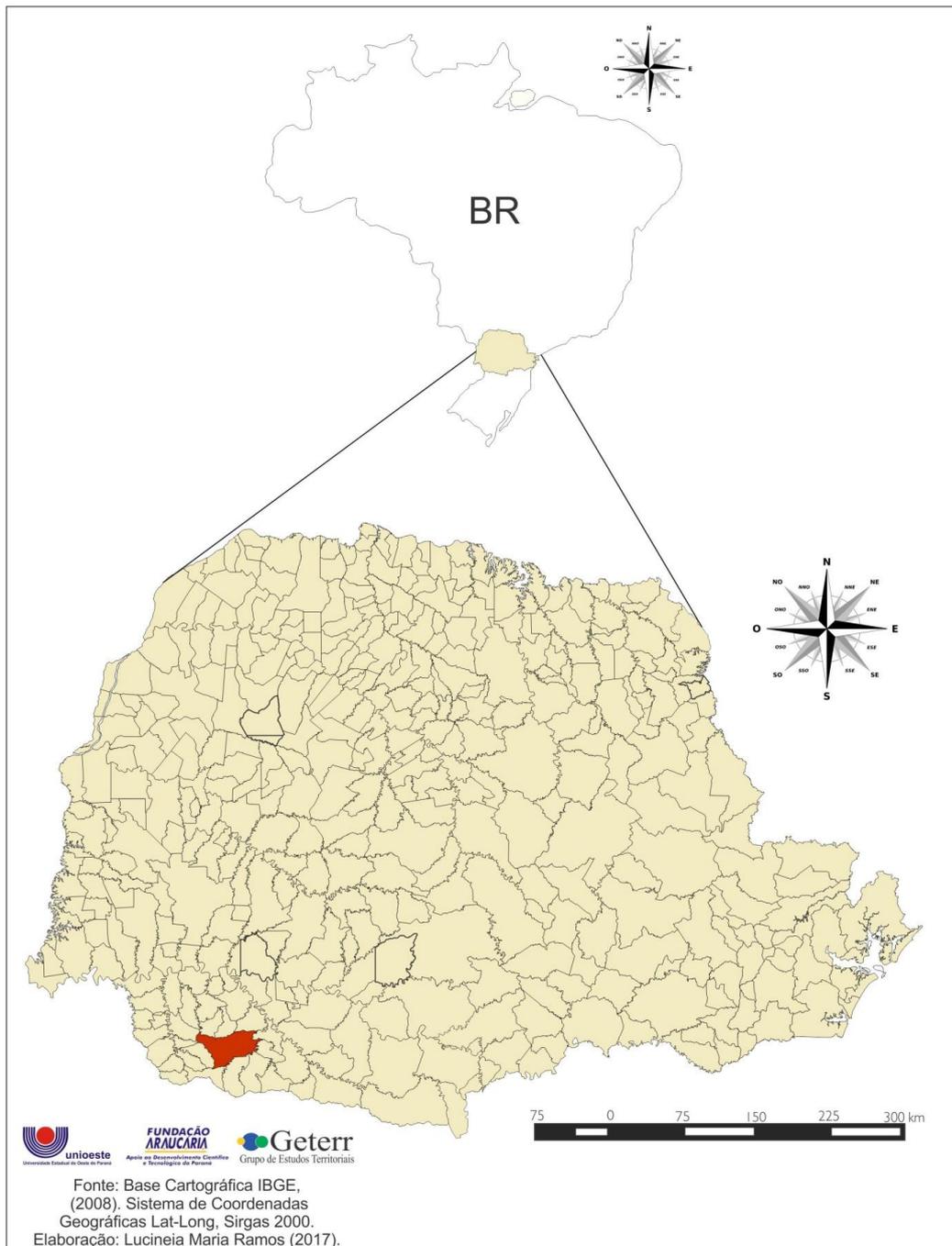
## 4.2 ÁREA DE ESTUDO

Considerou-se necessário caracterizar a área de estudo para melhor compreender a disposição dos bairros no município, para identificar porque alguns são atendidos com a rede de esgoto e outros não, e para conhecer a percepção da população quanto a este componente tão importante do saneamento básico.

Segundo a classificação do IBGE, o município de Francisco Beltrão está localizado na mesorregião do Sudoeste do Paraná (Figura 5).

Observa-se na Figura 5, que os municípios limítrofes a Francisco Beltrão é ao Norte: Eneas Marques, Verê, Nova Esperança do Sudoeste; ao Leste: Renascença, Bom Sucesso do Sul, Itapejara do Oeste; ao Sul: Marmeleiro e Flor da Serra do Sul; ao Oeste: Ampére, Manfrinópolis e Pinhal de São Bento.

**Figura 5** - Localização de Francisco Beltrão no mapa do estado do Paraná.



Fonte: Grupo de Estudos Territoriais - GETERR (2017).

O município possui 87.491 habitantes em uma área de 735,11 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016).

#### 4.2.1 Rede de coleta e tratamento de esgoto em Francisco Beltrão

De acordo com dados do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES), em 2016, no município de Francisco Beltrão foram atendidos 20.768 estabelecimentos com coleta e tratamento de esgoto, sendo 18.176 na categoria residencial, 2.273 comerciais, 68 industriais, 97 locais de utilidade pública e 154 na categoria do poder público (IPARDES, 2017).

Segundo dados da SANEPAR (2016), até o mês de junho do mesmo ano, 18.952 domicílios dispunham de coleta e tratamento de esgoto, representando 62% da totalidade da cidade. Com a conclusão das obras na Região Norte da cidade, de acordo com dados de dezembro de 2017, a porcentagem de atendimento está em 70,16% e os domicílios atendidos totalizaram 21.494 (SANEPAR, 2016 e 2017, informação verbal b<sup>5</sup>).

Não há previsão de quando o município contará com 100% da cobertura de esgotamento sanitário na área urbana pois, quando se fala em universalização da coleta e tratamento do esgoto utiliza-se o índice de 95% (SANEPAR, 2016, informação verbal b). É preciso considerar como a cidade vem crescendo de forma rápida, ficando difícil atender com esgoto as novas áreas urbanas.

Outra informação relevante obtida na Sanepar foi referente à escolha das porções da cidade que receberão ampliação da rede de coleta e tratamento de esgoto. Essas áreas são escolhidas devido a dois fatores: a topografia da área e o custo para implantação deste serviço. A topografia é um fator importante pois, está diretamente ligada ao custo. Por exemplo, se uma área da cidade está localizada em uma região com declividade muito distinta das áreas com coleta e tratamento de esgoto, certamente, esta será umas das últimas a terem acesso ao esgotamento sanitário, pois o sistema de coleta e tratamento de esgoto de Francisco Beltrão é operado por gravidade, e quando não opera naturalmente por gravidade é necessária a

---

<sup>5</sup> Informações repassadas através de e-mails e comunicação verbal por funcionários da Sanepar de Francisco Beltrão.

implantação de uma bomba para realizar este serviço, o que implicará em um custo elevado, uma vez que cada bomba custa entre R\$ 80.000,00 e R\$ 100.000,00 (SANEPAR, 2016, informação verbal b).

Após uma longa busca em secretarias do município de Francisco Beltrão (Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria de Planejamento e Vigilância Sanitária) pode-se constatar que em 2016 não havia um Plano de Saneamento Básico em Francisco Beltrão. De acordo com informações, houveram reuniões, iniciadas por volta de 2009 e 2010, envolvendo diversos setores municipais para a elaboração deste, porém, o mesmo não foi concluído. Justifica-se essa falta de conclusão devido à prorrogação da Legislação que permitirá a elaboração do Plano até 2017, anteriormente o prazo que era 2010, foi postergado até 2014 e, agora, até 2017 (PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO, 2016, comunicação verbal c).

No ano de 2017, buscou-se novamente informações a respeito do PMSB do município, contatou-se que, ele está sendo elaborado pela prefeitura, sendo que esta elaboração é de responsabilidade da Secretaria do Meio Ambiente, que, conta com a colaboração de setores da saúde, do planejamento, da agricultura e da Sanepar (PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO, 2017, comunicação verbal c<sup>6</sup>).

Os diagnósticos foram realizados de maneira detalhada, com visitas e pesquisa à campo, cada comunidade rural foi caracterizada, assim como a área urbana. Realizou-se uma pesquisa, através de questionário, com aproximadamente 4 mil pessoas em todos os locais do município para saber as necessidades do município e questões referentes ao saneamento básico (PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO, 2017, comunicação verbal c).

A metodologia realizada para a elaboração do PMSB foi a seguinte: levantamento de dados cadastrais da concessionária; realização de reuniões técnicas com a equipe da prefeitura; realização de pesquisas de campo para a atualização de informações e dados, associadas a reuniões com moradores e representantes de entidades da sociedade civil local, visando à apresentação e discussão das propostas e dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do trabalho (PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO, 2017, comunicação verbal c).

---

<sup>6</sup> Informações orais repassadas através comunicação verbal por funcionários da Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão, nos anos de 2016 e 2017.

O modelo a ser seguido para a elaboração do PMSB foi entregue pela Sanepar, pois, a companhia já havia iniciado a construção do PMSB referente as partes que lhe cabiam (PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO, 2017, comunicação verbal c).

A Sanepar colaborou na elaboração, uma vez que há dados referentes à água e esgoto que somente ela possui, como as metas possíveis para os próximos 30 anos, já que o PMSB terá validade até 2047. A Secretaria do Meio Ambiente concluiu a parte que lhe cabia em agosto. Após isso, o Plano foi enviado para a Sanepar e encaminhado para a Regional da Sanepar de Curitiba para a finalização do mesmo (PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO, 2017, comunicação verbal c).

Quando finalizado o PMSB será encaminhado ao Ministério Público para uma avaliação e, sendo coerente com o exigido pelas Legislações, será aprovado e terá validade para o município (PREFEITURA DE FRANCISCO BELTRÃO, 2017, comunicação verbal c).

Reconhece-se que a elaboração do PMSB está sendo realizada tardiamente, considerando que as datas limites para sua criação já foram prorrogadas algumas vezes e que a maioria dos municípios paranaenses já o possuem. Também não temos condições de averiguar como ocorreu o processo de elaboração do PMSB, se ocorreu conforme o informado pelos funcionários da Prefeitura. Assim, apresentamos as informações que nos foram repassadas, sem atribuir juízo de valor a elas.

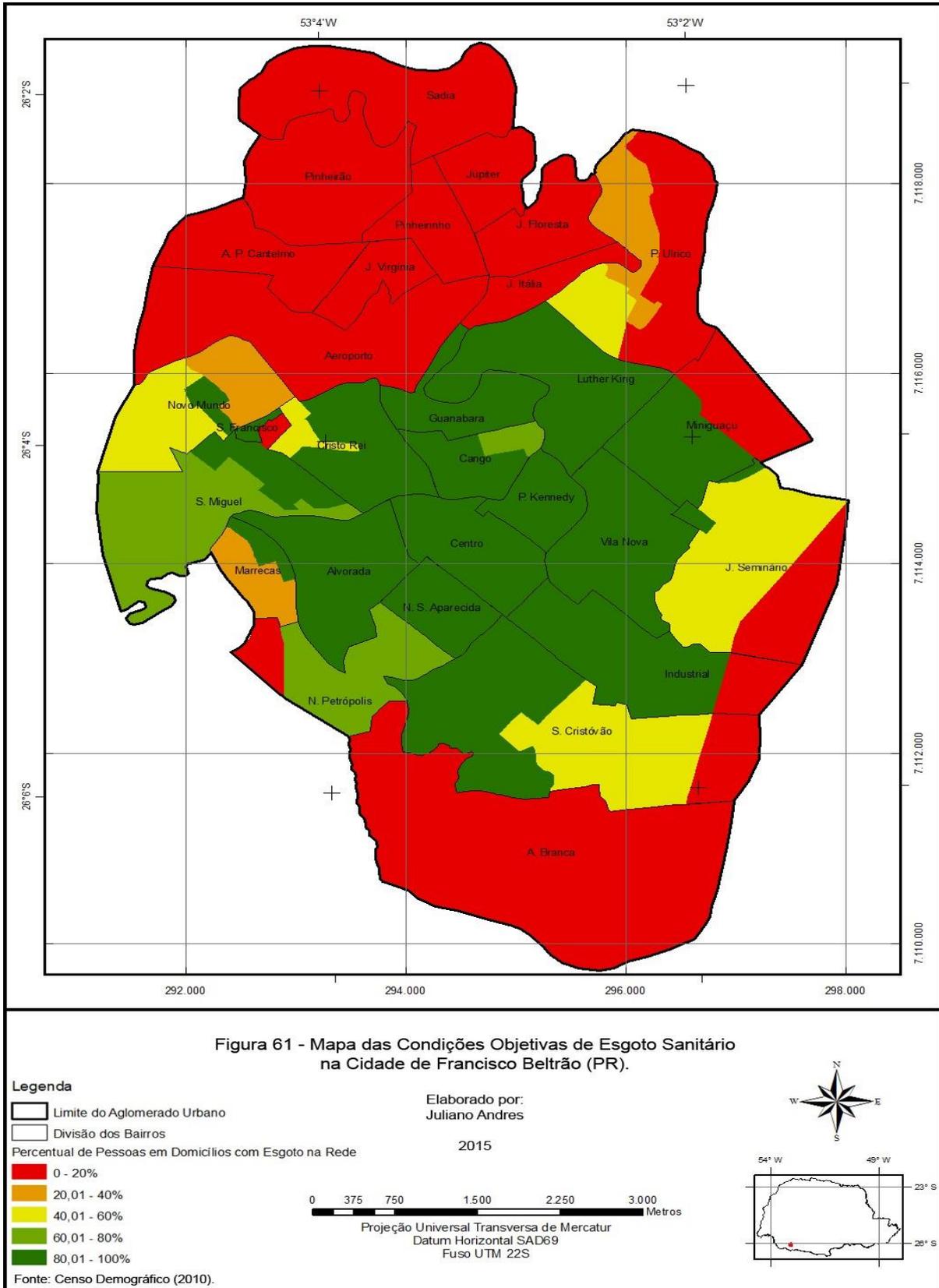
A posse desse PMSB irá trazer um bom planejamento para as ações futuras relacionadas ao saneamento básico, sobretudo para a rede de esgoto, que é a mais carente em relação aos outros serviços que compõem o saneamento básico no município.

#### 4.2.2 Estudo sobre a percepção da população quanto a rede coletora de esgoto em Francisco Beltrão

Em sua tese, Andres (2015) avaliou a qualidade de vida na cidade de Francisco Beltrão (PR) por meio de sistemas de informações geográficas, considerando dados secundários e a opinião de moradores. O autor utilizou indicadores de parâmetros de saneamento que foram buscados em bases de dados do IBGE. Para o indicador de esgotamento sanitário, foi usada a taxa de indivíduos que contam com o acesso à rede coletora de esgoto. Através de sua pesquisa, o autor

chegou à conclusão de que os locais com maiores problemas, em relação ao esgoto sanitário, estão na Região Norte do município, sendo que menos de 20% (Figura 6) da população possui coleta e tratamento de esgoto nesse setor. Outros bairros possuem a mesma condição da Região Norte, como o Padre Ulrico, Miniguaçu, Nova Petrópolis, Jardim Seminário, Industrial e São Cristóvão. Os bairros Cristo Rei, Miniguaçu, Industrial e São Cristóvão apresentam variações entre 0 e 100% em relação a cobertura de esgoto. Em contrapartida, estão os bairros da área central, que contêm mais de 80% de cobertura de rede de esgoto (ANDRES, 2015).

Figura 6 - Mapa das condições objetivas do esgotamento sanitário de Francisco Beltrão.



Fonte: Andres (2015).

Além das condições objetivas, por meio dos dados do IBGE, o autor também analisou as condições subjetivas, analisadas a partir da opinião dos moradores, referentes ao esgotamento sanitário (Figura 7). Podemos observar no mapa que os moradores que consideram as condições de esgotamento “péssimas” ou “ruins” possuem suas moradias na Região Norte e no Bairro Água Branca. Os indivíduos que declaram as condições “razoáveis” foram dos bairros Jardim Itália e Novo Mundo. Os entrevistados que julgaram as condições “boas” e “excelentes” foram maiores nos bairros centrais, na porção Leste e Oeste do município (ANDRES, 2015).

Figura 7 - Mapa das condições subjetivas do esgotamento sanitário de Francisco Beltrão.

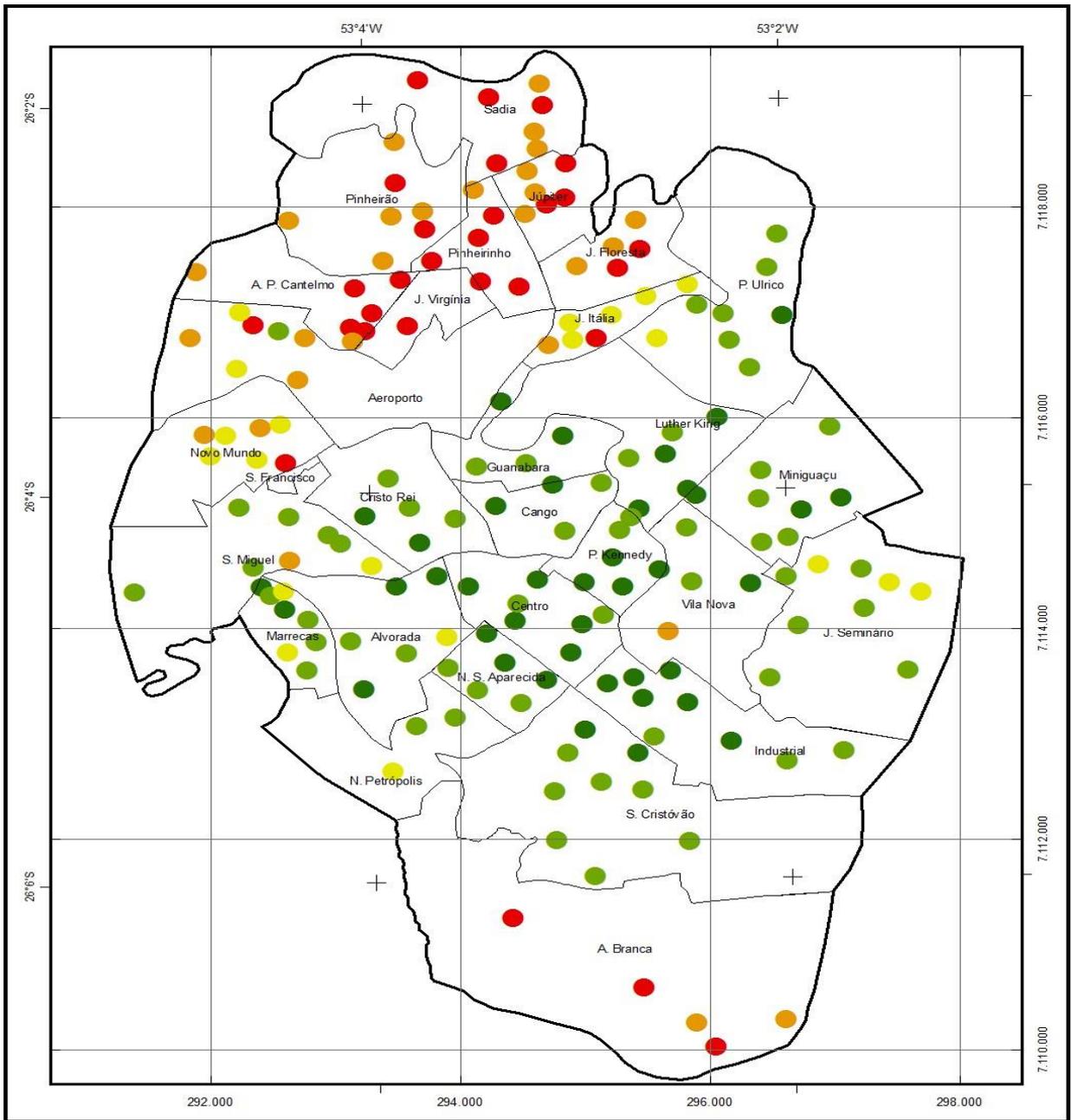


Figura 62 - Mapa das Condições Subjetivas de Esgoto Sanitário na Cidade de Francisco Beltrão (PR).



Fonte: Questionário-entrevista (2014).

Fonte: Andres (2015).

Comparando as condições subjetivas e as objetivas, concluiu-se que há muitas semelhanças entre os índices de pessoas que possuem o esgotamento sanitário e, o denominado pelo autor, “sentimento” sobre o esgotamento. Isso ocorreu de maneira evidenciada tanto para aqueles que consideram as condições “péssimas” (menos de 20%), nos bairros Antônio de Paiva Cantelmo, Pinheirinho, Sadia, Júpiter e Água Branca, quanto aos que consideram “excelentes”, com percentuais superiores a 80%, no centro e nos bairros Alvorada, Nossa Senhora Aparecida, Industrial, Presidente Kennedy, Luther King e Guanabara. No entanto, houve uma discrepância entre a subjetividade e objetividade no bairro Padre Ulrico, que responderam achar “boas” e “excelentes”, porém apresentam resultados abaixo de 20% de cobertura de rede de esgoto (ANDRES, 2015).

Foi possível entender algumas disparidades entre subjetividade e objetividade com a exposição das ideias de alguns moradores. Os bairros Alvorada, São Miguel e Vila Nova possuem rede coletora de esgoto, porém, quando as chuvas são intensas acontecem episódios indesejados, de refluxo e transbordamento. Por isso, a população desses bairros considerou as condições “razoáveis” ou “ruins”. Além disso, no bairro Padre Ulrico e Mundo Novo, há rede de esgoto em alguns locais, no entanto, muitos moradores não realizaram a ligação em suas casas. Assim, a porcentagem apresentou-se baixa. Nos bairros Aeroporto e Jardim Itália não há rede coletora e os resultados apresentaram-se baixos. Entretanto, nestes locais surgiram muitos loteamentos novos, que possuem fossa séptica, e por serem recentes, ainda não apresentam problemas, levando os moradores a considerarem as condições “razoáveis” ou “boas”. Os dados da tese demonstram que os bairros com a problemática mais acentuada foram Antônio de Paiva Cantelmo, Novo Mundo, Pinheirinho, Pinheirão e Sadia. De fato, esses bairros não possuem rede coletora de esgoto e as fossas extravasam em períodos chuvosos (ANDRES, 2015).

O autor fez algumas sugestões, como atos estratégicos de políticas públicas ao analisar as condições subjetivas e objetivas do esgoto sanitário na cidade de Francisco Beltrão. Foram três sugestões: 1) Implantação da rede coletora de esgoto na porção Norte da cidade, prioritariamente nos bairros Pinheirão, Antônio de Paiva Cantelmo, Jardim Virgínia, Pinheirinho, Sadia, Júpiter e Jardim Floresta; 2) Fiscalização dos logradouros que possuem rede de esgoto para assim averiguar as possibilidades de ligações residenciais nos bairros Padre Ulrico e Novo Mundo; 3)

Realização de uma adequação da Legislação Municipal, de modo a exigir que hajam redes coletoras de esgoto em loteamentos novos no município (ANDRES, 2015).

As sugestões expostas por Andres são relevantes, pois, através dos dados obtidos em sua pesquisa, assim como nas informações passadas pela Sanepar, constata-se uma relativa carência de bairros quanto a rede de coleta de esgoto.

#### 4.3 TRATAMENTO DE ESGOTO E DO LODO DE ESGOTO DA ETE-MARRECAS

As informações deste tópico são referentes aos processos de tratamento do esgoto e do lodo de esgoto gerado na estação Marrecas.

O esgoto produzido no município de Francisco Beltrão recebe um tratamento completo, passando por quatro fases, sendo considerada então, uma ETE de tratamento terciário. Resumidamente, o processo inicia com o gradeamento e desarenador, tendo a função de separar os sólidos grosseiros e a areia do esgoto; seguindo para o reator ou biodigestor. O esgoto passa na terceira etapa pelo filtro biológico; e por fim, pelo decantador. Estas etapas já estão descritas mais detalhadamente no Capítulo 2 desta dissertação (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

O processo de tratamento de esgoto inicia com coleta desse efluente com as redes coletoras, passando pelos coletores tronco e pela estação elevatória de lodo bruto (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

Na ETE Marrecas, o primeiro processo ao qual o lodo bruto é submetido é o gradeamento (Figura 8), seguindo pelo desarenador. Ambos os processos ocorrem em maquinário fechado (Figura 9). Em seguida, é conduzido ao RALF, um reator anaeróbio que tem a finalidade de realizar a biodigestão do lodo. A ETE Marrecas possui dois RALFs (Figuras 10 e 11) com capacidade de 70 L/s (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

**Figura 8** - Gradeamento da ETE-Marrecas.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

**Figura 9** - Desarenador da ETE-Marrecas.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

**Figura 10** - Ralf da ETE-Marrecas.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

**Figura 11** - Ralf da ETE-Marrecas.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

Para o controle de odor é aplicado um agente oxidante, o peróxido de hidrogênio. Este produto pode ser aplicado em três momentos do tratamento de esgoto: no RALF, antes do filtro biológico e depois do decantador secundário (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

Após passar pela biodigestão, o efluente é encaminhado ao filtro biológico (Figura 12). Em seguida, vai para o decantador secundário (Figura 13) e recebe um antiespumante para que a porção líquida do esgoto tratado possa ser lançado no rio (Figura 14) (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

**Figura 12** - Filtro biológico da ETE-Marrecas.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

**Figura 13** - Decantador da ETE-Marrecas.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

**Figura 14** - Despejo do esgoto líquido tratado no rio.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

Conforme comentado, a fração líquida resultante do tratamento do esgoto é despejada no rio e a fração sólida é encaminhada para os leitos de secagem (Figura 15). Neste local, permanecem por um determinado tempo para perderem uma porcentagem de umidade. Assim, quando o lodo perder a quantidade água necessária por percolação e evaporação, ele é encaminhado para uma área com cobertura. Neste galpão, o lodo de esgoto é a princípio coberto com cal hidratada (Figura 16) (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

**Figura 15** - Leitos de secagem da ETE-Marrecas.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

**Figura 16** - Pilha de lodo com cal.



Fonte: Arquivo pessoal (Novembro, 2017).

O lodo gerado na ETE Marrecas recebe adição de cal hidratada em quantidade próxima a 30%, com relação ao peso seco (toneladas de sólidos totais) do lote de lodo de esgoto. A adição de cal serve para o processo de estabilização alcalina prolongada, para higienização do lote e redução de patógenos, para valores em conformidade com a Resolução CONAMA 375/2006 e SEMA 021/2009 (SANEPAR, 2017, informação verbal d<sup>7</sup>).

Na UGL Marrecas, a adição da cal ocorre no final do processo, quando o lodo seco (com umidade próxima a 50%) é retirado, com auxílio de "carrinho de mão" e pás, dos leitos de secagem, e levado até o barracão da UGL. Neste local é amontoado, formando uma grande pilha. Após isso, ocorre a adição de cal hidratada em proporção de 30% para o peso seco do lodo. A adição da cal é realizada de forma manual com pá. Após a formação de uma pilha de lodo, com cerca de 100 a 200 toneladas, pode

---

<sup>7</sup> Informações repassadas através de e-mails e comunicação verbal por telefone por funcionário da Sanepar de Cascavel.

ocorrer o revolvimento da pilha/ monte de lodo com a cal hidratada, realizando o revolvimento com máquina pá-carregadeira (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Para adição da cal hidratada, segue cálculo abaixo:

Para 100 toneladas de lodo base úmida, considerando o teor de sólidos totais de 75%, temos 75 toneladas de lodo base seca, utilizando 30% de cal hidratada, será necessário a adição de 22,5 toneladas de cal hidratada (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

O processo de estabilização alcalina prolongada inicia após a adição da cal hidratada à massa de lodo de esgoto seca (base úmida) com umidade em torno de 40 a 50%; e o revolvimento do lodo de esgoto com a cal (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

É necessário um período de estabilização de no mínimo 30 dias, mas geralmente adota-se um período maior. Durante esse intervalo de tempo, ocorre a redução significativa de organismos patogênicos (coliformes termotolerantes, *salmonella*, ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos), os quais devem estar abaixo do limite preconizado na Resolução CONAMA 375/2006 e Resolução SEMA 021/2009 (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Essa inativação de patogênicos, ocorre devido à elevação do pH do lodo de esgoto acima de 12, durante o período de cura, permanecendo na UGL por aproximadamente um ano. Quanto a esse processo, o de higienização, através da estabilização alcalina prolongada, reitera-se que o lote de lodo de esgoto só será liberado para utilização agrícola, caso os parâmetros de sanidade atendam aos limites preconizados nas duas Legislações acima (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Na ETE Marrecas, mesmo local onde está inserida a UGL de lodo Marrecas, são destinados também lotes de lodo provenientes da ETE Renascença, ETE Marmeleiro, além da própria ETE Marrecas. Somando as três ETEs, totalizam uma quantidade de aproximadamente 210,9 toneladas de base úmida por ano. Esses dados representam a geração de lodo no período de janeiro de 2016 a janeiro de 2017. Considerando a média do teor de sólidos totais de 73%, ou 27% de umidade, obtemos uma quantidade de 153,95 toneladas de lodo em base seca (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Para os meses de janeiro a maio de 2017, a média de lodo *in natura* produzido é de 266,4 m<sup>3</sup>, sendo produzida uma quantidade maior nos meses mais quentes do

ano. O volume de lodo desidratado representa aproximadamente 1/3 do volume, em média 88,8 m<sup>3</sup> por mês (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

De acordo com os esclarecimentos da Sanepar por meio de entrevista, acreditamos que o tratamento do esgoto e do lodo sejam adequados para os fins a que são propostos, uma vez que de acordo com os técnicos entrevistados, todas as etapas de tratamento do lodo são realizadas conforme as legislações afins.

#### 4.4 REUTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO DA ETE MARRECCAS

O lodo de esgoto produzido na ETE Marrecas pertence a Classe A, pois, os limites de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos e *salmonella* e vírus estão abaixo dos limites estabelecidos ou ausentes, de acordo com o Artigo 11 da Resolução nº 375/2006 do CONAMA. Sendo assim, ainda para essa Resolução, o lodo de esgoto pode ser utilizado em qualquer cultura, exceto nas culturas proibidas citadas pela Lei ou em áreas com restrições locacionais também dispostas na Resolução apresentadas no Capítulo 3 neste trabalho (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Embora classificado como pertencente a Classe A, o lodo não passa pelos processos de higienização dispostos na Resolução nº 375/2006 (Capítulo 3) para receber esta classificação. Conforme foi informado pelo entrevistado, considera-se como lodo pertencente a Classe A pelo fato dele estar dentro dos limites para agentes patogênicos.

Para que o uso do lodo na agricultura seja uma ação benéfica ao meio, sem apresentar riscos à população e ao meio ambiente, a Sanepar segue duas Legislações referentes à essa utilização: a Resolução nº 375/2006 do CONAMA, de abrangência Federal, e a Norma Estadual paranaense da SEMA (Resolução nº 021/2009) (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

A Resolução SEMA nº 021/2009 é mais restritiva em alguns parâmetros que a Resolução CONAMA nº 375/2006, porém, não sabemos quais foram os critérios adotados para a definição dos valores, pois, não há estudos de análise de risco no Brasil. O que sabemos é que a Resolução SEMA nº 021/2009 adotou alguns limites da Instrução Técnica 001 do IAP de 2002, que é anterior a Resolução CONAMA nº 375/2006 (SANEPAR, 2017, informação verbal a).

Todo o lodo produzido na ETE Marrecas é destinado à agricultura. A distribuição é realizada anualmente, sendo que um grande produtor é beneficiado em cada ano. Caso fosse destinada uma quantidade pequena para vários agricultores, seria possível atender aproximadamente dez agricultores (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

As dificuldades encontradas inicialmente para a distribuição do lodo ocorreram por preconceito, por se tratar de um resíduo de origem humana para incrementar a produção de alimentos. Porém, ocorreu somente até a primeira distribuição ser realizada. O primeiro agricultor a procurar o lodo para uso em sua propriedade foi uma pessoa que possuía um conhecimento a respeito do assunto e solicitou as análises como condição para recebê-lo. Após constar que o lodo possuía as características estabelecidas na Legislação, ele solicitou a quantidade adequada de lodo para uso em sua lavoura. Em seguida, seus vizinhos e conhecidos souberam dos benefícios do uso do bio sólido e solicitaram para uso em suas propriedades. Assim as informações foram sendo disseminadas e a procura foi aumentando (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

Após os agricultores demonstrarem interesse em receber o lodo, o engenheiro agrônomo da Sanepar visita a propriedade realizando uma análise visual, dando preferência para áreas com solo degradado. Se constatar a necessidade, ainda que visualmente, do solo receber o bio sólido, realiza a coleta de amostras do solo e os solos mais carentes de nutrientes e matéria orgânica são priorizados. As análises são realizadas para que o profissional possa passar aos agricultores um receituário agrônomo, discriminando a quantidade de lodo a ser aplicada na propriedade. No próximo ano, outras propriedades serão analisadas, pois uma nova aplicação na mesma área ocorrerá entre três a cinco anos, quando o solo novamente necessitará da incorporação do bio sólido (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

Desde que o lodo começou a ser distribuído aos agricultores de Francisco Beltrão, nunca houve sobra do bio sólido, pois a procura sempre correspondeu ao total de lodo produzido. Entretanto, caso haja uma situação em que a demanda seja inferior à produção ou o lodo não atenda as condições estabelecidas pela Legislação, será disposto em aterro sanitário. Todavia, antes de ser disposto em aterro sanitário, há um acordo entre a prefeitura municipal de Francisco Beltrão e a companhia de saneamento que, caso haja uma quantidade excedente de lodo, a mesma será utilizada para cobrir as células de resíduos no aterro do município, que após sua

desativação receberá mudas de gramíneas ou árvores de pequeno porte, como medida de recuperação desta área (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

#### 4.5 MONITORAMENTO DO LODO

Como mencionado, as áreas receptoras de biossólido são analisadas anteriormente ao recebimento, para averiguar a necessidade da aplicação do lodo. Após a aplicação também há um acompanhamento por parte da companhia de saneamento (SANEPAR, 2017, informação verbal b).

A caracterização dos lotes de lodo de esgoto para envio à agricultura, iniciou-se em 2012 na ETE Marrecas - Francisco Beltrão. De 2012 a 2016, os laudos de lodo existentes foram quatro, pois, somente quatro lotes foram formados nesse período (SANEPAR, 2017, informação verbal b e c).

Os projetos agronômicos elaborados pela Sanepar, uma obrigatoriedade segundo a Resolução CONAMA nº 375/2006, foram desenvolvidos de maneira correta e detalhada, havendo até mesmo, informações adicionais às exigidas. Os dados fornecidos adicionais ao que é exigido pela Legislação são: as limitações e aptidão da área e o benefício econômico gerado com o lodo de esgoto.

Ao analisar a Legislação Federal, referente ao uso de lodo de esgoto como fertilizante agrícola, os seguintes parâmetros devem ser avaliados para a caracterização do lodo: seu potencial agronômico; substâncias orgânicas e inorgânicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade. As exigências quanto as análises do solo que, possivelmente, irão receber o lodo são: substâncias inorgânicas; parâmetros de fertilidade; sódio trocável; e condutividade elétrica. Os resultados das análises e parâmetros, obtidos através dos laudos disponibilizados pela Sanepar, serão discutidos a seguir.

##### 4.5.1 Análises do lodo de esgoto

Iniciamos a análise dos laudos fornecidos pela Sanepar a partir das substâncias inorgânicas permitidas no lodo de esgoto para os quatro lotes de lodo no período entre 2012 e 2016 (Tabela 7).

**Tabela 7** - Resultado das análises de 2012, 2015 e 2016 para substâncias inorgânicas.

Substâncias inorgânicas	SEMA nº 021	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA PERMITIDA NO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO (MG/KG, BASE SECA)						
		2012			2015		2016	
		LD	Resultado Lote 01	Resultado Lote 02	LD	Resultado	LD	Resultado
Arsênio	41	0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,04	10	<10
Bário	1300	0,1	268,60	230,39	20,00	152,41	100	172,01
Cádmio	20	0,06	11,06	11,22	0,24	<0,24	10	<10
Chumbo	300	1	104,34	72,49	4,00	31,71	20	32,81
Cobre	1000	0,3	198,94	132,08	1,20	145,93	100	113,22
Cromo	1000	0,5	58,07	28,70	2,00	392,68	100	<100
Mercúrio	16	0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,04	0,2	0,61
Molibdênio	50	0,1	<0,10	<0,10	0,40	<0,40	6	<6
Níquel	420	0,8	66,86	60,48	3,20	38,62	20	<20
Selênio	100	0,1	<0,10	<0,10	0,40	<0,40	10	<10
Zinco	2500	0,2	278,55	478,15	0,80	639,84	100	341,17

LD: Limite de Detecção.

Fonte: Resolução SEMA nº 021/2009; Laudo técnico da Sanepar 2012, 2015 e 2016.

Os limites de detecção apresentados na Tabela 7 são determinados pelos laboratórios e os valores dos limites de detecção representam o valor mínimo capaz de detectar cada substância no lodo. Por exemplo, para a substância chumbo, é possível detectar no bio-sólido um valor acima de 1 mg/kg desse elemento e o aparelho detectou 104,34 mg/kg. Já para a substância mercúrio, o limite mínimo para a metodologia utilizada na detecção é 0,01, podendo ocorrer neste caso duas situações, pois o valor encontrado é menor que 0,01. A primeira é haver a presença de mercúrio em uma concentração abaixo do limite de detecção ou não haver a presença desta substância no lodo analisado. Os limites de detecção apontam variações em seus valores, pois, as análises foram realizadas por laboratórios distintos.

Ao observar a Tabela 7, podemos comparar os resultados encontrados à Resolução SEMA nº 021/2009 e notar que todos os valores encontrados estão abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Legislação Estadual.

As substâncias inorgânicas encontradas em maiores concentrações no bio-sólido foram zinco e cobre, os quais apresentam os maiores valores máximos permitidos pela Legislação. Porém, segundo os dados da Sanepar, fornecidos por meio dos laudos, são concentrações bem abaixo do permitido. As substâncias

inorgânicas com menores concentrações foram arsênio e mercúrio, que apresentam alguns dos limites mais baixos de acordo com o estabelecido em Lei.

Outra observação importante sobre os dados da Tabela 7, é que os resultados encontrados para todos os lotes de biossólido dos três anos analisados são semelhantes, reforçando a hipótese de que os lotes de lodos gerados em um município, apesar de sofrerem variações devido à sazonalidade, economia ou desperdício de água, apresentam características similares. Pelo fato dos valores encontrados de metais pesados no lodo serem baixos e apresentarem uma variação alta entre os valores detectados e os limites máximos estabelecidos, a companhia de saneamento afirmou que o esgoto gerador do lodo contém características domésticas e não industriais.

Para o biossólido ser considerado adequado sanitariamente e não apresentar riscos à população e ao meio ambiente, devemos investigar quanto aos agentes patogênicos presentes neste material. Para isso, são necessários de acordo com a Legislação, testes para a detecção desses microrganismos. A Tabela 8 indica valores dos lotes produzidos no ano de 2012, 2015 e 2016.

**Tabela 8** - Resultado das análises de 2012, 2015 e 2016 para agentes patogênicos.

Patógenos	CONAMA Nº 375/06	2012			2015		2016	
		LD	Resultado Lote 01	Resultado Lote 02	LD	Resultado	LD	Resultado
Coliformes Termo- tolerantes	<10 <sup>3</sup> NMP/g de ST	NA	< 10 NMP/g de ST	< 10 NMP/g de ST	NA	< 10 NMP/g de ST	NA	<1,8 NMP/g de ST
Ovos viáveis de helmintos	< 0,25 ovo/g de ST	NA	Ausência	Ausência	NA	< 0,25 ovo/g de ST	0,25	<0,25 ovo/g
<i>Salmonella</i>	Ausência em 10 g de ST	NA	Ausência	Ausência	NA	Ausência	NA	Ausência
Vírus	<0,25 UFP ou UFF/g de ST	NA	<0,25 UFP/g de ST	<0,25 UFP/g de ST	< 0,25 UFP	< 0,25 UFP/g de ST	0,25 UFP	< 0,25 UFP/g

LD: Limite de Detecção.

ST: Sólidos Totais.

NMP: Número Mais Provável.

UFF: Unidade Formadora de Foco.

UFP: Unidade Formadora de Placa.

NA: Não se Aplica.

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006; Laudo técnico da Sanepar 2012, 2015 e 2016.

Como pode ser observado na Tabela 8, todos os valores encontrados nas análises estão de acordo com os limites estabelecidos pela Legislação Federal. Dessa forma, podemos garantir que o lodo de esgoto, gerado nesse período, é seguro sanitariamente para ser disposto em solo agrícola.

Para o bio sólido ser considerado benéfico para o solo, ele não deve apenas apresentar ausência ou estar enquadrado nos limites máximos de metais e patógenos. É necessário que o mesmo traga vantagens agronômicas para o solo que receberá sua incorporação. Para isso, antes da distribuição de um lote de lodo são realizadas análises para a caracterização do potencial agronômico desse bio sólido (Tabela 9).

**Tabela 9** - Resultados das análises de 2012, 2015 e 2016 quanto ao potencial agrônômico.

Parâmetro Analítico	2012			2015		2016	
	LD	Resultado Lote 01	Resultado Lote 02	LD	Resultado	LD	Resultado
Sólidos Totais	0,3	572.000,00 mg/kg	578.711,48 mg/kg	0,30	613.135,25 mg/kg	0,01	863.700,00 mg/kg
Sólidos Voláteis	0,3	305.100,00 mg/kg de ST	235.211,83 mg/kg de ST	0,30	302.379,13 mg/kg de ST	-	177.880,27 mg/kg de ST
Umidade	0,3	42,08% m/m	42,13% m/m	0,30	38,686% m/m	-	140.486,19 mg/kg
Carbono Orgânico	0,3	150.200,00 mg/kg de ST	104.500,00 mg/kg de ST	0,30	146.400,00 mg/kg de ST	0,01	137.500,00 mg/kg de ST
Enxofre Total	0,1	4.022,20 mg/kg de ST	3.829,58 mg/kg de ST	0,10	7.917,22 mg/kg de ST	0,01	8.515,60 mg/kg de ST
pH em água (1:10)	0,01	10,77	11,55	0,01	7,67	-	9,76
Nitrogênio Kjeldal	100	24.000,00 mg/kg de ST	18.625,50 mg/kg de ST	400,00	12.003,95 mg/kg de ST	-	8.868,24 mg/kg de ST
Nitrogênio Amoniacal	100	11.000,00 mg/kg de ST	9.362,55 mg/kg de ST	4,00	5.602,76 mg/kg de ST	-	334,20 mg/kg de ST
Nitrogênio Nitrato	1	500,00 mg/kg de ST	703,87 mg/kg de ST	0,05	421,44 mg/kg de ST	-	*
Nitrogênio Nitrito	0,1	100,00 mg/kg de ST	21,86 mg/kg de ST	0,005	110,20 mg/kg de ST	-	*
Fósforo Total	1	3.000,00 mg P/kg de ST	3.349,69 mg P/kg de ST	1,00	7.356,94 mg P/kg de ST	10	2.771,28 mg/kg de ST
Potássio Total	10	500,00 mg/kg de ST	546,18 mg/kg de ST	40,00	1.122,80 mg/kg de ST	200	377,77 mg/kg de ST
Sódio Total	10	320,00 mg/kg de ST	327,71 mg/kg de ST	40,00	561,11 mg/kg de ST	100	172,95 mg/kg de ST
Cálcio Total	0,1	130.900 mg/kg de ST	138.530,29 mg/kg de ST	0,40	28.422,76 mg/kg de ST	200	89.780,01 mg/kg de ST
Magnésio Total	0,1	2.700,00 mg/kg de ST	3.053,63 mg/kg de ST	0,40	2.691,06 mg/kg de ST	200	2.081,92 mg/kg de ST

LD: Limite de Detecção.

MG/KG: Miligrama por quilograma.

ST: Sólidos Totais.

\*Nitrito e nitrato estão juntos e o valor é 326,94.

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006; Laudo técnico da Sanepar 2012, 2015 e 2016.

A Legislação Federal (Resolução CONAMA nº 375/2006), estabelece quais parâmetros devem ser analisados para determinar o potencial agrônomo do bio-sólido, entretanto, não há um limite máximo ou mínimo a ser comparado com os resultados encontrados nas análises. Acreditamos que o engenheiro agrônomo seja o responsável por avaliar as concentrações determinadas pelos laboratórios e certificar a potencialidade de trazer impactos positivos ao solo agrícola.

As substâncias orgânicas possivelmente presentes no lodo são elementos que causam preocupações, se constatada uma concentração elevada na sua massa. Porém, a Legislação determina que deve ser conhecida sua concentração mas, não estabelece valores máximos permitidos. Na Tabela 10, estão demonstrados os valores encontrados para as substâncias orgânicas presentes no lodo.

**Tabela 10** - Substâncias orgânicas presentes no lote de lodo de 2012, 2015 e 2016.

Substâncias	2012			2015		2016	
	LQ	Resultado Lote 01	Resultado Lote 02	LQ	Resultado	LQ	Resultado
<b>Benzenos Clorados</b>							
1,2-Diclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,001	<0,001 mg/kg
1,3-Diclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,001	<0,001 mg/kg
1,4-Diclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,001	<0,001 mg/kg
1,2,3-Triclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,001	<0,001 mg/kg
1,2,4-Triclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,001	<0,001 mg/kg
1,3,5-Triclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,2	<0,2 mg/kg
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,001	<0,001 mg/kg
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,001	<0,001 mg/kg
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,001	<0,001 mg/kg
<b>Ésteres de ftalatos</b>							
Di-n-butil ftalato	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,11	<0,11 mg/kg
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,103	<0,103 µg/L
Dimetil ftalato	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,081	<0,081 mg/Kg

<b>Fenóis não clorados</b>							
Cresóis	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,1	<0,1 mg/Kg
<b>Fenóis clorados</b>							
2,4-Diclorofenol	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,085	<0,085 mg/Kg
2,4,6-Triclorofenol	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,124	<0,124 mg/Kg
Pentaclorofenol	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,005	<0,005 mg/Kg
<b>Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's)</b>							
Aldrin	0,001	ND	ND	0,001	ND	-	-
Dieldrin	0,001	ND	ND	0,001	ND	-	-
Endrin	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,031	<0,031 mg/Kg
Clordano	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,011	<0,011 mg/Kg
Heptacloro	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,104	<0,104 mg/Kg
DDT	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,011	<0,011 mg/Kg
Toxafeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	1	<1 mg/Kg
Mirex	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,011	<0,011 mg/Kg
Hexaclorobenzeno	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,012	<0,012 mg/Kg
PCB's	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,011	<0,011 mg/Kg
Dioxinas e Furanos	0,001	ND	ND	0,001	ND	0,01	<0,01 pg/Kg
<b>Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos</b>							
Benzo(a)antraceno	0,01	ND	ND	0,01	ND	0,05	<0,05 mg/Kg
Benzo(a)pireno	0,01	ND	ND	0,01	ND	0,05	<0,05 mg/Kg
Benzo(k)fluoranteno	0,01	ND	ND	0,01	ND	0,05	<0,05 mg/Kg
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,01	ND	ND	0,01	ND	0,05	<0,05 mg/kg
Naftaleno	0,01	ND	ND	0,01	ND	0,05	<0,05 mg/kg
Fenantreno	0,01	ND	ND	0,01	ND	0,05	<0,05 mg/kg
Lindano	0,01	ND	ND	0,01	ND	0,01	<0,01 mg/kg

LQ: Limite de Quantificação.

ND: Não Detectado.

MG/KG: Miligrama por Quilograma.

µG/L: Micrograma por Litro.

PG/KG: Picograma por Quilograma.

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006; Laudo técnico da Sanepar 2012, 2015 e 2016.

Como a Resolução CONAMA nº 375/2006 não estabelece as concentrações máximas permitidas das substâncias orgânicas para uma comparação, pode-se constatar pela observação dos valores determinados que os índices são baixos e que na maioria das substâncias citadas na Tabela anterior - em três dos quatro lotes - não foram determinadas, podendo estarem ausentes no lodo ou abaixo do nível de detecção do equipamento utilizado para análise.

Em relação à estabilidade, o lote 01 do lodo de esgoto do ano de 2012, no qual foi distribuído para os agricultores A, B e C, teve como resultado 0,235212. O lote 02 de 2012, disponibilizado para o agricultor D, apresentou como resultado o valor de 0,305146. O lote de lodo gerado em 2015, distribuído para os agricultores A, B e C, apresentou uma estabilidade de 0,49. Todos os resultados encontrados mostraram-se estáveis, pois, os valores determinados estão abaixo de 0,70 exigido pela Resolução CONAMA nº 375/2006. Nos relatórios de ensaio de 2016, o valor de estabilidade não estava presente.

Em seguida serão apresentadas informações retiradas dos laudos de análises dos solos receptores do bioossólido, para os anos de 2012, 2015 e 2016.

#### 4.5.2 Análises do solo

Assim como o lote de lodo de esgoto deve ser caracterizado e analisado antes de ser enviado para a área agrícola para ser utilizado como fertilizante agrícola, o solo receptor do lodo também deve passar por caracterizações e análises para se conhecer a necessidade de incorporação do bioossólido e se ele, realmente, é apto ao recebimento do material.

De acordo com a Resolução nº 375/2006 do CONAMA, são exigidas as seguintes análises do solo agrícola antes do recebimento do lodo: parâmetro de fertilidade; sódio trocável; condutividade elétrica e substâncias inorgânicas.

Os próximos tópicos trarão os resultados das análises cedidas pela Sanepar para os agricultores que receberam os lotes de lodo dos anos 2012, 2015 e 2016.

## 4.5.2.1 Ano de 2012

No ano de 2012, quatro agricultores receberam o lodo de esgoto produzido em dois lotes. Optamos por denominar cada agricultor com as quatro primeiras letras do alfabeto para não divulgar seus nomes e informações de suas propriedades. Juntos os agricultores receberam uma quantidade de lodo de aproximadamente 829 toneladas do bio sólido. O agricultor A recebeu 278 toneladas e utilizou o lodo para fertilizar o cultivar de aveia; o agricultor B recebeu 152 toneladas para o cultivo de milho; o agricultor C recebeu 223 toneladas para produzir soja; e o agricultor D recebeu 176 toneladas para cultivar milho (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

O parâmetro de fertilidade é importante no que se refere ao conhecimento da composição do solo, para conhecer e avaliar o quanto um determinado solo possui de nutrientes, qual seu pH, sua porcentagem de saturação de bases, entre outros.

Os resultados encontrados nos testes dos parâmetros de fertilidade (Tabela 11, para os lotes de lodo de 2012), são os fatores que definem a taxa de aplicação do lodo de esgoto (toneladas/hectare).

**Tabela 11** - Resultados dos parâmetros de fertilidade dos solos A, B, C e D.

Parâmetro de Fertilidade	Resultados			
	A	B	C	D
pH	4,10	4,40	4,10	4,20
Matéria Orgânica	45,15 g/dm <sup>3</sup>	35,67 g/dm <sup>3</sup>	29,69 g/dm <sup>3</sup>	38,67 g/dm <sup>3</sup>
Fósforo	4,90 mg/dm <sup>3</sup>	3,00 mg/dm <sup>3</sup>	4,10 mg/dm <sup>3</sup>	4,40 mg/dm <sup>3</sup>
Cálcio	5,03 cmolc/dm <sup>3</sup>	2,84 cmolc/dm <sup>3</sup>	2,72 cmolc/dm <sup>3</sup>	4,03 cmolc/dm <sup>3</sup>
Potássio	0,16 cmolc/dm <sup>3</sup>	0,16 cmolc/dm <sup>3</sup>	0,25 cmolc/dm <sup>3</sup>	0,25 cmolc/dm <sup>3</sup>
Magnésio	2,39 cmolc/dm <sup>3</sup>	1,63 cmolc/dm <sup>3</sup>	0,54 cmolc/dm <sup>3</sup>	1,08 cmolc/dm <sup>3</sup>
Sódio	-	-	-	-
Acidez Potencial (H+Al)	13,07 cmolc/dm <sup>3</sup>	8,36 cmolc/dm <sup>3</sup>	10,54 cmolc/dm <sup>3</sup>	11,26 cmolc/dm <sup>3</sup>
Soma das bases	7,58 cmolc/dm <sup>3</sup>	4,63 cmolc/dm <sup>3</sup>	3,51 cmolc/dm <sup>3</sup>	5,36 cmolc/dm <sup>3</sup>
Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	20,65 cmolc/dm <sup>3</sup>	12,99 cmolc/dm <sup>3</sup>	13,96 cmolc/dm <sup>3</sup>	16,62 cmolc/dm <sup>3</sup>
Porcentagem de saturação em bases	36,71%	35,64%	25,14%	32,25%

G/DM<sup>3</sup>: Grama por Decímetro Cúbico.

MG/ DM<sup>3</sup>: Miligrama por Decímetro Cúbico.

CMOLC/DM<sup>3</sup>: Centímol de carga por Decímetro Cúbico.

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006; Laudo técnico da Sanepar 2012.

A Tabela 12 apresentada a seguir e a Tabela 14 representam a adição teórica do metal no solo (kg do metal/hectare ou kg/ha). Essa adição teórica do metal no solo leva em consideração o teor do metal (mg/kg) no lodo e a taxa de aplicação do lodo de esgoto (toneladas/ hectare), sendo então uma projeção. Esta adição depende estritamente do laudo de metais do lodo de esgoto (concentração de cada metal em mg/kg no lodo) e da taxa de aplicação (ton/ha) do lodo na área (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

**Tabela 12** - Resultados das análises do lote do ano de 2012 nas propriedades A, B, C e D referentes a carga acumulada teórica de substâncias inorgânicas.

Substâncias Inorgânicas	CARGA ACUMULADA TEÓRICA PERMITIDA DE (KG/HA)				
	CONAMA 375/06	A	B	C	D
Arsênio	30	< 0,0002	< 0,0001	< 0,0002	< 0,0002
Bário	265	4,1257	2,8600	4,0129	4,0956
Cádmio	4	0,2009	0,1393	0,1954	0,1767
Chumbo	41	1,2981	0,8999	1,2626	1,5910
Cobre	137	2,3652	1,6396	2,3006	3,0334
Cromo	154	0,5139	0,3563	0,4999	0,8854
Mercúrio	1,2	< 0,0002	< 0,0001	< 0,0002	< 0,0002
Molibdênio	13	< 0,0018	< 0,0012	< 0,0017	< 0,0015
Níquel	74	1,0830	0,7508	1,0534	1,0195
Selênio	13	< 0,0018	< 0,0012	< 0,0017	< 0,0015
Zinco	445	8,5624	5,9357	8,3284	4,2473

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006; Laudo técnico da Sanepar 2012.

A realização de análises de monitoramento das substâncias inorgânicas no solo só é exigida, segundo a Resolução CONAMA nº 375/2006, quando as mesmas apresentarem valores de poluentes limitantes da taxa de aplicação; a cada cinco aplicações em profundidades de solo de 0-20 e 20-40 cm; e quando a carga acumulada teórica de alguma substância atingir 80% da carga acumulada permitida apresentada na Tabela 3 (BRASIL, 2006a). Dessa forma, como os valores de carga acumulada permitida não atingem 80% do máximo permitido para substâncias inorgânicas. Não foi necessária a análise dessas substâncias no solo receptor do lodo (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Geralmente na Sanepar, como o lodo produzido na ETE Marrecas apresenta baixa concentração de metais (bem abaixo da concentração limite preconizado na Legislação para substâncias inorgânicas), e possui ampla área agrícola, não sendo necessário aplicar o lodo na mesma gleba/talhão da propriedade mais que uma ou duas vezes, é feito somente o monitoramento inicial para substâncias inorgânicas (metais), ou seja, antes da aplicação do lodo na área (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Com relação às substâncias orgânicas, as Legislações orientam que seja feito o monitoramento do solo, que irá receber o lodo de esgoto, somente nos casos em que uma substância orgânica for detectada na análise do lodo de esgoto em quantidade acima do limite de detecção, através de análises de substâncias orgânicas do solo. Como em nenhum dos laudos de lodo de esgoto houve alguma substância orgânica detectada, não se fez necessário fazer análise dessas substâncias nos solos dos agricultores (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Para os lotes de 2012, não foram realizadas análises de metais nos solos dos agricultores. Há somente a adição teórica (acumulada) de metais no solo (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Dos agricultores que receberam o lodo em 2012, a companhia de saneamento não possui as análises de condutividade elétrica e sódio trocável. Acredita-se que não tenham sido realizadas (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

#### 4.5.2.2 Ano 2015

Em 2015 três agricultores foram beneficiados com o biossólido, denominados da mesma forma que os recebedores de 2012, pelas primeiras letras do alfabeto. O total de lodo de esgoto distribuído em 2015 foi de 226 toneladas. Para o produtor A foi disponibilizado 76 toneladas; para o agricultor B foram 80 toneladas; e para o recebedor C, 70 toneladas de lodo. Todos os agricultores utilizaram o biossólido para o plantio de soja (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

Na Tabela 13, estão expostos os resultados das análises dos parâmetros de fertilidade dos solos recebedores de lodo em 2015. Notamos que o elemento com maior disponibilidade no solo do agricultor A é o fósforo, sendo uma quantidade maior em relação aos outros solos. Por sua vez, o solo B apresenta uma soma maior das

bases, maior concentração de cálcio e de magnésio. O potássio foi o elemento com maior concentração no solo C, em comparação aos outros dois solos analisados.

**Tabela 13** - Resultados dos parâmetros de fertilidade dos solos A, B e C.

Parâmetro de Fertilidade	Resultado		
	A	B	C
pH	4,50	5,30	4,60
Matéria Orgânica	41,02 g/dm <sup>3</sup>	37,67 g/dm <sup>3</sup>	36,89 g/dm <sup>3</sup>
Fósforo	15,49 mg/dm <sup>3</sup>	1,63 mg/dm <sup>3</sup>	3,04 mg/dm <sup>3</sup>
Cálcio	4,37 cmolc/dm <sup>3</sup>	5,25 cmolc/dm <sup>3</sup>	4,73 cmolc/dm <sup>3</sup>
Potássio	0,29 cmolc/dm <sup>3</sup>	0,06 cmolc/dm <sup>3</sup>	0,40 cmolc/dm <sup>3</sup>
Magnésio	1,36 cmolc/dm <sup>3</sup>	2,17 cmolc/dm <sup>3</sup>	1,05 cmolc/dm <sup>3</sup>
Sódio	0,7 mg/L	-	0,7 mg/L
Acidez Potencial (H+Al)	9,01 cmolc/dm <sup>3</sup>	4,96 cmolc/dm <sup>3</sup>	8,36 cmolc/dm <sup>3</sup>
Soma das bases	6,02 cmolc/dm <sup>3</sup>	7,48 cmolc/dm <sup>3</sup>	6,18 cmolc/dm <sup>3</sup>
Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	15,03 cmolc/dm <sup>3</sup>	12,44 cmolc/dm <sup>3</sup>	14,54 cmolc/dm <sup>3</sup>
Porcentagem de saturação em bases	40,05%	60,13%	42,50%

G/DM<sup>3</sup>: Grama por Decímetro Cúbico.

MG/ DM<sup>3</sup>: Miligrama por Decímetro Cúbico.

CMOLC/DM<sup>3</sup>: Centimol de carga por Decímetro Cúbico.

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006; Laudo técnico da Sanepar 2015.

Os resultados de cargas teóricas acumuladas projetadas para os solos A, B e C, beneficiados pelo lote de lodo de 2015, estão expostas na Tabela 14. Todos os valores encontrados para as substâncias analisadas estão bem abaixo do permitido pela Legislação.

**Tabela 14** - Resultados das análises do lote do ano de 2015 das propriedades A, B e C referentes a carga acumulada teórica de substâncias inorgânicas.

Substâncias Inorgânicas	CARGA ACUMULADA TEÓRICA PERMITIDA DE (KG/HA)			
	CONAMA 375/06	A	B	C
Arsênio	30	0,0002	0,0800	0,0004
Bário	265	0,9297	0,8590	1,4174
Cádmio	4	0,0015	0,4800	0,0023
Chumbo	41	0,1934	0,1787	0,2949
Cobre	137	0,8902	0,8225	1,3571
Cromo	154	2,3953	2,2131	3,6519
Mercúrio	1,2	0,0002	0,0800	0,0004
Molibdênio	13	0,0024	0,8000	0,0037
Níquel	74	0,2356	0,2177	0,3592
Selênio	13	0,0024	0,8000	0,0037
Zinco	445	3,9030	3,6061	5,9505

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006; Laudo técnico da Sanepar 2015.

A concentração de cada metal no solo deve ser realizada antes da aplicação do lodo. Na Tabela 15 estão os valores encontrados nos solos que receberam o lodo de 2015. Esses dados servem para comprovar que o solo já apresenta metais naturalmente, como os Latossolos (solos comuns na região de Francisco Beltrão) que têm teores consideráveis de cobre, cromo, níquel e bário. Além disso, esses metais encontram-se no solo devido a aplicação de defensivos agrícolas (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

**Tabela 15** - Resultados das análises de substâncias inorgânicas nos solos A, B e C, antes da aplicação do lodo.

Substâncias Inorgânicas	Resultados (mg/kg de ST)					
	LD	A	LD	B	LD	C
Arsênio	10	<10	0,4	<0,04	10	<10
Bário	100	126,76	20	<0,20	100	247,93
Cádmio	10	<10	0,24	<0,04	10	<10
Chumbo	20	<20	4	44,40	20	<20
Cobre	100	152,11	1,20	179,20	100	127,56
Cromo	100	111,15	2	478,80	100	119,30
Mercúrio	0,2	<0,2	0,04	<0,04	0,2	<0,2
Molibdênio	6	<6	0,40	<0,40	6	<6
Níquel	20	<20	3,20	<3,20	20	<20
Selênio	10	<10	0,40	<0,40	10	<10
Zinco	100	<100	0,80	98,82	100	<100

ST: Sólidos Totais.

LD: Limite de Detecção.

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006; Laudo técnico da Sanepar 2015.

Ao analisar o solo, que possivelmente receberá o lodo de esgoto, devem ser encontrados os valores da condutividade elétrica e sódio trocável do solo. O solo testado do agricultor A apresentou um resultado de 188,7 Microsiemens por Centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e de sódio trocável igual à 0,7 mg/L. Para o solo B foram encontrados valores de 101,94  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de condutividade elétricas e 1.105,77 mg/kg de sódio trocável. No solo do agricultor C a condutividade elétrica foi de 127,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o sódio trocável de 0,7 mg/L.

Assim como para o ano de 2012, o lodo não apresentou elevados níveis de substâncias orgânicas, por isso não foi necessário a análise dessas substâncias no solo receptor do lodo.

#### 4.5.2.3 Ano 2016

Do lote de 2016, ainda não temos as análises de solo dos agricultores que receberam o lodo de esgoto. Para o lote de 2016, ainda não foram mandados para laboratório as amostras de solo para análise (SANEPAR, 2017, informação verbal d).

## 4.6 IMPRESSÕES E VISÕES DOS USUÁRIOS DO LODO DE ESGOTO

Para garantir informações e percepções de quem doa e de quem recebe o bio sólidos, optamos por realizar entrevistas com os usuários do lodo de esgoto para saber as reais consequências que o uso do material causou, como essa distribuição ocorreu e outras informações.

### 4.6.1 Agricultores recebedores do lodo em 2012

No ano de 2012, três agricultores receberam o lodo para utilizarem em suas propriedades agrícolas. As respostas dadas às questões presentes no roteiro de perguntas destinadas aos agricultores (Apêndice B) são apresentadas a seguir.

#### 4.6.1.1 Agricultor da área A

De acordo com informações coletadas, através do roteiro de questões direcionadas aos agricultores que receberam o lodo de esgoto para utilizar em suas propriedades (Apêndice B), o agricultor da área A, que recebeu o bio sólido em 2012, foi o primeiro ser contemplado com a doação desse material. Por se tratar do primeiro, a Sanepar o procurou para oferecer o lodo pois, estava procurando alguém que estivesse disposto a desenvolver este trabalho de deposição em solo agrícola. O agricultor da área A de 2012 não possui conhecimento de outro agricultor que tenha recebido o lodo também (Informação verbal, agricultor A de 2012).

O bio sólido foi utilizado em sua propriedade somente uma vez, como já mencionado, no ano de 2012 para as culturas de soja e milho. Quanto ao recebimento de informações referentes a restrição de culturas as quais poderiam receber a adição do lodo, informaram-lhe que não poderia ser utilizado o bio sólido em pastagem, em alimentos de consumo direto, *in natura*, e em horta (Informação verbal, agricultor A de 2012).

Quando questionado sobre o conhecimento da Legislação a respeito do uso do lodo de esgoto na agricultura, o entrevistado declarou que o conhecimento que possui foi repassado pela Sanepar (Informação verbal, agricultor A de 2012).

Na temática do monitoramento do solo, após a aplicação do lodo, informou não recordar sobre a realização dessas análises, até mesmo, se foram realizadas.

Quanto à melhora na produção após a aplicação do biossólido, as informações foram positivas, afirmou que houve um aumento no tamanho das plantas, uma cor mais intensa das mesmas. Segundo o agricultor, provavelmente pela maior presença de nitrogênio. Uma observação importante relatada foi que em locais onde a máquina de espalhamento do lodo percorreu o caminho mais de uma vez, por exemplo, em lugares onde eram realizadas as manobras ou onde o terreno se afunilava, sendo os locais com maior deposição do lodo, as culturas desenvolveram-se com condições ainda melhores, podendo ser observado a olho nu (Informação verbal, agricultor A de 2012).

O fator decisivo para que optasse pelo recebimento do lodo foi a segurança que a Sanepar, juntamente com a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), passou de que o material era seguro e bom para o solo, apresentando estudos que comprovavam a eficácia, mesmo tendo a impressão de que a origem do material não tinha uma boa procedência, por se tratar de material residual humano (Informação verbal, agricultor A de 2012).

O usuário do lodo alegou que o uso do biossólido na agricultura traz ganhos ao meio ambiente, pois, “está se reutilizando e acabando com um potencial contaminador. Então assim, fecha-se um ciclo” (Informação verbal, agricultor A de 2012).

O entrevistado relatou que, após a deposição do lodo no solo, ao final do dia, sentia-se cheiro de sabonete e *shampoo*, mas que a situação ocorreu por pouco tempo. Ele crê que a exalação do cheiro tenha ocorrido pelo fato do biossólido não ter sido incorporado no solo, pois não houve movimentação, o material foi apenas depositado no solo, pois, na propriedade a semeadura ocorre direto na palha (Informação verbal, agricultor A de 2012).

Quando interrogado sobre se havia algum ponto que necessitaria ser melhorado na distribuição e no processo de destinação do lodo, o agricultor da área A de 2012 informou que o lodo recebido por ele tinha um teor de umidade alto e haviam pedaços de concreto misturados com o lodo. Ao entrar em contato com a Sanepar para saber o porquê do concreto junto ao biossólido, informaram que no carregamento porções do piso onde estava armazenado se romperam, ocasionando o fato. Entretanto, comunicaram que o problema já havia sido detectado e resolvido. O

recebedor do lodo comunicou ainda à Sanepar de que o material enviado deveria apresentar característica “friável e não pastosa”, e conter uma leve umidade (Informação verbal, agricultor A de 2012).

#### 4.6.1.2 Agricultor das áreas B e C

Para o agricultor responsável pela área B e C, realizamos uma entrevista, pois, trata-se da mesma propriedade e as duas áreas fazem fronteira. Além disso, o agricultor afirmou que as respostas são iguais para ambas as áreas, uma com plantação de soja e outra de milho.

Quem informou sobre a doação do lodo de esgoto da Sanepar para agricultores foi um vizinho. Assim, ele soube da distribuição e de dois vizinhos que também receberam antes dele. Usou o biossólido somente uma vez no ano de 2012 para uma safra de milho e soja (Informação verbal, agricultor B e C de 2012).

O agricultor responsável pelas áreas B e C em 2012, afirmou ter recebido informações em quais culturas poderia ser usado o lodo. Não tem conhecimento da Legislação, mas foi informado pela Sanepar em que áreas o lodo poderia ser disposto em sua propriedade (Informação verbal, agricultor B e C de 2012).

Sabe que foram realizadas análises de monitoramento pela Sanepar, mas não lembra quais foram os resultados (Informação verbal, agricultor B e C de 2012).

A partir do segundo ano, após a aplicação, observou um resultado positivo na sua produção, e como tem que realizar análises para conseguir financiamento do banco, pode constatar que o solo estava bom e com teores corretos das substâncias (Informação verbal, agricultor B e C de 2012).

O fator decisivo para que optasse pelo uso do lodo na sua área agrícola foi “agregar valor ao produto”. Além disso, a Sanepar disponibilizou e levou à propriedade, cabendo a ele apenas a função de espalhar (Informação verbal, agricultor B e C de 2012).

O agricultor das áreas B e C de 2012 não soube responder se o uso do biossólido com fins agricultáveis traz ganhos ao meio ambiente, mas frisou que “pode ser que não, porque pode vir uma chuva e escoar para o rio”, demonstrando assim sua preocupação com a conservação dos rios (Informação verbal, agricultor B e C de 2012).

Para finalizar a entrevista, disse que não reconhece necessidade de melhoria no processo de distribuição e destinação do lodo, pois, não teve preocupação nenhuma.

#### 4.6.1.3 Agricultor da área D

O agricultor da área D não foi entrevistado por não conseguirmos contato com o mesmo. A tentativa de contato ocorreu por meio de ligações telefônicas e de visitas na propriedade, ambas sem êxito.

#### 4.6.2 Agricultores recebedores do lodo em 2015

Após três anos, outro lote de lodo foi disponibilizado pela Sanepar para ser utilizado como fertilizante agrícola. Neste ano, foram entregues uma quantidade significativa para três agricultores. Suas percepções quanto ao uso serão expostas a seguir.

##### 4.6.1.1 Agricultor da área A

Segundo informações coletadas por meio de entrevista com o agricultor da área A do ano de 2015, ele soube da distribuição do lodo com fins agricultáveis por meio de um familiar. Sendo assim, tem conhecimento que seu familiar e seu vizinho fazem uso do biossólido da mesma forma que ele (Informação verbal, agricultor A de 2015).

O uso do lodo de esgoto na propriedade ocorreu apenas uma vez, no ano de 2015, para as culturas de soja primeiramente e, depois, de aveia e milho. Funcionários da Sanepar o orientaram que o material não poderia ser utilizado em qualquer cultura, assim como não poderia utilizar a área para pastagem por dois anos (Informação verbal, agricultor A de 2015).

O entrevistado alegou não conhecer a Legislação existente quanto ao uso do lodo na agricultura, mas afirmou que o engenheiro agrônomo vistoriou o terreno e o

orientou, inclusive de que não poderia depositar no solo próximo ao rio (Informação verbal, agricultor A de 2015).

Quanto ao monitoramento, após o uso do lodo em sua propriedade, afirmou que ocorreu o acompanhamento através de pelo menos quatro visitas do engenheiro agrônomo. Todavia, não possui conhecimento dos resultados das análises realizadas (Informação verbal, agricultor A de 2015).

O agricultor A de 2015, observou uma melhora na sua produtividade após a aplicação do lodo, afirmando que “foi um plantio melhor” e o mesmo não constatou nenhuma desvantagem neste uso (Informação verbal, agricultor A de 2015).

O fator decisivo para a utilização do bio sólido foi que, após saber da distribuição por meio de um familiar, o engenheiro agrônomo da Sanepar explicou os procedimentos muito bem e então ele se convenceu de que seria vantajoso (Informação verbal, agricultor A de 2015).

Em relação aos ganhos ambientais no uso do bio sólido, acredita que não prejudica ao meio ambiente utilizá-lo na agricultura, mas que para a planta traz muitos ganhos. Na sua opinião, não há pontos que precisem ser melhorados na distribuição do material, pois, “se a Sanepar está fazendo dessa forma, deve ser correto”, demonstrando sua total confiança na companhia de saneamento paranaense. Além disso, ressaltou que o processo de distribuição, uso e monitoramento ocorreu muito bem, porque houve um grande acompanhamento da Sanepar, sobretudo do engenheiro agrônomo (Informação verbal, agricultor A de 2015).

#### 4.6.1.2 Agricultor da área B

Para que o lodo pudesse ser utilizado em sua propriedade, o agricultor B de 2015, informou que a Sanepar o procurou. O engenheiro agrônomo foi até a Cooperativa Agropecuária Sudoeste Ltda (COASUL) e solicitou uma lista de agricultores associados e ele foi o primeiro a ser procurado para receber o bio sólido. Além disso, relatou que conhece outros dois usuários do lodo na agricultura (Informação verbal, agricultor B de 2015).

Contou que recebeu apenas uma vez o bio sólido no ano de 2015 para as culturas de soja, no verão, e no plantio de aveia, no inverno. Afirmou ter recebido informações do engenheiro agrônomo da Sanepar quanto as culturas que poderiam

ser plantadas no solo incorporado com lodo. Tem conhecimento sobre a existência da Legislação e sabe das restrições. Ressaltou ainda que, em sua propriedade, algumas áreas ficaram restritas ao uso (Informação verbal, agricultor B de 2015).

Durante a entrevista, revelou que é realizado um monitoramento posterior à aplicação do bio sólido, que foi entregue a ele um relatório com análises do lodo e também da lavoura (Informação verbal, agricultor B de 2015).

O agricultor B de 2015 disse estar muito satisfeito com a utilização do bio sólido em seu solo agrícola, fazendo a seguinte afirmação “comparando com uma produção dos dez anos anteriores, acredito que tenha aumentado de 20 a 30% a minha produção, pelo menos 20% com certeza aumentou. Isso pode ser devido a outras condições, mas o lodo com certeza também foi o responsável”. Quanto às desvantagens, o agricultor não destacou nenhuma (Informação verbal, agricultor B de 2015).

O usuário B de 2015 crê nos ganhos ao meio ambiente com o uso do lodo na agricultura por não ir mais para aterro sanitário. Porém, acredita que não deve ser usado sequencialmente, uma vez a cada cinco anos, mas que esporadicamente traz ganhos (Informação verbal, agricultor B de 2015).

Informou também que julga não haver necessidade de melhorias no processo de distribuição e destinação do lodo, pois, recebeu o relatório, quatro ou cinco visitas no engenheiro agrônomo na propriedade e, após um ano, novamente (Informação verbal, agricultor B de 2015).

#### 4.6.1.3 Agricultor da área C

O agricultor C do ano de 2015, viu uma movimentação na propriedade vizinha e descobriu que se tratava de uma distribuição de lodo no solo. Naquele momento, funcionários da Sanepar perguntaram se ele também gostaria de receber o lodo, e como o seu solo estava bastante degradado, ele aceitou. Com isso, tomou conhecimento de que seu vizinho recebia o lodo e, depois de usar, indicou a um familiar (Informação verbal, agricultor C de 2015).

Utilizou somente uma vez o bio sólido, no ano de 2015, para o plantio de soja. A orientação recebida por ele, foi de que não poderia utilizar no solo para pastagem

por dois anos. Além disso, não possui conhecimento sobre a Legislação, somente o que foi repassado pela Sanepar (Informação verbal, agricultor C de 2015).

Informou não se recordar sobre a realização das análises, mas que foram até a propriedade após a aplicação para monitorar, em um dia em que o mesmo não estava presente (Informação verbal, agricultor C de 2015).

Quanto a indagação relacionada a melhora na produção após a aplicação do bio sólido, afirmou ter percebido uma mudança na cor e na produção, pois “sempre que se coloca algo orgânico no solo há uma melhora”. Contou ainda que em 1982, utilizava os dejetos suínos na agricultura. E não observou nenhuma desvantagem com o uso de bio sólido (Informação verbal, agricultor C de 2015).

O fator decisivo para aceitar o lodo para deposição em sua área foi o nível de degradação da mesma. Através da entrevista, revelou que o proprietário anterior utilizou a área para plantação de feijão no limpo e provocavam queimadas. Então, o solo era muito pobre e foram necessários quase dez anos para recuperar. Acredita que o uso do bio sólido traz ganhos para o meio ambiente porque além de “fortalecer o que for plantado ali, não precisa usar nada químico” (Informação verbal, agricultor C de 2015).

Na sua opinião, um fator que poderia ser melhorado é “dar mais informações, mesmo que haja regra, é um lixo da cidade e alguns dizem que trazem doença da cidade” (Informação verbal, agricultor C de 2015).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O serviço componente do saneamento básico mais precário, no Brasil, é o esgotamento sanitário. Em Francisco Beltrão a situação se repete, pois apenas 70,16% da população beltronense é atendida pelas redes de esgoto. Compreendemos que o custo para a ampliação é alto, mas a forma como é e será priorizada a distribuição de rede futura é ambiental e socialmente injusta. São analisados somente os aspectos econômicos para essa distribuição, não cumprindo dessa forma, a universalização e equidade do acesso à rede de esgoto.

A destinação do biossólido para a agricultura é uma prática de grande valia adotada pela companhia de saneamento do Paraná, pois, agrega valor a um produto, que antes do tratamento possuía um potencial contaminante ao ambiente e à saúde humana. Somado a isso, traz ganhos físicos e químicos para os solos receptores.

Em relação a higienização do lodo, a adição de cal é um mecanismo de eliminação de agentes patogênicos eficaz e economicamente viável e também traz ganhos ao ser aplicado em solos ácidos, como é o caso da região onde se situa Francisco Beltrão. Todavia, devemos considerar que a cal aumenta o volume do biossólido ao ser incorporada ao mesmo, acarretando maior custo no transporte para as áreas agricultáveis.

Considerando a quantidade de agricultores, visto que a Sanepar mesmo informou que prefere direcionar o lodo para grandes agricultores, que recebem o biossólido para fazer uso do fertilizante em suas propriedades, poucos são beneficiados com o recebimento e com as análises realizadas pela companhia.

A decisão de encaminhar o lodo de esgoto a proprietários de terra com grandes áreas justifica-se por apresentar menor custo na distribuição e nas análises obrigatórias a serem realizadas. Através disso, a parte econômica e ambiental da correta distribuição são satisfatórias. Entretanto, a função social de prestação de um serviço à comunidade limita-se a uma pequena quantidade de agricultores beneficiados, geralmente mais capitalizados.

Algumas informações apresentadas pela Sanepar e pelos agricultores quanto às culturas que receberam o biossólido como fertilizante foram distintas. O agricultor da área A de 2012 informou que usou o lodo para plantio de soja e milho, enquanto a Sanepar informou que enviou para cultura de aveia. O agricultor possuidor da área de

2015 relatou que usou para plantio de aveia e milho e a Sanepar informou ser para soja. Na área B de 2015, o agricultor utilizou para fertilizar solo do plantio de soja e aveia e a Sanepar informou que foi apenas para a de soja. Essas incongruências das informações não são tão relevantes em termos de resultados, pois o lodo foi utilizado em culturas onde era permitido pela Legislação. Por isso, não procuramos averiguar os motivos dessas informações não serem exatas.

Através das entrevistas realizadas com os agricultores, podemos constatar que no início do fornecimento alguns impasses ocorreram na distribuição e nas condições físicas que o lodo possuía. Entretanto, algumas foram sendo corrigidas e melhoradas na distribuição posterior. A exemplo disso, estão a correção da umidade do lodo, materiais misturados com o lodo, além das análises de sódio trocável e condutividade elétrica, que não foram realizadas em 2012, porém, em 2015 foram realizadas as duas análises exigidas.

A UGL tem o dever de repassar algumas informações referentes ao bio sólido para os proprietários das terras que o receberão. Conforme apresentado no item 3.4.1.3, verificamos, através das entrevistas, que esta obrigatoriedade é realizada somente de forma parcial. Existem análises antes e de acompanhamento após a aplicação do lodo, porém, nenhum dos agricultores soube informar quais substâncias foram analisadas e quais os resultados obtidos para suas terras.

Para as análises exigidas a serem realizadas no lodo de esgoto, concluímos que: o potencial agrônômico do lodo foi realizado em todos os lotes, assim como as substâncias inorgânicas e os agentes patogênicos; as substâncias orgânicas com potencial tóxico foram analisadas em todos os lotes, entretanto, para o lote de 2016 duas substâncias não foram averiguadas, sendo elas o aldrin e o dieldrin; a estabilidade do lodo foi apresentada nos lotes de 2012 e 2015, mas não foram encontradas no lote de 2016.

Quanto as exigências legais referentes as análises no solo receptor do bio sólido, identificamos as seguintes situações:

- o parâmetro de fertilidade foi realizado para todos os solos, todavia, nos solos recebedores no ano de 2012, dentre as substâncias exigidas, não foram analisadas a quantidade de sódio presente no local, bem como na área do agricultor B do ano de 2015;

- em relação à substâncias inorgânicas, verificamos a análise do solo da carga teórica acumulada e, como as concentrações encontradas foram baixas, não foi

necessário realizar análises do solo para esses elementos. Essa flexibilidade na exigência ou não dessas análises está disposta na Resolução CONAMA nº 375/2006, na Seção IX, Artigo 21. A não obrigação dessas análises deve ocorrer quando não foi aplicado lodo cinco vezes ou mais no solo; quando nenhuma das substâncias inorgânicas monitoradas alcançar 80% da carga acumulada teórica permitida e quando estas substâncias inorgânicas não forem consideradas poluentes limitantes da taxa de aplicação. Então, no ano de 2012, não se realizaram essas análises, mas, para o ano de 2015, mesmo não havendo obrigatoriedade, elas foram efetuadas;

- para as substâncias orgânicas, também não foram realizadas análises dos solos de 2012 e 2015. Mais uma vez a Legislação somente exige a realização se houver a presença dessas substâncias no lodo em concentrações mais elevadas do que é permitido. Esta condicionante está descrita no Artigo 21 da Resolução CONAMA nº 375/2006.

Embora esteja sendo feito um bom trabalho na distribuição e orientação do uso do lodo, algumas análises não foram realizadas. Para um uso totalmente seguro é primordial que todas as análises sejam efetuadas, tanto no lodo quanto nos solos agrícolas.

Além das exigências impostas pela Resolução CONAMA nº 375/2006, a Sanepar realiza as análises de limitações e aptidão de áreas (Quadros 4 e 5) em todas as áreas receptoras do lodo, de acordo com a Resolução do SEMA nº 001/2007.

O projeto agrônômico realizado pela Sanepar contém os seguintes requisitos estabelecidos no roteiro de projeto agrônômico imposto pela Resolução CONAMA nº 375/2006: caracterização da instalação da ETE ou UGL; caracterização do lodo, exceto a estabilidade para alguns lotes; caracterização da área de aplicação, exceto para sódio trocável e condutividade elétrica para algumas propriedades; taxa de aplicação do lodo; quanto ao armazenamento há as indicações, mas quanto ao transporte não há o documento de responsabilidade do transportador; planos de aplicação de manejo; relatório de operação; em relação ao monitoramento são apresentadas as análises de substâncias que a Sanepar realizou, como já apresentado anteriormente; há a assinatura do responsável técnico, mas não está anexo a ART; há também informações adicionais. As informações adicionais fazem referências a recomendação de adubação do lodo e, também, complementar e o benefício econômico do uso do lodo.

Esta pesquisa, embora pequena em escala geográfica, buscou contribuir para o entendimento e vantagens do uso de um produto considerado rejeito, muitas vezes tratado com certo preconceito, para um material rico em matéria orgânica benéfico ao solo. Foi um trabalho que exigiu muita paciência e investigação, a princípio com muitas dúvidas e questionamentos que, no decorrer de sua construção, foram sendo esclarecidos. As dificuldades encontradas foram insignificantes em comparação ao conhecimento adquirido, às amizades e aos contatos realizados.

Para finalizar, consideramo-nos satisfeitos com os resultados obtidos e por verificarmos que, embora haja pontos a serem melhorados, a destinação e uso do lodo de esgoto no município de Francisco Beltrão são realizados de forma sanitária e ambientalmente adequadas.

Em relação às pesquisas futuras, é possível sugerir uma análise da destinação do lodo dos municípios que compõe a UGL de Francisco Beltrão, assim como, um estudo mais aprofundado das plantas que receberam o bio-sólido como fertilizante, analisando seus aspectos químicos e físicos.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLI, Cleverson V.; FERREIRA, Andréia C.; CHERNICHARO, Carlos A.; BORGES, Eduardo S. M. Secagem e higienização de lodos com aproveitamento de biogás. In: CASSINI, Sérgio T. (Coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003. 210p. p. 120-165.

ANDREOLI, Cleverson V.; FERREIRA, Andréia C.; CHERUBINI, Cristina; TELES, Cláudia R.; CARNEIRO, Charles; FERNANDES, Fernando. Higienização do Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p. p. 87-117.

ANDREOLI, Cleverson V.; LARA, Aderlene I.; FERREIRA, Andréia C.; BONNET, B. R. P.; PEGORINI, Eduardo S. A Gestão dos Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico. **Engenharia e Construção**. Curitiba, set. 1998, n. 24. Disponível em: <[http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos\\_Seminarios/Lodo\\_de\\_Esgoto/gestao\\_biossolidos\\_ETEs.pdf](http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_Esgoto/gestao_biossolidos_ETEs.pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2017.

ANDREOLI, Cleverson V.; PEGORINI, Eduardo S. Proposta de roteiro para elaboração de Planos de Distribuição de Lodo. In: Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, I, Curitiba. **Anais...** Curitiba. p. 01-04, 1998.

ANDREOLI, Cleverson V.; PEGORINI, Eduardo S. Reciclagem agrícola de biossólidos: Impactos e Regulamentação. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, XXIX. Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto, 2003.

ANDRES, Juliano. **Qualidade de vida na cidade de Francisco Beltrão (PR) por meio de sistemas de informações geográficas: aproximações entre objetividade e subjetividade**. Tese (Doutorado em Geografia). Curitiba, 2015. Disponível em: <[http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPR\\_fb2f811c8667c2789b612ad388ff07d4](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPR_fb2f811c8667c2789b612ad388ff07d4)>. Acesso em: 23 jul. 2016.

ARAUJO, Marcos P. M.; ZVEIBIL, Victor Z. A relação titular-prestador nos serviços de Saneamento Básico. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Prestação dos serviços públicos de Saneamento Básico**. Brasília: Editora, 2009. 277p. p.469-485.

AREIAS, Isabela O. R. **Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Campos dos Goytacazes - RJ em cerâmica vermelha**. 104f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Campos dos Goytacazes – RJ, 2015. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-ISA-mod.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

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

<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/2534/2171>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

BARRETO, Daniela S.; O'NEILL, Maria M. Aspectos da institucionalização municipal. In: **Atlas de saneamento 2011**. IBGE; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Ministério das Cidades. Rio de Janeiro, 2011.

BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio A. A disposição do lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio A. (Editores Técnicos). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p. p. 25-35.

BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio A.; GALVÃO, José A. H.; GHINI, Raquel. Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto: Descrição do Estudo. In: BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio A. (Editores Técnicos). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p. p. 17- 24.

BIER, Otto G. **Bacteriologia e Imunologia**. 19 ed. São Paulo: Edições Melhoramentos. 1978. 1062 p.

BITTENCOURT, Simone.; ANDREOLI, Cleverson V.; MOCHIDA Gil A.; SOUZA, Lia M. K. M. Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região metropolitana de Curitiba. **Revista Aidis**. v. 2, n. 1, p.1-11, 2009. Disponível em: <<http://www.journals.unam.mx/index.php/aidis/article/view/13099>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

BRASIL. **Constituição Federal de 1988**. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm)>. Acesso em: 04 nov. 2016.

BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências, 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm)>. Acesso em: 25 jan. 2017.

BRASIL. **Decreto nº 8.059, de 2013, de 26 julho de 2013**. Altera o Anexo ao Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, 2013. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2013/Decreto/D8059.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D8059.htm)>. Acesso em: 25 jan. 2016.

BRASIL. **Decreto nº 8.384, de 29 de dezembro de 2014.** Altera o Anexo ao Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, 2014a. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm)>. Acesso em 25 jan. 2017.

BRASIL. **Guia para a elaboração de planos municipais de saneamento básico.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2 ed. 2011a, 152 p.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em: 18 jan. 2017.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Estatuto da Cidade, 2001. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm) >. Acesso em: 04 nov. 2016.

BRASIL. **Lei nº 11.445 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. 2007a. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm) >. Acesso em: 27 jul. 2016.

BRASIL. **Panorama dos Planos Municipais de Saneamento Básico no Brasil.** Ministério das Cidades, 2017. Disponível em: <<http://www.consorcioprosinos.com.br/downloads/panorama-planos-municipais-de-saneamento-basico-260117-l.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

BRASIL. **Plano de Saneamento Básico Participativo:** Elabore o Plano de Saneamento de sua cidade e contribua para melhorar a saúde e o meio ambiente do local onde você vive. [S.l.]. Ministério das Cidades, 2009.

BRASIL. **Portaria nº 204 de 17 de fevereiro de 2016.** Define a Lista Nacional de Notificação Compulsória de doenças, agravos e eventos de saúde pública nos serviços de saúde públicos e privados em todo o território nacional, nos termos do anexo, e dá outras providências, 2016. Disponível em: < [http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2016/prt0204\\_17\\_02\\_2016.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2016/prt0204_17_02_2016.html) >. Acesso em: 04 set. 2016.

BRASIL. **Resolução CONAMA 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, 2006a. Disponível em:<

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em 20 jan. 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 377, de 09 de outubro de 2006**. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário, 2006b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=507>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, 2011b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 26 jan. 2017.

BRASIL. **Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental**. Ministério das Cidades, 2014b. Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2015**. Ministério das Cidades. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017a. 173p.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Ministério das Cidades. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017b. 212p.

BRASIL. **Subsídios para construção da Política Nacional de Saúde Ambiental**. Ministério da Saúde, Conselho Nacional de Saúde. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2007b. 56 p. (Série B. Textos Básicos de Saúde).

BUHLER, Helena F.; IGNOTTI, Eliane; NEVES, Sandra M. A. S.; HACON, Sandra S. Análise espacial de indicadores integrados de saúde e ambiente para morbimortalidade por diarreia infantil no Brasil, 2010. **Cad. Saúde Pública [online]**. Rio de Janeiro, v.30, n.9, p.1921-1934, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2014000901921&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2014000901921&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 20 dez. 2016.

CAMDESSUS, Michel; BADRÉ, Berthand; CHÉRET, Ivan; TÉNIÈRE-BUCHOT, Pierre F. **Água: oito milhões de mortos por ano: um escândalo mundial**. Maria Angela V. (Tradução). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 271 p.

CATOLICO, Ana C. C.; CARVALHO, Luciana C. G.; JARQUE, Natalia A. Aproveitamento de resíduos do saneamento básico na fabricação de cerâmica vermelha. **XI Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 9, p. 79-96, 2015. Disponível em: <[https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/articloe/viewFile/1173/1196](https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/articloe/viewFile/1173/1196)>. Acesso em: 05 jul. 2017.

CHAGAS, Welington F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da ilha do governador e da penha no estado do Rio de Janeiro.** 102 f. Dissertação (Mestrado) Fundação Oswaldo Cruz, ENSP, 2000. Disponível em: <<http://portalteses.icict.fiocruz.br/pdf/FIOCRUZ/2000/chagaswfm/capa.pdf>>. Acesso em 24 set. 2015.

CHUEIRI, Wagner A. **Lodo de esgoto alcalino e fertilizante: efeitos sobre a química do solo e plantas de trigo.** 71 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/28050/D%20-%20WAGNER%20ANTONIO%20CHUEIRI.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

CORAUCCI FILHO, Bruno; ANDRADE NETO, Cícero O.; KATO, Mario T.; CARTAXO, Mauro F. S.; FIGUEIREDO, Roberto F.; STEFANUTTI, Ronaldo; SILVA, Vicente P. Disposição no solo. In: GONÇALVES, Ricardo. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 438p. p.337 - 387.

COSTA, André M. Saúde pública e saneamento: resistências e possibilidades intersetoriais no contexto da Lei Nacional do Saneamento Básico. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de Saneamento Básico.** Brasília: Editora, 2009. 193p. p.347-356.

COSTA, Silvano S.; HELLER, Léo; BRANDAO, Cristina C. S.; COLOSIMO, Enrico A. Indicadores epidemiológicos aplicáveis a estudos sobre a associação entre saneamento e saúde de base municipal. **Eng. Sanit. Ambient**, Rio de Janeiro v.10 n.2, p. 118-127, abr.- jun., 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522005000200005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000200005)>. Acesso em: 28 dez. 2016.

DAVID, Airton C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio.** 151 f. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-30042003-131628/pt-br.php>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

DYNIA, José F.; BOEIRA, Rita C.; SOUZA, Manoel D. Nitrato no perfil de um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho sob aplicações sequenciais de lodo de esgoto. In: BETTIOL, Wagner.; CAMARGO, Otávio A. (Editores Técnicos). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p. p. 79-90.

DUTRA, Arnaldo L. A Lei 11.445/2007 e as perspectivas dos prestadores municipais. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Prestação dos serviços públicos de Saneamento Básico.** Brasília: Editora, 2009. 277p. p.571-581.

FERNANDES, Fernando; SOUZA, Silvia G. Estabilização de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p. p. 28-55.

FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V. Destino final do lodo. In: LARA, Aderlene I.; FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V.; PEGORINI, Eduardo S.; IHLENFELD, Ricardo G. K. (Org.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999a. 98p. p. 18-20.

FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V. Produção e características dos bio sólidos. In: LARA, Aderlene I.; FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V.; PEGORINI, Eduardo S.; IHLENFELD, Ricardo G. K. (Org.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999b. 98p. p. 08-17.

FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V. Riscos associados ao uso de lodo de esgoto. In: LARA, Aderlene I.; FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V.; PEGORINI, Eduardo S.; IHLENFELD, Ricardo G. K. (Org.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999c. 98p. p. 21-26.

FIGUEIREDO, Priscila G; TANAMATI, Fábio Y. Adubação orgânica e contaminação ambiental. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. Mossoró-RN, v.5, n.3, p. 01–04, jul.-set. 2010. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/298/298>>. Acesso em: 23 fev. 2017.

FRANCISCO BELTRÃO (Município). Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão. **Dados fornecidos pela prefeitura**. 2016.

GALVAO JUNIOR, Alceu C.; TUROLLA, Frederico A.; PAGARINI, Wanderley S. Viabilidade da regulação subnacional dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário sob a Lei 11.445/2007. **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, v.13 n.2, p. 134-143, abr.-jun., 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522008000200003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522008000200003)>. Acesso: 30 dez. 2016.

GONÇALVES, Ricardo F.; LUDUVICE, Maurício; LIMA, Márcia R. P.; RAMALDES, Dalton L. C.; FERREIRA, Andréia C.; TELES, Claudia R.; ANDREOLI, Cleverson V. Desidratação de Lodo de Esgotos. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p. p. 57-86.

GONÇALVES, Ricardo F.; JORDÃO, Eduardo P.; ALÉM SOBRINHO, Pedro. Introdução. In: GONÇALVES, Ricardo F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. 438p. p. 01-26.

GOMES, Ivan H.; BERNADINO, Uliane B. **Estudo comparativo da produção de lodo das estações de tratamento de esgoto de Mulembá e Vale Encantado e avaliação dos custos com sua disposição**. 2013. 74 f. Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Faculdades Integradas Espírito-santenses. Vitória, 2013.

GUERRA, Amanda E. Qualidade e eficiência dos serviços de saneamento. In: **Atlas de saneamento 2011**. IBGE; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Ministério das Cidades. Rio de Janeiro, 2011.

IBGE- **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=410840&search=parana|francisco-beltrao>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

IHLENFELD, Rodrigo G. K. Higienização do lodo de esgoto. In: LARA, Aderlene I.; FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V.; PEGORINI, Eduardo S.; IHLENFELD, Ricardo G. K. (Org.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999. 98p. p. 27-40.

INGUNZA, Maria D. P. D; ANDREOLI, Cleverson V.; NASCIMENTO, Rubens M.; TINOCO, Juliana. D.; HOPPEN, Cinthya; PEGORINI, Eduardo S. Uso de Resíduos do Saneamento na Fabricação de Cerâmica Vermelha. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p. p. 283 - 359.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno estatístico do município de Francisco Beltrão**. Setembro de 2017. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85600>>. Acesso em: 20 set. 2017.

KRONEMBERGER, Denise M. P.; PEREIRA, Rodrigo S.; FREITAS, Elpidio A. V.; SCARELLO, José A.; CLEVELARIO JUNIOR, Judicael. Saneamento e meio ambiente. In: **Atlas de saneamento 2011**. IBGE; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão; Ministério das Cidades. Rio de Janeiro, 2011.

LARA, Fernando L. Cidades na era Lula: o lento abandono dos processos participativos. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, Brasil, n. 58, p. 245-262, jun. 2014. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/rieb/article/view/82399> >. Acesso em: 22 dez. 2016.

LISBOA, Severina S.; HELLER, Léo; SILVEIRA, Rogério B. Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores. **Eng. Sanit. Ambient. [online]**, v.18, n.4, p.341-348, out.-dez., 2013. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522013000400341&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522013000400341&script=sci_abstract&lng=pt)>. Acesso em: 22 dez. 2016.

MARINHO, Nyedja S. Participação do Setor Privado na provisão dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no Brasil: estágio atual e desafios da Lei 11.445/07. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Prestação dos serviços públicos de Saneamento Básico**. Brasília: Editora, 2009. 277p. p.600-611.

MIKI, Marcelo K.; ALÉM SOBRINHO, Pedro; VAN HAANDEL, Adrianus C. Tratamento da Fase Sólida em Estações de Tratamento de Esgotos – Condicionamento, Desaguamento Mecanizado e Secagem Térmica do Lodo. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p. p. 49-107.

MIRANDA, Ernani C. Do SNIS ao Snisa: a evolução do monitoramento e da avaliação de políticas públicas de Saneamento Básico no Brasil. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de Saneamento Básico**. Brasília: Editora, 2009. 239p. p.219-227.

MONTENEGRO, Marcos H. F. Potencialidade da regionalização da gestão dos serviços públicos de Saneamento Básico. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de Saneamento Básico**. Brasília: Editora, 2009. 239p. p.147-162.

MORAES, Luiz R. S. Política e Plano Municipal de Saneamento Básico: aportes conceituais e metodológicos. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de Saneamento Básico**. Brasília: Editora, 2009. 239p. p.33-53.

MURTHA, Ney A.; CASTRO, José E.; HELLER, Léo. Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil. **Ambient. soc. [online]**, São Paulo, v.18, n.3, p.193-210, jul.-set., 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2015000300012&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2015000300012&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 30 dez. 2016.

OLIVEIRA FILHO, Abelardo. O papel dos estados e as perspectivas das companhias estaduais de Saneamento Básico frente ao novo contexto institucional. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Prestação dos serviços públicos de Saneamento Básico**. Brasília: Editora, 2009. 277p. p.543-555.

ONOFRE, Sideney B.; ABATTI, Dirceu; TESSARO, Amarildo A. Propriedades físico-químicas e microbiológicas do lodo de esgoto produzido pela estação de tratamento de esgoto (ETE) de Toledo –Paraná – Brasil. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, VI, 2015, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2015. p. 01-06.

PARANÁ (Estado). Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). **Dados fornecidos pela SANEPAR**. 2016.

PARANÁ (Estado). Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). **Dados fornecidos pela SANEPAR**. 2017.

PARANÁ. **Resolução SEMA nº 001 de 11 de janeiro de 2007**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento, 2007. Disponível em: <

[http://ambienteduran.eng.br/system/files/publicador/LEGISLACAO/ESTADUAL/RESOLUCAO\\_SEMA\\_01\\_2007.pdf](http://ambienteduran.eng.br/system/files/publicador/LEGISLACAO/ESTADUAL/RESOLUCAO_SEMA_01_2007.pdf)>. Acesso em 18 jan. 2017.

PARANÁ. **Resolução SEMA nº 021 de 2009**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento, 2009. Disponível em: <[http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao\\_ambiental/Legislacao\\_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO\\_SEMA\\_21\\_2009\\_LICENCIAMENTO\\_PADROES\\_AMBIENTAIS\\_SANEAMENTO.pdf](http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_21_2009_LICENCIAMENTO_PADROES_AMBIENTAIS_SANEAMENTO.pdf)>. Acesso em: 18 jan. 2017.

PAULA JUNIOR, Durval R.; MORAES, Luciana M.; CHERNICHARO, Carlos A. L.; PONTES, Patrícia P.; CASSINI, Sérgio T.; GOLNÇALVES, Ricardo F.; BELLI FILHO, Paulo; SOARES, Hugo M. Estabilização Anaeróbia de Lodos. In: CASSINI, Sérgio T. (Coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003. 210p. p. 53-93.

PEDROZA, Eduardo C. L.; MOREIRA, Eudes A.; CAVALCANTI, Paula F. F.; ALÉM SOBRINHO, Pedro; ANDREOLI, Cleverson V.; VAN HAANDEL, Adrianus. Aplicação de Leitões para Secagem de Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Esgoto. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p. p. 109 -158.

PEGORINI, Eduardo S.; ANDREOLI, Cleverson V. Introdução. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p. p. 01-06.

PEIXOTO, João B. Sustentabilidade econômica e remuneração da prestação dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário: regulação econômica e fontes de financiamento. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Prestação dos serviços públicos de Saneamento Básico**. Brasília: Editora, 2009. 277p. p.497-505.

PERTEL, Monica; AZEVEDO, José P. S.; VOLSCHAN JUNIOR, Isaac. Uso de indicadores de perdas para seleção de um benchmarking entre as companhias estaduais de serviço de distribuição de água no Brasil. **Eng. sanit. ambient.** Rio de Janeiro, v. 21, n.1, p. 159-168, jan.-mar., 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522016000100159&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000100159&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 03 abr. 2017.

PESSÔA, Vera L. S.; CANDIOTTO, Luciano Z. P. **Manual de normas para elaboração de trabalhos científicos**. Uberlândia, 2016.

PRADO, Tatiana; MIAGOSTOVICH, Marize P. Virologia ambiental e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa. **Cad. Saúde Pública [online]**, Rio de Janeiro, v.30, n.7, p.1367-1378, jul., 2014. Disponível: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2014000701367&script=sci\\_abstract&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2014000701367&script=sci_abstract&lng=pt)>. Acesso em: 30 dez. 2016.

QUINTANA, Núria R. G.; CARMO, Maristela S.; MELO, Wanderley J. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Revista**

**Científica da Fundação Educacional Ituverava.** v.8, n.1, p. 183-192, abr., 2011. Disponível em: <<http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/527>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

REZENDE, Sonaly; WAJNMAN, Simoni; CARVALHO, José A. M.; HELLER, Léo. Integrando oferta e demanda de serviços de saneamento: análise hierárquica do panorama urbano brasileiro no ano 2000. **Eng. sanit. ambient.**, Rio de Janeiro, v.12, n. 1, p.90-101, jan.-mar., 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522007000100011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522007000100011)>. Acesso em 02 jan. 2017.

ROOKE, Juliana M. S.; RIBEIRO, Júlia W. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** Trabalho de conclusão de curso (Especialização em análise ambiental). 36 f. Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-SaneamentoeSa%C3%BAde.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2016.

SALLES, Maria J.; MELAMED, Clarice. Sistemas de informação em Saneamento Básico no Brasil: década de 1990 aos anos 2000. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de Saneamento Básico.** Brasília: Editora, 2009. 239p. p.205-218.

SAIANI, Carlos C. S.; TONETO JUNIOR, Rudinei; DOURADO, Juscelino A. Déficit de acesso a serviços de saneamento ambiental: evidências de uma Curva Ambiental de Kuznets para o caso dos municípios brasileiros?. **Econ. soc. [online]**, Campinas, v.22, n.3, p.791-824, dez. 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-06182013000300008&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-06182013000300008&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 22 dez. 2016.

SAMPAIO, Thalita F.; GUERRINI, Iraê A.; BACKES, Clarice; HELIODORO, Julia C. A.; RONCHI, Helena S.; TANGANELLI, Kaliana M.; CARVALHO, Nayara C.; OLIVEIRA, Fernando C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo.** Viçosa, v.36, n.5, p. 1637-1645, out.-nov., 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832012000500028](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000500028)>. Acesso em: 21 fev. 2017.

SANTOS, Johnny F. O saneamento como instrumento de promoção da saúde. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de Saneamento Básico.** Brasília: Editora, 2009. 193p. p.357-366.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Construindo um novo ciclo com base na ação integrada do governo federal. In: CORDEIRO, B. S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Prestação dos serviços públicos de Saneamento Básico.** Brasília: Editora, 2009. 277p. p.699-711.

SILVA, Ana M. R. B. **Caracterização e avaliação do potencial de uso de lodos de estações de tratamento de esgoto doméstico da região metropolitana de Recife**. 249 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5861>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

SILVEIRA, Rogério B.; HELLER, Léo; REZENDE, Sonaly. Identificando correntes teóricas de planejamento: uma avaliação do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v.47 n.3, p. 601-622, mai.-jun., 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-76122013000300004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122013000300004)>. Acesso em: 28 dez. 2016.

SOUSA, Ana C. A.; COSTA, Nilson R. Incerteza e dissenso: os limites institucionais da política de saneamento brasileira. **Rev. Adm. Pública**, Rio de Janeiro, v.47 n.3, p. 587-599, mai.-jun., 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-76122013000300003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122013000300003)>. Acesso em: 28 dez. 2016.

SOUZA, Cezarina M. N.; FREITAS, Carlos M. Discursos de usuários sobre uma intervenção em saneamento: uma análise na ótica da promoção da Saúde e da prevenção de doenças. **Eng. Sanit. Ambient**, Rio de Janeiro, v.14 n.1, p. 59-68, jan.-mar., 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522009000100007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522009000100007)>. Acesso em: 27 dez. 2016.

SOUZA, Cezarina M. N.; FREITAS, Carlos M.; MORAES, Luiz R. S. Discursos sobre a relação saneamento-saúde-ambiente na Legislação: uma análise de conceitos e diretrizes. **Eng. Sanit. Ambient**. Rio de Janeiro, v.12 n.4, p. 371-379, out.-dez., 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522007000400003](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522007000400003)>. Acesso em: 27 dez. 2016.

TEIXEIRA, Júlio C.; GOMES, Maria H. R.; SOUZA, Janaina A. Associação entre cobertura por serviços de saneamento e indicadores epidemiológicos nos países da América Latina: estudo com dados secundários. **Revista Panamericana Salud Publica**, Washington, v.32 n.6, p. 419-425, dez., 2012. Disponível em: <[http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1020-49892012001400005](http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892012001400005)>. Acesso em: 20 dez. 2016.

TEIXEIRA, Júlio C.; OLIVEIRA, Guilherme S.; VIALI, Amanda M.; MUNIZ, Samuel S. Study of the impact of deficiencies of sanitation on public health in Brazil from 2001 to 2009. **Eng. Sanit. Ambient. [online]**. v.19, n.1, p.87-96, jan.-mar., 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522014000100087&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522014000100087&script=sci_abstract)>. Acesso em: 27 dez. 2016.

TEIXEIRA, Júlio C.; PUNGIRUM, Marcelo E. M. C. Análise da associação entre saneamento e saúde nos países da América Latina e do Caribe, empregando dados secundários do banco de dados da Organização Pan-Americana de Saúde – OPAS.

**Revista Brasileira Epidemiologia**, v.8, n.4, p. 365-76, 2005. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/rbepid/v8n4/03.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

TSUTIYA, Milton T. Tecnologias emergentes para a disposição final de bio-sólidos das estações de tratamento de esgotos. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 20º. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: ABES, 1999, p. 762-771.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 1993. 40 CFR Parts 257, 403 and 503. **Final rules: Standards for the use of sewage sludge**. Fed. Reg. v.58, n.32, p.9248-9415.

VAN HAANDEL, Adrianus; ALÉM SOBRINHO, Pedro. Produção, Composição e Constituição de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p. p. 07-28.

VAN HAANDEL, Adrianus; CAVALCANTI, Paula F. F. Geração e Composição de Lodo em Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários. In: ANDREOLI, Cleverson V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p. p. 03-27.

VON SPERLING, Tiago L.; VON SPERLING, Marcos. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.18 n.4, p. 313-322, out.-dez., 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522013000400313](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000400313)>. Acesso em: 29 dez.2016.

WARTCHOW, Dieter. Serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário: compromisso com a universalização e a qualidade. In: CORDEIRO, Berenice S. (Coord.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos. Conceitos, características e interfaces dos serviços públicos de Saneamento Básico**. Brasília: Editora, 2009. 193p. p.271-283.

ZEITOUNI, Rafael F. **Análise crítica da Norma CETESB P 4.230 – “Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação”**. 211 f. Dissertação (Mestrado) Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2005.

## APÊNDICE A

Roteiro para levantamento de informações destinado à SANEPAR de Francisco Beltrão – PR.

1. Qual a quantidade de lodo produzido mensalmente na ETE Marrecas?
2. A ETE Marrecas é uma estação de tratamento convencional de nível primário, secundário ou terciário?
3. Como ocorre o processo de higienização do lodo?
4. O processo de higienização do lodo foi o mesmo desde o início da adoção dessa prática? Se não, qual foi o histórico?
5. Qual classe pertence o lodo da ETE Marrecas, A ou B?
6. Quantos agricultores são beneficiados com o lodo da ETE Marrecas?
7. Quais os métodos de seleção dos beneficiados?
8. E se não houverem agricultores suficientes para a quantidade equivalente produzida, qual a alternativa posterior?
9. Desde quando há esta distribuição de lodo para ser utilizado na agricultura?
10. Em qual Legislação a SANEPAR está embasada no que se refere a uso do lodo na agricultura?
11. São realizadas análises nas propriedades selecionadas após a aplicação do lodo no solo agrícola como forma de monitoramento?

12. Quais as dificuldades encontradas na destinação do lodo para fins agricultáveis?
13. Quando e porque começou a política de destinação do lodo? A preocupação com a destinação do lodo se iniciou por força de Lei, política pública, iniciativa da Sanepar ou por exigência de algum órgão ambiental?

## APÊNDICE B

Roteiro para levantamento de informações aos agricultores que receberam o lodo de esgoto da SANEPAR de Francisco Beltrão – PR.

1. Como ficou sabendo da distribuição do lodo, a SANEPAR o procurou ou você procurou a SANEPAR?
2. Para qual cultura você utiliza o lodo de esgoto como fertilizante agrícola? Há quanto tempo?
3. Você recebe orientação em quais culturas pode ser utilizado o lodo como fertilizante agrícola?
4. Você tem conhecimento da Legislação para utilização do lodo de esgoto?
5. São realizadas análises de monitoramento após a aplicação do lodo no solo? Quem é responsável pelas análises? Quais os resultados delas?
6. Você observou melhora na sua produção após a aplicação do lodo? Se sim, quais foram elas?
7. Qual foi o fator decisivo para que optasse pelo uso do lodo em sua propriedade?
8. Você acredita que utilizar o lodo de esgoto na agricultura traz ganhos para o meio ambiente? Se sim, quais?