

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO “STRICTO SENSU” EM ENGENHARIA
QUÍMICA - NÍVEL DE MESTRADO

**TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL**

DIANI FERNANDA DA SILVA

Toledo - PR - Brasil

Fevereiro de 2014

DIANI FERNANDA DA SILVA

**TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE
EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração em Monitoramento e controle ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Freddy Mendoza Morejon

Toledo - PR - Brasil

Fevereiro de 2014

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Luiz e Marilde, pelo incentivo constante
e por ensinar que o conhecimento é a maior riqueza
e o maior legado que o ser humano pode ter.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força, proteção e perseverança.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional, incentivo, compreensão e paciência durante toda minha vida e principalmente no período do mestrado.

À Felipe, pelo companheirismo, incentivo, cumplicidade e confiança durante o decorrer desses dois anos.

Ao Professor Dr. Camilo Freddy Mendoza Morejon pela dedicação na orientação, confiança para a realização deste trabalho e pela grande contribuição à minha formação profissional.

A CAPES pela bolsa de mestrado.

Ao programa de pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade.

Aos professores do programa que contribuíram para a realização desse sonho, os mais sinceros agradecimentos.

Aos alunos de IC (Luis, Marciano e Jeferson) e o mestrando Andy pela grande colaboração na execução dos experimentos e confecção dos desenhos técnicos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2 OBJETIVOS	4
CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. PANORAMA ATUAL DAS CONDIÇÕES DO SANEAMENTO RURAL NO BRASIL	5
2.1.1. Abastecimento de Água	17
2.1.2. Esgotamento Sanitário	11
2.1.3. Resíduos Sólidos	14
2.2. POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL NO MEIO RURAL	17
2.2.1. Poluição e contaminação do solo nas áreas rurais	18
2.2.2. Contaminação e poluição dos recursos hídricos nas áreas rurais	20
2.3. CORRELAÇÕES PARA A ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL	24
2.4. CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL	26
2.4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS	26
2.4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS	28
2.4.2.1 Caracterização dos efluentes provenientes do vaso sanitário	31
2.4.2.2 Caracterização dos efluentes gerados na pia da cozinha	33
2.5. ESTADO DA ARTE DOS MÉTODOS, PROCESSOS E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL	34
2.5.1. Fossas ou tanques sépticos	34
2.5.1.1. Disposição final do efluente líquido proveniente da fossa séptica	35

2.5.2. Fossa séptica biodigestora	39
2.5.3. Fossa seca	40
2.5.4. Fossa seca com câmara de fermentação	42
2.5.5. Fossa seca estanque	43
2.5.6. Fossa negra	43
2.5.7. Disposição direta no solo/valas ou em cursos d'água	44
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA FONTE GERADORA DE EFLUENTES DOMÉSTICOS (RESIDÊNCIAS DA ÁREA RURAL)	46
3.1.1. Diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos no estado do Paraná	46
3.1.2. Diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos no município de Toledo/PR	47
3.2. CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL	49
3.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MÉTODOS/PROCESSOS/TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS UTILIZADAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL	49
3.3.1. Análise dos métodos/processos/tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos provenientes da pia da cozinha	50
3.3.2. Análise dos métodos/processos/tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário	51
3.4. PROJETO/DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO E DA TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS RURAIS PROVENIENTES DO VASO SANITÁRIO E DA PIA DA COZINHA	52
3.4.1. Projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes do vaso sanitário	53
3.4.1.1. Identificação das soluções para as limitações e gargalos técnicos das tecnologias convencionais de tratamento de efluentes do vaso sanitário	53
3.4.1.2. Análise das características qualitativas e quantitativas dos efluentes domésticos do vaso sanitário	55

3.4.1.3. Sistematização das informações no desenho do projeto	54
3.4.1.4. Testes laboratoriais para avaliar a implantação das inovações incrementais ou radicais	54
3.4.2. Projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes da pia da cozinha	56
3.4.2.1. Identificação das soluções para as limitações e gargalos técnicos das tecnologias convencionais de tratamento de efluentes da pia da cozinha	59
3.4.2.2. Análise das características qualitativas e quantitativas dos efluentes domésticos da pia da cozinha	59
3.4.2.3. Sistematização das informações no desenho do projeto	59
3.5. CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DA TECNOLOGIA ALTERNATIVA (PROTÓTIPO) EM DIVERSAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO	60
3.6. ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA	60
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA FONTE GERADORA DE EFLUENTES DOMÉSTICOS (RESIDÊNCIAS DA ÁREA RURAL)	62
4.1.1. Diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos no estado do Paraná	62
4.1.2. Diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos no município de Toledo/PR	69
4.2. CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS DAS ÁREAS RURAIS	76
4.2.1. Caracterização dos efluentes provenientes do vaso sanitário	79
4.2.2. Caracterização dos efluentes gerados na pia da cozinha	83
4.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MÉTODOS/PROCESSOS/ TECNOLOGIAS UTILIZADAS NO TRATAMENTO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL	85
4.3.1. Análise dos métodos/processos/tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos provenientes da pia da cozinha	85
4.3.2. Análise dos métodos/processos/tecnologias convencionais para o	93

tratamento de efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário	
4.4. MÉTODO/TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL	94
4.4.1. Projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes do vaso sanitário	96
4.4.1.1. Sistematização das informações obtidas para o desenvolvimento da tecnologia alternativa de tratamento de efluentes do vaso sanitário	96
4.4.1.2 Testes laboratoriais para avaliar a implantação das inovações incrementais ou radicais	100
4.4.2. Projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes da pia da cozinha	104
4.5. CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DA TECNOLOGIA ALTERNATIVA	105
CAPÍTULO V- CONCLUSÃO	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução da população urbana e rural brasileira.	6
Figura 2. Número de habitantes (milhões) residentes nas zonas rurais e urbanas por região do Brasil.	6
Figura 3. Distribuição dos domicílios rurais do Brasil em extrema pobreza.	7
Figura 4. Abastecimento de água por domicílios na área rural e urbana do Brasil.	8
Figura 5. Cobertura com redes de distribuição de água nos domicílios rurais por região geográfica do Brasil.	9
Figura 6. Domicílios rurais ligados à rede de abastecimento de água por estado brasileiro.	10
Figura 7. Comparação entre a cobertura com rede de distribuição e contribuição de poços e/ou nascentes e redes de distribuição para o abastecimento de água nos domicílios rurais pertencentes as cinco regiões brasileiras.	11
Figura 8. Métodos de tratamento e disposição final dos efluentes domésticos gerados nas residências das áreas rurais do Brasil.	13
Figura 9. Métodos de disposição e/ou tratamento do esgoto doméstico nas áreas rurais por região do Brasil.	14
Figura 10. Coleta/destino dos resíduos sólidos (coleta direta, indireta, outro destino) na área rural das cinco regiões brasileiras.	15
Figura 11. Porcentagem de coleta de resíduos sólidos na área urbana e rural, no ano de 2000 segundo as cinco regiões do Brasil.	15
Figura 12. Porcentagem de coleta de resíduos sólidos na área urbana e rural, no ano de 2010 segundo as cinco regiões do Brasil.	16
Figura 13. Proporção de municípios com ocorrência de contaminação de solo, segundo as Grandes Regiões.	18
Figura 14. Disseminação de bactérias no solo.	19
Figura 15. Disseminação de bactérias nas águas subterrâneas.	21
Figura 16. Correlação entre o consumo comum de uma família e a geração de resíduos domésticos.	25
Figura 17. Classificação das águas servidas.	37
Figura 18. Esquema de funcionamento de uma fossa séptica.	35
Figura 19. Desenho esquemático de um sumidouro.	36

Figura 20. Desenho esquemático de uma vala de infiltração.	37
Figura 21. Desenho esquemático de uma vala de filtração.	37
Figura 22. Esquema do sistema de tratamento por fossa séptica biodigestor.	40
Figura 23. Esquema de construção da fossa seca.	41
Figura 24. Esquema fossa seca com câmara de fermentação.	42
Figura 25. A. Fossa rudimentar mostrada em um contexto ambiental. B. Esquema de uma fossa rudimentar.	43
Figura 26. Disposição de esgoto no solo e/ou valas.	44
Figura 27. Disposição do esgoto doméstico em cursos d'água.	44
Figura 28. Esquema geral do método alternativo para tratamentos dos efluentes domésticos da área rural.	52
Figura 29. Experimento para definição do tempo de residência dos dejetos no reator.	56
Figura 30. Cartela e incubadora do método de análise bacteriológica Kit Colilert.	58
Figura 31. Mapa hidrográfico do estado do Paraná	62
Figura 32. Contribuição percentual do número de habitantes da área rural em cada bacia hidrográfica do estado do Paraná.	63
Figura 33 Contribuição percentual de cada bacia hidrográfica no número de domicílios da área rural do estado do Paraná.	64
Figura 34. Estimativa do consumo de água para uso doméstico nas 14 bacias hidrográficas do estado do Paraná.	65
Figura 35. Estimativa de geração de efluentes domésticos nas 14 bacias hidrográficas do estado do Paraná.	66
Figura 36. Percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto nas cinco regiões do Brasil.	66
Figura 37. Percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto nos estados da região sul do Brasil.	67
Figura 38. Percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto e fossa séptica nas cinco regiões do Brasil.	68
Figura 39. Percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto e fossa séptica na região sul do Brasil.	68
Figura 40. Contribuição mensal dos distritos administrativos do município de	

Toledo/PR no que se refere ao consumo de água e produção de efluentes domésticos através do descarte de óleo, pia da cozinha, chuveiro, vaso sanitário e lavanderia.	72
Figura 41. Contribuição mensal da área urbana do município de Toledo/PR no que se refere ao consumo de água e produção de efluentes domésticos através do descarte de óleo, pia da cozinha, chuveiro, vaso sanitário e lavanderia.	73
Figura 42 Gráfico comparativo sobre o consumo de água e produção de efluentes domésticos entre a área urbana e os distritos de Toledo/PR.	74
Figura 43. Mapa temático do município de Toledo identificando a tendência de ocupação dos domicílios nas proximidades dos cursos d'água (Rio Toledo, Rio São Francisco e seus afluentes).	75
Figura 44. Fontes de geração de efluentes domésticos dentro de uma residência.	76
Figura 45. Composição do esgoto doméstico.	77
Figura 46. Concentração de sólidos e demanda química e bioquímica de oxigênio no esgoto doméstico.	78
Figura 47. Caracterização qualitativa do esgoto doméstico.	78
Figura 48. Elementos de entrada e saída do vaso sanitário.	79
Figura 49. Comparação entre as concentrações de DBO e DQO obtidas por diferentes autores.	80
Figura 50. Concentrações de DQO, DBO e turbidez constatadas nas fezes.	80
Figura 51. Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio obtidas na análises das fezes.	81
Figura 52. Cargas de NTK, fósforo, DBO e DQO presentes na urina.	82
Figura 53. Cargas de NTK, fósforo, DBO e DQO presentes no esgoto doméstico.	82
Figura 54. Cargas diárias de uréia, cloreto de sódio e fosfato presentes na urina.	83
Figura 55. Elementos de entrada e saída da pia da cozinha.	83
Figura 56. Valores de pH, fósforo total, nitrito e nitrato obtidos nos estudos de Bazzarella (2006) e Pizzatto (2012).	84
Figura 57. Caracterização do efluente da pia da cozinha realizada por Bazzarella (2006) e Pizzatto (2012).	84
Figura 58. Caixa de gordura pré-fabricada com dimensões propostas pela NBR 8160/1999.	85
Figura 69. Esquema operacional do experimento para avaliação das eficiências	

das caixas de gordura.	86
Figura 60. Valores de retenção (%) de sólidos particulados pelas caixas de gordura A, B e C empregando a velocidade 3 (0,0172 m s ⁻¹).	87
Figura 61. Valores de retenção (%) de óleo/gordura pelas caixas de gordura A, B e C empregando a velocidade 1 (0,0046 m s ⁻¹), nos períodos de 2, 8 e 16 minutos	90
Figura 62. Valores de retenção (%) de óleo/gordura pelas caixas de gordura A, B e C empregando a velocidade 2 (0,00714 m s ⁻¹), nos períodos de 2, 8 e 16 minutos.	91
Figura 63. Valores de retenção (%) de óleo/gordura pelas caixas de gordura A, B e C empregando a velocidade 3 (0,0172 m s ⁻¹), nos períodos de 2, 8 e 16 minutos	92
Figura 64. Esquema tridimensional do método alternativo para tratamentos dos efluentes domésticos da área rural.	95
Figura 65. Esquema tridimensional do separador de dejetos do vaso sanitário.	97
Figura 66. Esquema tridimensional do método desenvolvido para o tratamento dos efluentes do vaso sanitário.	99
Figura 67. Módulo experimental desenvolvido para a definição dos parâmetros operacionais do biorreator.	100
Figura 68. Reator 4 após decorridos 30 dias do início do experimento.	101
Figura 69. Reator 1 após decorridos 30 do início do experimento.	101
Figura 70. Reatores 2 e 3 após decorridos 30 dias do início do experimento.	102
Figura 71. Ângulo de repouso utilizado para instalação do separador.	103
Figura 72. Esquema tridimensional caixa de gordura desenvolvida para o tratamento dos efluentes domésticos da pia da cozinha.	103
Figura 73. Protótipo do separador de efluentes do vaso sanitário.	105
Figura 74. Protótipo do biorreator tubular para tratamento das fezes humanas.	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Abastecimento de água por domicílios na área rural e urbana do Brasil.	8
Tabela 2. Métodos de tratamento ou disposição final dos efluentes domésticos, utilizados nas áreas rurais do Brasil.	13
Tabela 3. Doenças relacionadas à disposição inadequada de dejetos.	22
Tabela 4. Composição simplificada dos esgotos domésticos.	28
Tabela 5. Avaliação geral da composição dos esgotos domésticos.	29
Tabela 6. Caracterização física, química e microbiológica dos efluentes proveniente do vaso sanitário e somente da urina.	33
Tabela 7. Eficiência das fossas sépticas.	38
Tabela 8. Valores utilizados para o cálculo das variáveis contidas na Tabela 9.	70
Tabela 9. Volume (m ³ mês ⁻¹) de efluentes domésticos gerados em cada fonte de descarte das residências pertencentes às unidades distritais e área urbana do município de Toledo/Pr.	70
Tabela 10. Microrganismos presentes nos esgotos domésticos.	77
Tabela 11. Caracterização da urina e do esgoto sanitário.	81
Tabela 12. Resultados de retenção de material particulado (SP) nas caixas de gordura analisadas no experimento.	87
Tabela 13. Resultados de retenção de óleo e gordura pelas caixas de gordura analisadas no experimento.	89

LISTA DE ABREVIATURAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV's – Ácidos Graxos Voláteis
CEPAS - Centro de Estudos de Promoção em Alternativas de Saúde
CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
E. coli - Escherichia coli
ECOSAN - Saneamento Ecológico
ETE - Estação de Tratamento de Esgoto
FBB - Fundação Banco do Brasil
FUNASA - Fundação Nacional de Saúde
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPI - Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
PIB - Produto Interno Bruto Brasileiro
PNAD - Pesquisa Nacional Por Amostra de Domicílios
PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NBR - Norma Brasileira de Regulamentação
NMP - Número mais provável
NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl
SEMA – Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SP – Sólidos Particulados
SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
SST - Sólidos Suspensos Totais
ST - Sólidos Totais
UFC - Unidades Formadoras de Colônia
UFES - Universidade Federal do Espírito Santo
UV-VIS – Ultravioleta e Visível

SILVA, D. F. **Tecnologia alternativa para tratamento dos efluentes domésticos da área rural**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

RESUMO

A ausência no uso de sistemas de tratamento de efluentes domésticos na área rural promove frequentes casos de contaminação do solo e dos recursos hídricos, bem como contribui com a disseminação de doenças entre a população. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi o desenvolvimento/proposição de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes gerados no vaso sanitário e na pia da cozinha de residências da área rural. Para isso, realizou-se a caracterização da fonte geradora de efluentes domésticos por meio do diagnóstico da gestão dos efluentes doméstico no estado do Paraná e no município de Toledo; a caracterização quantitativa (volume diário e mensal) e qualitativa (parâmetros físicos, químicos e biológicos) dos efluentes domésticos; a avaliação do desempenho dos métodos, processos e tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos das áreas rurais; o projeto/desenvolvimento do método e da tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes domésticos rurais provenientes do vaso sanitário e da pia da cozinha; a construção, operação e monitoramento da tecnologia alternativa; e a análise de concordância. A partir dos resultados obtidos na primeira etapa, constatou-se que nas áreas rurais do estado do Paraná são gerados mais de 261 mil m³. dia⁻¹ de efluentes domésticos, na área rural da cidade de Toledo são produzidos 37410,8 m³ de esgoto doméstico mensalmente. Na etapa de avaliação dos métodos e tecnologias de tratamento, constatou-se a existência de limitações e gargalos técnicos nos equipamentos, prevalecendo à baixa eficiência no tratamento. Com base em estudos detalhados dos fundamentos físicos, químicos e biológicos e dos testes de bancada, foi desenvolvido o projeto da tecnologia alternativa contendo um separador de fezes e urina, um biorreator anaeróbico helicoidal de formato tubular para o tratamento das fezes. A operação do protótipo da tecnologia alternativa apresentou resultados satisfatórios quanto a segregação das fezes e da urina e a estabilização dos dejetos no reator foi completa em apenas 30 dias de tratamento originando um composto sem a presença de *E. coli* (<1 NMP g⁻¹).

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia alternativa; efluentes do vaso sanitário e da pia da cozinha; área rural.

SILVA, D. F. **Alternative technology for treatment of rural areas domestic sewage.** 2014. Dissertation (Master's Degree in Chemical Engineering) – Western Paraná State University.

ABSTRACT

The use absence of domestic systems for wastewater treatment promotes the frequent cases of soil and water resources contamination, and contributes to the spread of diseases in the population. Within this context, the work aimed the development/proposition a methodology and alternative technology for treatment domestic sewage of residences located in rural area, specifically for the treatment of effluents generated in the kitchen sink and the toilet bowl. For this, was performed the domestic effluents source characterization through the management diagnostic of domestic wastewater in Paraná state and the city of Toledo; domestic effluents qualitative (physical, chemical and biological parameters) and quantitative (daily and monthly volume) characterization; performance evaluation of the conventional methods, processes and technologies for treatment of rural areas domestic sewage; the method and the technology design/developing for the rural domestic sewage treatment from the toilet bowl and kitchen sink; the construction, operation and monitoring of alternative technology; and the agreement analysis. From the results obtained in the first step, it was found that in Paraná state rural areas are generated over 261 thousand $\text{m}^3 \text{ day}^{-1}$ of domestic sewage, in the city of Toledo rural area are produced 37,410.8 m^3 of domestic effluent monthly. In the evaluation step of treatment methods and technologies it was verified the existence of technical limitations and bottlenecks in the equipment, prevailing the low treatment efficiency. Based on detailed studies of the physical, chemical and biological fundamentals and testing bench, was developed the project of alternative technology containing a feces and urine separator; a helical anaerobic bioreactor with tubular shape for the feces. The technology alternative prototype operation showed satisfactory results with respect the feces and urine separation and the feces stabilization in the reactor was completed in just 30 days of treatment forming a residual without the *E. coli* presence ($<1 \text{ NMP g}^{-1}$).

KEYWORDS: Alternative technology; toilet bowl and kitchen sink effluents; rural areas.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1. GENERALIDADES

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD (2009), as áreas rurais brasileiras abrigam cerca de 30 milhões de pessoas em 8,8 milhões de domicílios. Quase a metade dessa população está distribuída em apenas cinco Estados (Bahia, Minas Gerais, Maranhão, Pará e Ceará). Esse número sobe para 72% do total, se forem considerados os estados de Pernambuco, São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná e Piauí.

Informações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (2012), revelam que na região sul e centro-oeste do Brasil, as atividades agropecuárias desenvolvidas no meio rural são o carro chefe da economia e, em nível nacional representam 22,3% do Produto Interno Bruto do país, com um faturamento anual de R\$ 822,9 bilhões de reais. Esse setor emprega ainda cerca de 30 milhões de pessoas.

Em meio ao cenário de próspero desenvolvimento e de relevância das áreas rurais para a economia brasileira, surge a preocupação ambiental conflitando diretamente com os interesses econômicos. Aliado a esse constante crescimento ganham evidência os impactos negativos, resultantes da ocupação desordenada e das atividades agropecuárias, causados ao solo, água e ar (MAIER, 2007).

No caso dos recursos hídricos evidencia-se o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado dos efluentes domésticos das áreas rurais, o qual tem comprometido e tornado insalubre as fontes de água para abastecimento das residências. Segundo PNAD (2009) 67,2% da população rural ainda faz a captação de água de chafarizes, poços (protegidos ou não) e de cursos d'água (sem nenhum tratamento), e que apenas 32,8% dos domicílios localizados nas áreas rurais brasileiras estão ligados a redes de abastecimento de água.

Mesmo com alguns avanços relacionados à proteção dos recursos hídricos, as condições do abastecimento e consumo de água das populações rurais permanecem desfavoráveis, pois ao analisar-se a situação do saneamento no Brasil, se pode afirmar que o modelo de atendimento, com sistemas de abastecimento de água e sistemas de esgotos

sanitários, centrado nas companhias estaduais, destina a maior atenção às áreas urbanas e a população rural fica desprovida desse atendimento (MORAES, 2012).

O cenário do saneamento rural brasileiro torna-se ainda mais alarmante no que se refere ao tratamento dos efluentes domésticos. Somente 25% dos domicílios rurais, possuem cobertura das redes coletoras de esgoto ou utilizam fossas sépticas como forma de tratamento e disposição final dos efluentes domésticos, o restante adota métodos inadequados sem prudência no descarte final desses efluentes. Na maioria dos casos, prevalece o lançamento em fossas rudimentares, valas e a disposição direta no solo ou nos corpos hídricos (FUNASA, 2012).

Segundo Silva & Nour (2005), pouca atenção se dá ao tratamento de efluentes domésticos das residências da área rural, pois embora individualmente não produzam quantidades elevadas de compostos poluidores, o volume acumulado e a proximidade dos recursos hídricos tornam esses efluentes uma fonte com elevado potencial de contaminação.

As consequências mais significativas da disposição inadequada dos efluentes domésticos, sem tratamento, no meio ambiente são os frequentes casos de contaminação do solo e/ou dos recursos hídricos, responsáveis pela disseminação de doenças como febre tifóide, disenteria, cólera, diarreia, hepatite, leptospirose e giardíase (MEHNERT, 2003; PERES *et al.*, 2010). A disposição de esgoto doméstico *in natura* é também a principal causa dos processos de eutrofização artificial de lagos e reservatórios. Tal processo promove a morte de peixes e demais espécies aquáticas o que compromete a qualidade ambiental dos corpos hídricos (ANGELINI *et al.*, 2008).

Segundo Villar (2010) os fatores que contribuem para a carência de sistemas adequados de tratamento e disposição final de efluentes domésticos, principalmente para o caso das residências da área rural, são: a) a dispersão física da população, que tende a dificultar a identificação das demandas específicas de cada comunidade a qual limita a implantação de sistemas coletivos de tratamento de efluentes domésticos; b) os grandes investimentos necessários para a implantação de sistemas de tratamento de efluentes domésticos coletivos (no caso das áreas rurais densamente povoadas como distritos e vilas rurais); c) a baixa qualificação das populações rurais mais humildes e isoladas que pelo desconhecimento utilizam métodos inadequados na gestão dos efluentes domésticos; e d) a ausência de tecnologias adaptadas às condições e características das residências da área rural.

O desenvolvimento de novos métodos, processos e tecnologias alternativas para o tratamento de efluentes domésticos, principalmente em pequenas localidades e/ou para sua implantação nas residências da área rural dos municípios brasileiros, deve considerar vários aspectos, sendo os principais a diversidade cultural, as características regionais e os fatores econômicos. Esse conjunto de fatores demanda uma estratégia particular de saneamento para cada comunidade e/ou para cada residência da área rural, pois são raças, origens étnicas, religiões, sistemas de produção, segmentos sociais e econômicos e também ecossistemas próprios que definem cada comunidade os quais terão influência na mobilização, na eficiência de implantação e na operação dos sistemas alternativos de tratamento (FUNASA, 2012).

Segundo Tonetti *et al.*, (2010), entre as opções de tratamento de efluentes domésticos das áreas rurais, destacam-se o uso de tanques sépticos, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios (para aproveitamento dos lodos digeridos como biofertilizante) entre outros (SILVA e NOUR, 2005). A viabilidade de tais métodos pode ser constatada pela vasta utilização em países europeus, tais como a Suécia, Finlândia, Noruega e Dinamarca, nos quais aproximadamente 2,7 milhões de residências as empregam. Entretanto, de acordo com Kristiansen (1981), Hamoda *et al.*, (2004) e Tonetti *al.*, (2010) a eficiência do tratamento dessas alternativas tecnológicas não é, até hoje, bem conhecida e comprovada.

Para Tonetti *et al.* (2010), apesar da grande facilidade de aplicação de tais técnicas, deve-se avaliar adequadamente as consequências que seu uso pode ocasionar, identificando e contornando os gargalos e limitações técnicas apresentadas, e consequentemente servindo como subsídio para o desenvolvimento de novas técnicas com aspectos construtivos e operacionais eficientes para o tratamento dos efluentes domésticos das residências da área rural.

Nesta perspectiva, evidencia-se a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento dos efluentes domésticos das residências da área rural, em sintonia com as características locais que demandam a implantação de sistemas individuais de tratamento visando promover a melhoria na qualidade de vida das populações e o desenvolvimento rural e regional sustentável em um ambiente saudável.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi o desenvolvimento de uma metodologia/tecnologia alternativa para o tratamento individual de efluentes domésticos das residências localizadas em áreas rurais e urbanas.

Especificamente objetivou-se o desenvolvimento de tecnologia para o tratamento de efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário e da pia da cozinha. Para essa finalidade, o trabalho contemplou a realização das seguintes metas:

1. Caracterizar a fonte geradora de efluentes domésticos (residências da área rural);
2. Caracterizar qualitativamente e quantitativamente os efluentes domésticos;
3. Avaliar o desempenho e identificar os gargalos tecnológicos, vantagens e desvantagens dos métodos, processos e tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos das áreas rurais;
4. Projetar e desenvolver uma tecnologia alternativa para o tratamento de efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário e da pia da cozinha das residências da área rural;
5. Construir, operar e monitorar a tecnologia alternativa (protótipo) em diversas condições de funcionamento; e
6. Análise de concordância.

CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão da literatura são abordados diversos temas relacionados com o escopo do trabalho, sendo eles: o panorama atual das condições do saneamento rural no Brasil, o qual contempla a pesquisa das condições da gestão do abastecimento de água, tratamento de efluentes domésticos e destinação dos resíduos sólidos; a evolução das pesquisas relacionadas com o potencial de poluição e contaminação dos recursos hídricos e do solo, decorrente do emprego de métodos inadequados e da carência de tratamento dos efluentes domésticos nas áreas rurais; as correlações disponíveis na literatura para a estimativa do potencial de geração de efluentes domésticos da área rural; a classificação e caracterização dos efluentes; e a pesquisa em torno dos métodos, processos e tecnologias disponíveis para o tratamento/disposição final de efluentes da área rural, ressaltando seus aspectos positivos e negativos em relação à eficiência de tratamento e viabilidade de implantação nessas localidades.

2.1. PANORAMA ATUAL DAS CONDIÇÕES DO SANEAMENTO RURAL NO BRASIL

A partir de 1970, a dinâmica populacional brasileira possui como tendência o aumento significativo da população urbana, frente à população rural, como pode ser visualizado na Figura 1. De acordo com o último censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), a taxa de urbanização média da população foi de 84,4%, indicando que o Brasil urbano é significativamente maior do que o Brasil rural.

No caso da taxa de urbanização por região, no Brasil, conforme pode ser visto na Figura 2, percebe-se que existem grandes diferenças no seu contingente populacional. Nas regiões Norte e Nordeste observa-se que o número de habitantes que ainda residem na zona rural é bastante expressivo, correspondendo a aproximadamente 30% da população total (IBGE, 2010).

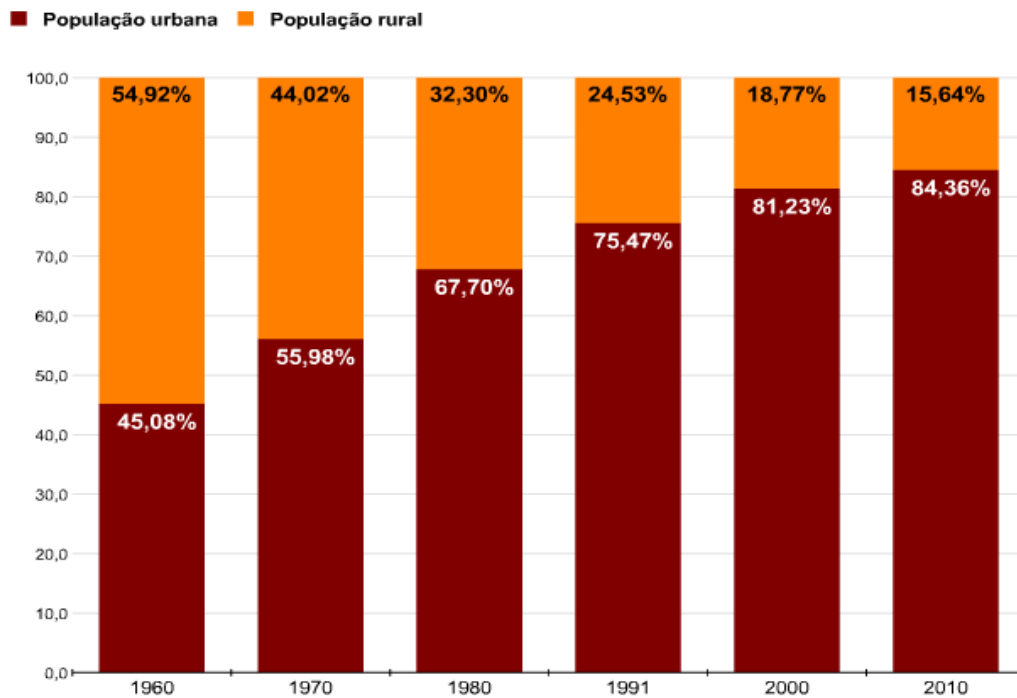


Figura 1. Evolução da população urbana e rural brasileira. Fonte: Folha de São Paulo, 2011.

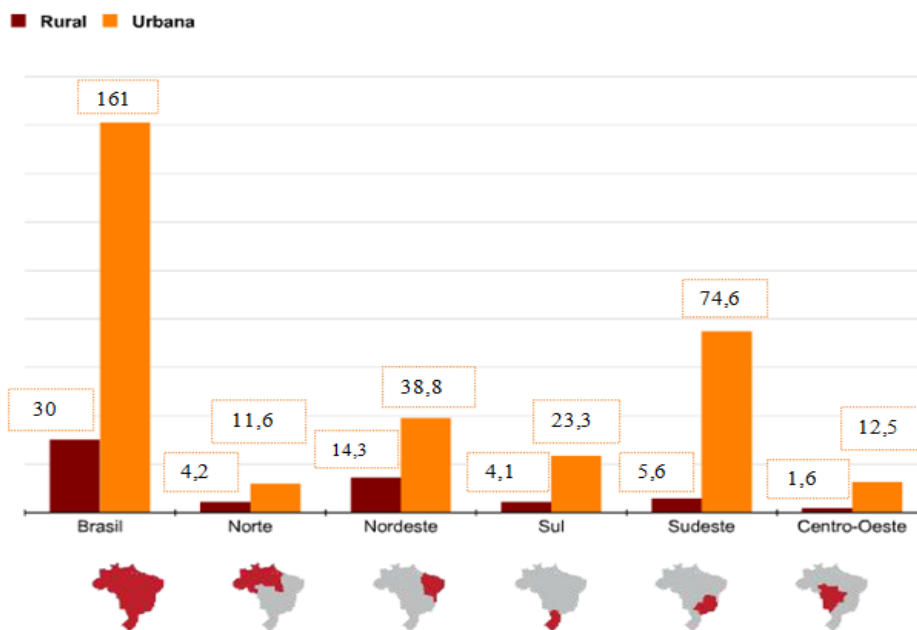


Figura 2. Número de habitantes (milhões) residentes nas zonas rurais e urbanas por região do Brasil. Fonte: IBGE (2010); Folha de São Paulo, 2011.

Dados do censo de 2010 (IBGE, 2010) apontam que metade da população brasileira que vive em condições de extrema pobreza encontra-se nas áreas rurais, correspondendo a cerca de 7,6 milhões de habitantes (25% da população rural). Ressalta-se que a linha de

extrema pobreza foi estabelecida em R\$ 70,00 per capita, considerando o rendimento nominal mensal domiciliar (FUNASA, 2012).

A Figura 3 apresenta a distribuição dos domicílios rurais em extrema pobreza por município. Observa-se a maior concentração nos estados do Norte e Nordeste do Brasil, especificamente nas regiões da calha do Rio Amazonas e no Semiárido.

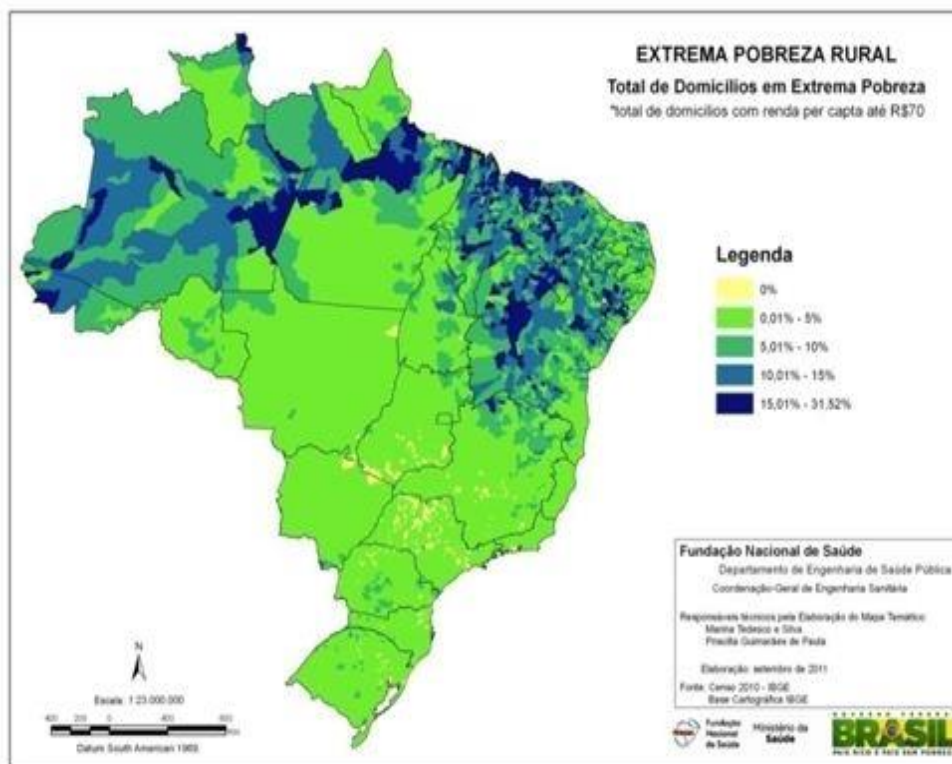


Figura 3. Distribuição dos domicílios rurais do Brasil em extrema pobreza. Fonte: Funasa, 2012.

2.1.1. Abastecimento de Água

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento –SNIS (2012) o consumo doméstico total de água, na área rural do Brasil, é aproximadamente $4,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água por dia, isso considerando um consumo médio de 150 L dia^{-1} de água por habitante.

Na Tabela 1 apresenta-se a porcentagem de domicílios, da área urbana e rural do Brasil, que são ligados às redes de distribuição ou que utilizam formas alternativas para o abastecimento de água.

Tabela 1. Abastecimento de água por domicílios na área rural e urbana do Brasil.

Área	Nº Total de Domicílios	Domicílios ligados á rede			Poços, nascentes, e outras formas		
		Com canalização interna (%)	Sem canalização interna (%)	Total (%)	Com canalização interna (%)	Sem canalização interna (%)	Total (%)
Urbana	49.897.000	92,6	0,9	93,5	4,9	1,6	6,5
Rural	8.750.000	28,9	3,8	32,8	39,8	27,4	67,2
Total	58.577.000	83,1	1,4	84,4	10,1	5,5	15,6

Fonte: IBGE-PNAD, 2009; Funasa, 2012.

Na Figura 4 apresenta-se a comparação do cenário de abastecimento de água por domicílios da área urbana e rural.

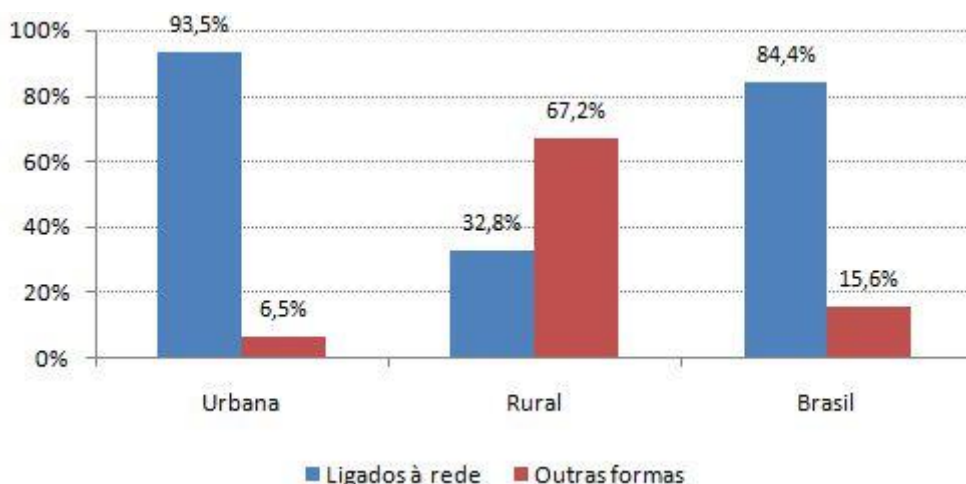


Figura 4. Abastecimento de água por domicílios na área rural e urbana do Brasil. Fonte: IBGE-PNAD 2009; Funasa, 2012.

A Tabela 1 e a Figura 4 mostram que apenas 32,8% dos domicílios rurais estão ligados à rede de distribuição de água (com ou sem canalização interna), sendo que o restante (67,2% das residências) utiliza soluções alternativas e coletivas de abastecimento, como o uso de poços freáticos ou tubulares profundos e a coleta direta nas nascentes de água. Em contrapartida na área urbana 93,5% dos domicílios urbanos estão ligados à rede de distribuição de água (FUNASA, 2012).

A Figura 5 apresenta o percentual de domicílios rurais com acesso às redes de distribuição de água por região geográfica do Brasil.

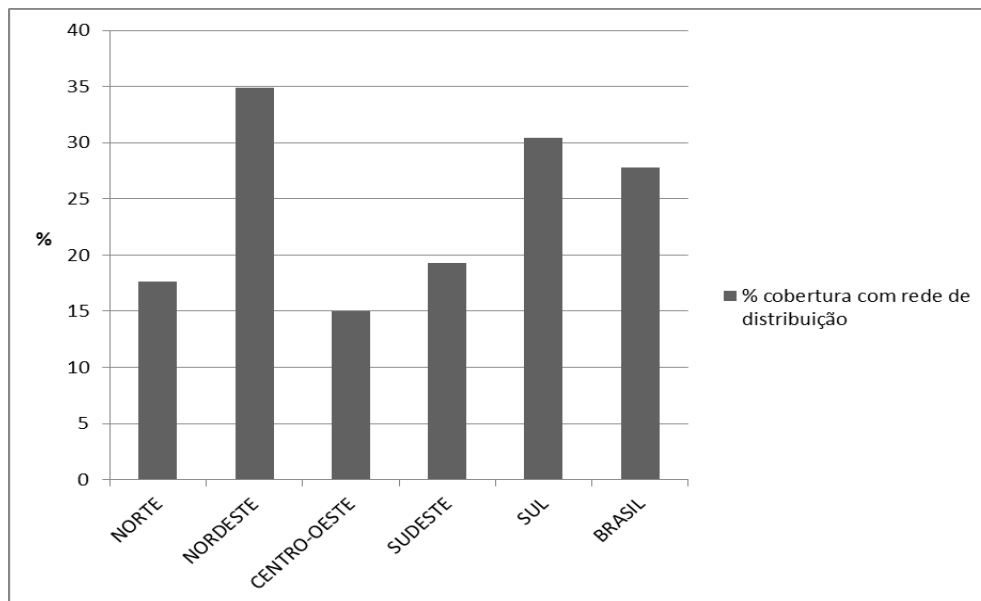


Figura 5. Cobertura com redes de distribuição de água nos domicílios rurais por região geográfica do Brasil. Fonte: IBGE-PNAD, 2009; Funasa, 2012.

Na Figura 5, observa-se que a região Nordeste apresenta o maior número de domicílios rurais (35%) com abastecimento de água por redes de distribuição, o que pode ser atribuído as suas características demográficas, pois 45,2% dos domicílios rurais brasileiros estão localizados nessa região. Além disso, a distribuição das residências é menos dispersa do que nas outras regiões, como Norte e Centro-Oeste que possuem os menores percentuais de cobertura de domicílios rurais ligados à rede de distribuição de água (17 e 15% respectivamente) e, conseqüentemente, os maiores percentuais de domicílios que utilizam soluções alternativas de abastecimento de água (FUNASA, 2012).

Na Figura 6 apresenta-se a cobertura de abastecimento de água dos domicílios rurais com acesso a rede geral, por unidade da federação.

Com base na Figura 6, pode-se concluir que prevalece uma desigualdade mais que evidente no percentual de cobertura das redes de abastecimento entre os estados do país, pois enquanto no Estado do Mato Grosso apenas 4% dos domicílios estão ligados à rede de distribuição de água, no Rio Grande do Norte tal percentual chega a 64%.

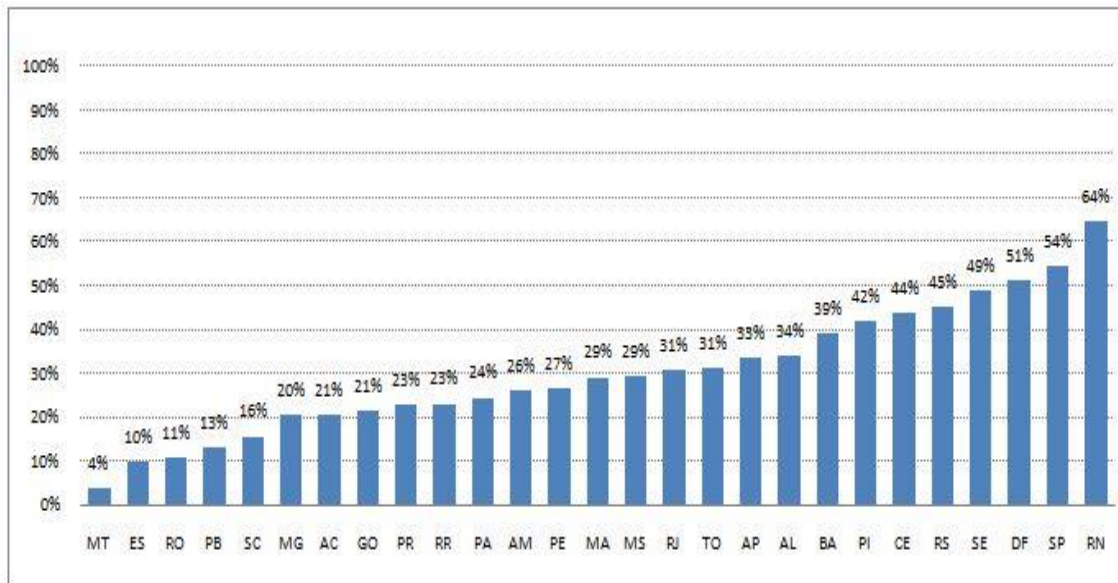


Figura 6. Domicílios rurais ligados à rede de abastecimento de água por estado brasileiro. Fonte: FUNASA (2012) (com base do IBGE-PNAD, 2009).

A população rural dos estados com baixo índice da presença das redes de abastecimento de água recorre a métodos alternativos, como a captação por meio da construção de poços ou a coleta diretamente das nascentes/reservatórios. A inexistência das redes de distribuição nas áreas rurais brasileiras pode ser justificada pela concentração de grandes propriedades, dispersão dos domicílios, disponibilidade de água subterrânea e, pela ausência ou insuficiência dos sistemas públicos de abastecimento (FUNASA, 2012).

É importante ressaltar que apesar de serem consideradas seguras para o consumo *in natura*, as águas provenientes de poços ou nascentes podem ser contaminadas por impurezas existentes nas paredes dos poços, água da chuva que podem carregar contaminantes por frestas presentes nas laterais do poço ou mesmo pela abertura superior, contaminação direta do lençol freático por um foco de contaminação (fossas irregulares, dejetos de animais) e contaminação por agrotóxicos e fertilizantes agrícolas (VALIAS *et al.*, 2000).

Na Figura 7 apresenta-se uma comparação entre as regiões brasileiras no que se refere ao percentual de domicílios rurais com cobertura de abastecimento de água por redes de distribuição ou coleta por meio de poços e/ou nascentes e redes de distribuição.

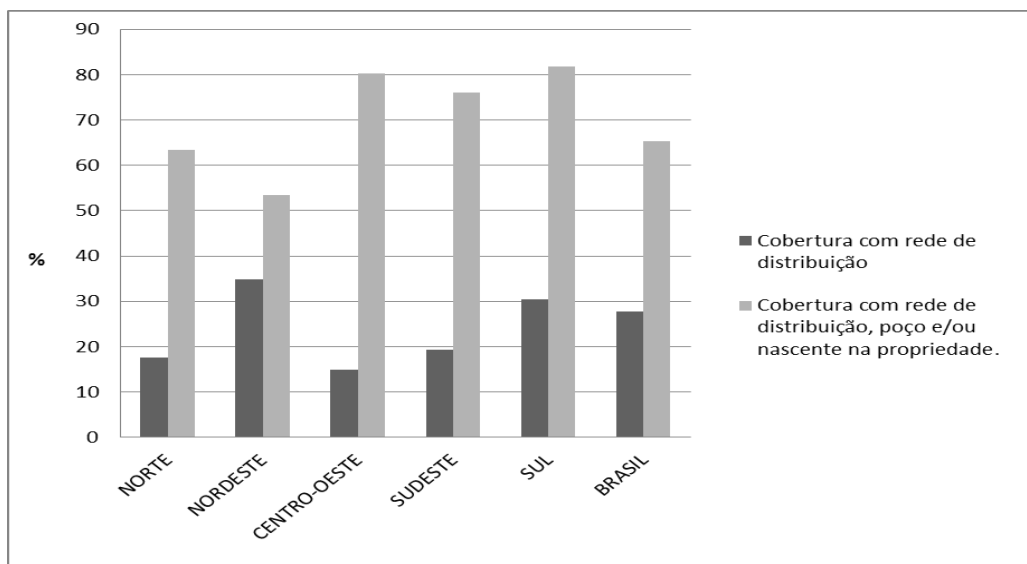


Figura 7. Comparação entre a cobertura com rede de distribuição e contribuição de poços e/ou nascentes para o abastecimento de água nos domicílios rurais pertencentes as cinco regiões brasileiras. Fonte: IBGE-PNAD, 2009; Funasa, 2012.

A região Sul apresenta o maior percentual de cobertura do abastecimento de água por redes de distribuição e captação em poços e nascentes (82%). Por outro lado, a região Norte apresenta baixa presença de redes de abastecimento (18%) e a menor porcentagem de domicílios atendidos pelas redes de distribuição, poços e nascentes (63%), o que evidencia a adoção de fontes de abastecimento alternativas com elevado risco de contaminação.

2.1.2. Esgotamento Sanitário

No Brasil o déficit do setor de saneamento básico é elevado, principalmente no que se refere aos serviços de esgotamento e tratamento de esgotos, com carência mais evidente nas áreas periféricas dos centros urbanos e nas zonas rurais, onde está concentrada a população mais pobre (GALVÃO JUNIOR, 2009).

Na Tabela 2 e na Figura 8 são contempladas informações detalhadas sobre os métodos de tratamento e disposição final dos efluentes domésticos utilizados nas residências localizadas nas áreas rurais do Brasil. Esses resultados correspondem ao período de 1992 até 2009. Na Figura 8, pode ser observado que até os dias atuais o método de disposição dos efluentes domésticos mais utilizado nas áreas rurais do Brasil é a fossa

rudimentar (48,3% dos domicílios). Apesar de ocorrer uma melhoria no acesso da população a métodos de tratamentos mais adequados, como o emprego de fossas sépticas (que triplicaram os percentuais de utilização) ou até mesmo a implantação das redes coletoras (com expansão de 2,4%), a situação da gestão dos efluentes domésticos permanece preocupante.

Enquanto 64,1% dos domicílios localizados na área urbana possuem acesso à rede de esgotamento sanitário, cerca de 75% dos domicílios localizados na área rural do Brasil adotam sistemas inadequados, pois a implantação e utilização das tecnologias convencionais de coleta, transporte e tratamento de efluentes domésticos da área urbana são inviáveis. Este fato leva as famílias da área rural a recorrerem às alternativas de esgotamento sanitário que lhes são acessíveis, como o uso da fossa rudimentar, valas, disposição em rios e lagos ou diretamente no solo (FUNASA, 2012).

Tais alternativas, na maioria das vezes, tornam-se fontes de potencial poluição e contaminação (direta/indireta) do solo e da água, pois nelas prevalecem à falta de sistemas de impermeabilização para impedir o contato do esgoto com o solo e com isso evitar os possíveis processos de percolação do mesmo atingindo os lençóis freáticos.

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2000) 52,2% dos municípios brasileiros possuíam serviço de esgotamento sanitário por rede coletora e em 2008, esse percentual passou para 55,2%. A PNSB identificou também, que apesar de mais da metade do esgoto sanitário ser coletado, somente 28,5% dos municípios brasileiros tratavam seus efluentes domésticos.

Tabela 2. Métodos de tratamento ou disposição final dos efluentes domésticos, utilizados nas áreas rurais do Brasil.

(continua)

Métodos de tratamento ou diposição final dos efluentes domésticos (%)							
Ano	Rede Coletora	Fossa Séptica	Fossa Rudimentar	Vala	Despejo em rios, lagos ou mar	Outros	Sem Tratamento
1992	3	7,3	32,7	3	4,4	0,6	49
1993	3,1	8,1	34,1	3,4	4,1	1	46,3
1995	3,2	9,9	35,1	3,9	4,2	1,7	42
1996	3,5	13,8	35,5	3,9	3,7	0,4	39,1

Tabela 2. Métodos de tratamento ou disposição final dos efluentes domésticos, utilizados nas áreas rurais do Brasil.

(continuação)

1997	3,5	10,9	39	3,4	3,9	0,7
1998	4,5	10,3	39,9	4	4,6	0,5
1999	4,5	11,2	41,2	3,6	4,2	0,7
2001	3,1	10,6	40,5	4,7	4,1	0,8
2002	3,7	12,3	40,7	5,9	3,9	0,6
2003	3,7	13,5	42,9	5,8	3,7	0,8
2004	3,6	14,7	45,7	4,1	3,4	0,6
2005	4,1	14,3	46,4	4,7	3,7	0,5
2006	4,2	16,1	46,7	4,6	3	0,5
2007	5,3	18,4	45,3	5,2	3,3	0,5
2008	5,8	18,3	46,3	5,3	3	0,5
2009	5,4	19,5	48,3	4,6	2,7	0,3

Fonte: IBGE-PNAD, 2009.

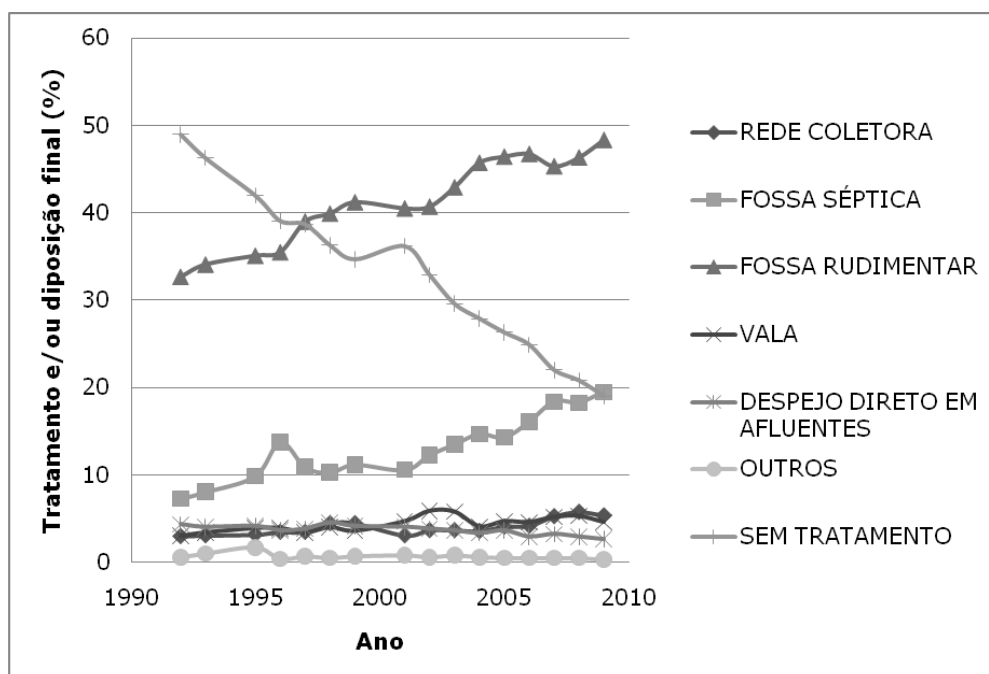


Figura 8. Métodos de tratamento e disposição final dos efluentes domésticos gerados nas residências das áreas rurais do Brasil.

Na Figura 9 apresenta-se uma comparação entre os métodos de destinação e/ou tratamento do esgoto doméstico nas áreas das cinco regiões do Brasil.

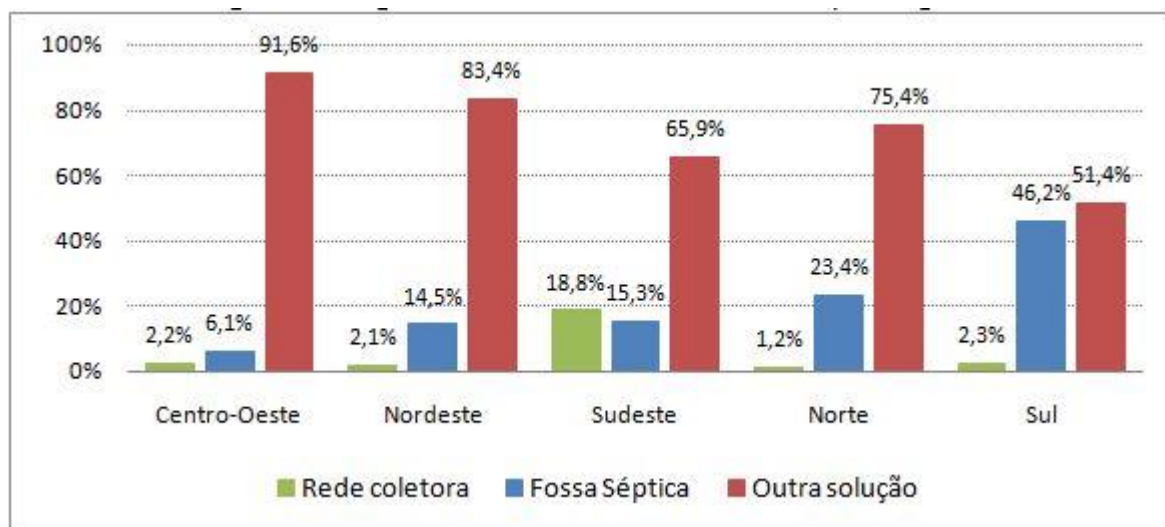


Figura 9. Métodos de disposição e/ou tratamento do esgoto doméstico nas áreas rurais por região do Brasil. Fonte: IBGE-PNAD, 2009; Funasa, 2012.

Conforme observado na Figura 9, a região Centro-Oeste apresenta o maior percentual (91,6%) de domicílios rurais que utilizam alternativas inadequadas de disposição dos efluentes domésticos, porém a região Norte possui a menor taxa de coleta de esgoto (1,2%). Em contrapartida, na região Sudeste, 18,8% do esgoto é coletado, valor bem acima dos encontrados nas outras regiões do país, e na região Sul 46,2% dos domicílios rurais possuem fossa séptica.

Tais informações evidenciam o cenário alarmante das condições de esgotamento sanitário, tanto na área urbana como na área rural brasileira e esse resultado contribui para a ocorrência de situações de risco da saúde da população, em especial das crianças, bem como para a contaminação dos mananciais de água e do meio ambiente em geral (TRATABRASIL, 2011).

2.1.3. Resíduos Sólidos

O cenário da gestão de resíduos sólidos mostra que 91,9% dos domicílios urbanos têm acesso à coleta direta e, na área rural somente 26,3% dos domicílios recebem este tipo de serviço (IBGE-PNAD, 2009).

A Figura 10 apresenta os dados referentes ao tipo de coleta e destinação dos resíduos sólidos na área rural, por região do Brasil.

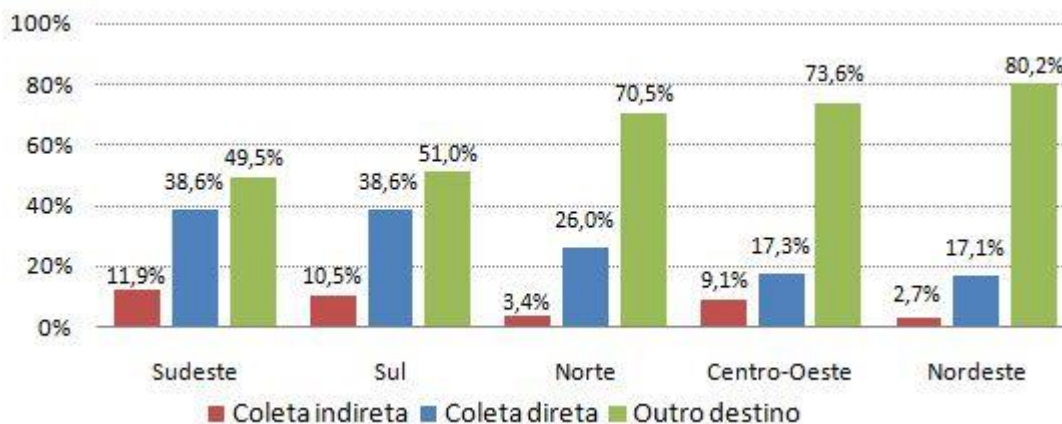


Figura 10. Coleta/destino dos resíduos sólidos (coleta direta, indireta, outro destino) na área rural das cinco regiões brasileiras. Fonte: IBGE-PNAD, 2009; Funasa, 2012.

Os dados da Figura 10 mostram que nas regiões Sudeste e Sul, predomina um cenário mais favorável em termos de coleta direta dos resíduos, onde aproximadamente 50% dos resíduos são coletados (coleta direta ou indireta). Este resultado pode ser explicado pela influência, que exercem sobre as áreas rurais, as políticas públicas de limpeza urbana dessas regiões (FUNASA, 2012).

Na Figura 11 se apresenta, para o ano de 2000, os percentuais de domicílios rurais e urbanos que eram atendidos pela coleta de resíduos sólidos.

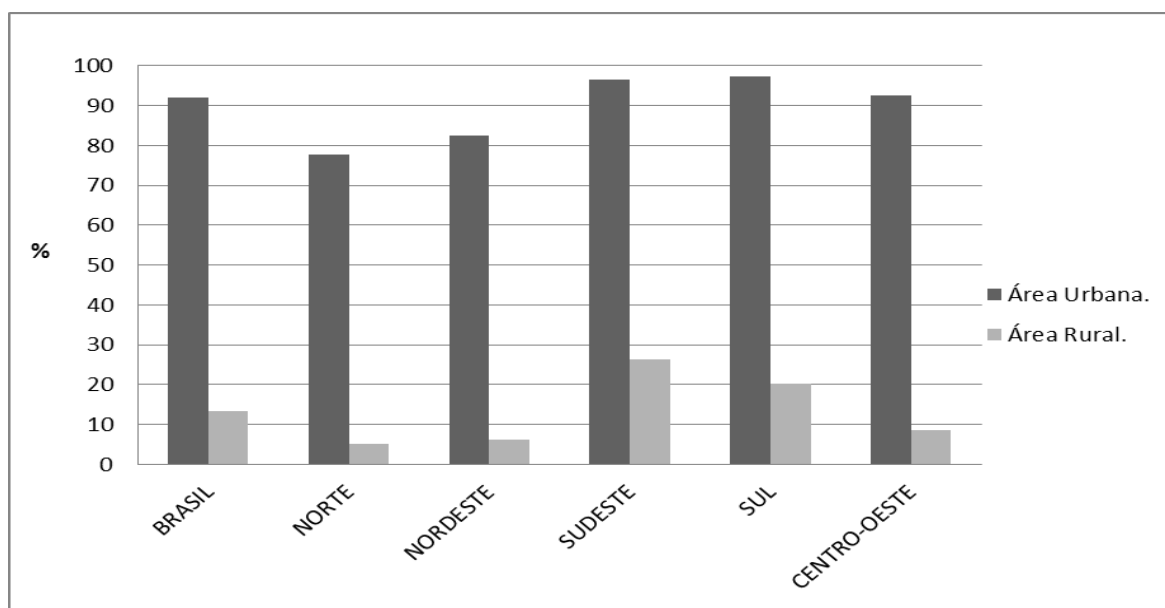


Figura 11. Porcentagem de coleta de resíduos sólidos na área urbana e rural, no ano de 2000 segundo as cinco regiões do Brasil. Fonte: IBGE-PNAD, 2000.

De acordo com a Figura 11, os resultados mais satisfatórios em termos dos percentuais de coleta de resíduos para o ano de 2000, ocorreram na região sudeste, onde 98% dos domicílios urbanos e 27% dos domicílios rurais eram atendidos por tal serviço. Por outro lado, a região norte apresentou os percentuais de coleta mais inadequados da pesquisa com 78% de abrangência nas residências urbanas e apenas 5% nas residências rurais.

Após o decorrer de 10 anos, houve uma melhoria significativa no acesso à coleta de resíduos domésticos, principalmente para a população urbana. Atualmente mais de 90% dos resíduos produzidos nas cinco regiões brasileiras são coletados.

Nas áreas rurais também se observou um sutil acréscimo nos percentuais de acesso a coleta dos resíduos, porém o cenário permanece negativo como pode ser visualizado na Figura 12.

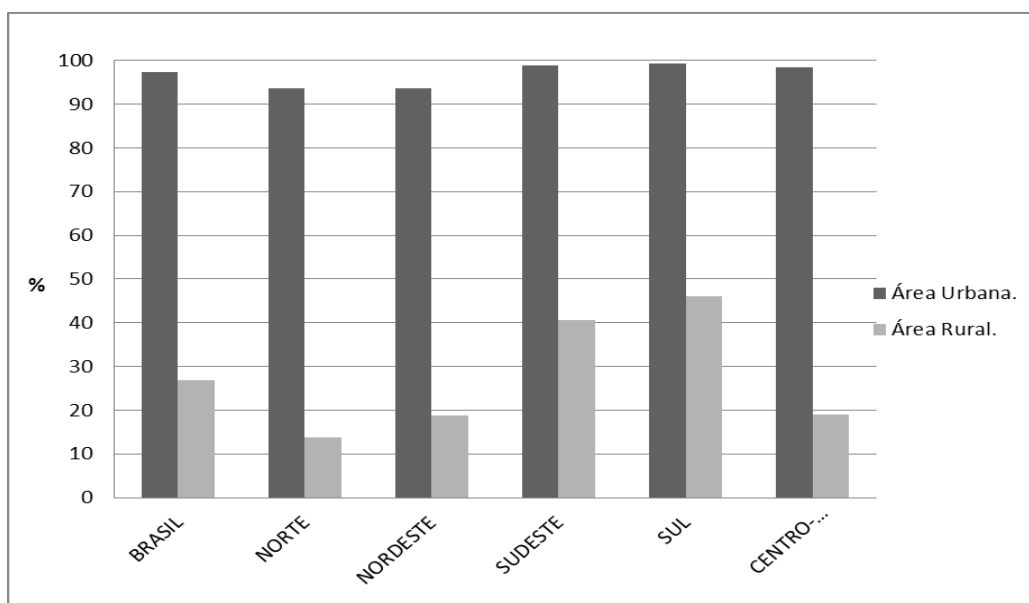


Figura 12. Porcentagem de coleta de resíduos sólidos na área urbana e rural, no ano de 2010 segundo as cinco regiões do Brasil. Fonte: IBGE-PNAD, 2010.

Analisando as três temáticas abordadas (abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos), pode-se evidenciar que as condições do saneamento rural são precárias e, as pessoas que residem nas áreas rurais são diariamente expostas a enfermidades provenientes da falta de acesso ao adequado abastecimento de água, esgotamento sanitário e a coleta de resíduos. Tal cenário justifica a necessidade do desenvolvimento e da implantação de políticas públicas especificamente voltadas às áreas

rurais do país, que na maioria das vezes são ignoradas quando o assunto é melhoria nas condições de saneamento.

Conforme previsto pela Lei 11.445 (BRASIL, 2007), que institui as diretrizes e a política federal de saneamento básico, especificamente no artigo 48, destaca-se a garantia dos meios adequados para o atendimento das populações rurais, visando à implantação de sistemas adequados de tratamento de água e esgoto e destinação final de resíduos sólidos domésticos, levando em consideração as características econômicas e sociais destas regiões. Ou seja, é obrigatório por lei proporcionar condições de salubridade ambiental as populações rurais.

2.2. POLUIÇÃO/CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL NO MEIO RURAL

É importante ressaltar as diferenças entre os conceitos de poluição e contaminação ambiental. O termo poluição trata-se de uma alteração ecológica, uma modificação na relação entre os seres vivos, provocada pela ação antrópica, que prejudique, de forma direta ou indireta, tanto a vida ou o bem-estar das pessoas, quanto os recursos naturais (água, ar e o solo) e também causa impedimentos as diversas atividades econômicas. Já o termo contaminação está relacionado a presença no ambiente de seres patogênicos que causam doenças, ou a presença de substâncias, em concentrações nocivas ao ser humano. No entanto, se estas substâncias não alterarem as relações ecológicas, ali existentes, ao longo do tempo, esta contaminação não é uma forma de poluição (NASS, 2002).

Segundo Rheinheimer *et al.*, (2003) e Casali (2008), a falta de saneamento básico no meio rural, é um fator preocupante por se tratar de um lançamento constante (diário) de poluentes no ambiente. Nesse sentido, a disposição de esgoto doméstico e dejetos de animais, sem tratamento ou parcialmente tratados, nos mananciais de água e no solo constituem-se de uma fonte de contaminação e poluição pontual nociva ao meio ambiente e a saúde da população.

Como poluição pontual, considera-se aquela na qual os poluentes atingem o local de disposição final (ar, solo ou água) de forma concentrada e em um ponto de descarga específico. O esgoto doméstico trata-se de uma das principais fontes de poluição pontual, na área rural, devido ao fato das moradias, na maioria das vezes, estarem localizadas nas margens de rios e córregos (MAIER, 2007).

2.2.1. Poluição e contaminação do solo nas áreas rurais

Segundo estudo realizado pelo IBGE (2002; BARCELLOS *et al.*, 2005), conforme ilustra a Figura 13, de forma geral as principais causas de poluição e contaminação do solo nos municípios brasileiros, foram o uso de fertilizantes e agrotóxicos (63% dos municípios), destinação inadequada de esgoto doméstico (60%) e o chorume proveniente de lixões e aterros sanitários (38%).

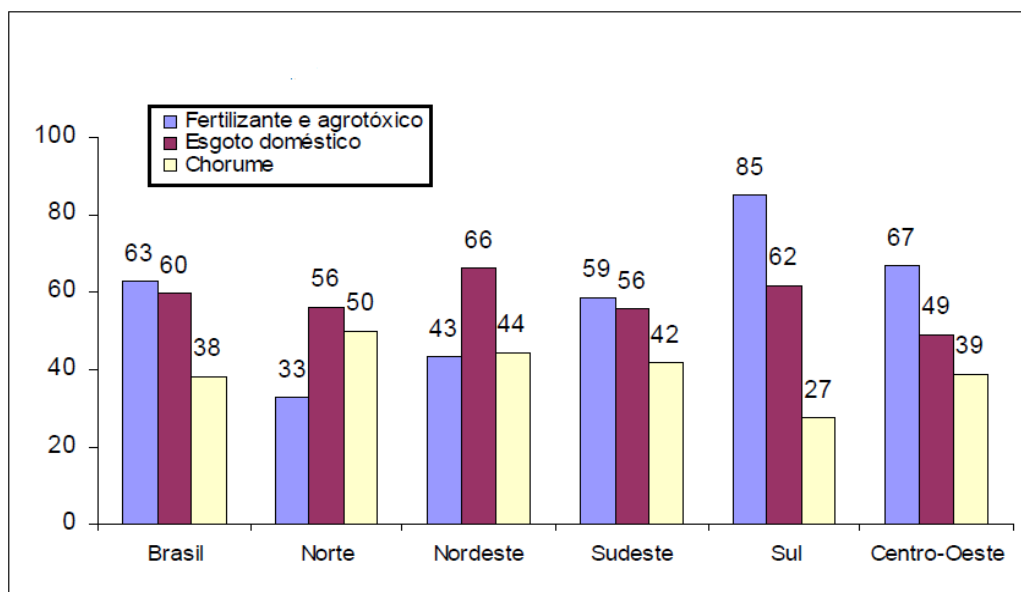


Figura 13. Proporção de municípios com ocorrência de contaminação de solo, segundo as Grandes Regiões. Fonte: IBGE, 2002; Barcellos *et al.*, (2005).

No caso da contaminação do solo, nas regiões Sul e Centro-Oeste, o uso de fertilizantes e agrotóxicos foi a principal causa de contaminação (85% e 67%, respectivamente). Na região Nordeste e Norte, a destinação inadequada de esgoto doméstico (66% e 56% dos municípios, respectivamente) é a maior responsável pela contaminação do solo. Na região Sudeste prevalece a contaminação do solo pelo uso de fertilizantes/agrotóxicos (59%) e a disposição inadequada de esgoto doméstico (56%). De modo geral, na área rural, a degradação do solo é consequência do despejo inadequado dos efluentes domésticos, principalmente nas áreas onde as tecnologias de tratamento são inexistentes ou inadequadas.

O solo tem capacidade física, química e biológica de assimilar resíduos gerados pelo homem, porém é de fundamental relevância, o conhecimento de seus limites de absorção (DACACH, 1979; DERISIO, 2000; FERRETE, 2007). Ao ultrapassar tal limite,

o solo pode conter elevadas concentrações de componentes tóxicos e prejudiciais aos seres humanos e ao meio ambiente (ROSOLEN *et al.* 2005, FERRETE 2007)..

Em relação aos microrganismos patogênicos, a sobrevivência das bactérias no solo, varia bastante. Por exemplo, o bacilo tifoídico resiste 15 a 30 dias em fezes, 70 dias em solo úmido e 15 dias em solo seco; já o bacilo disentérico sobrevive oito dias em fezes sólidas, 70 dias em solo úmido e 15 dias em solo seco (FUNASA, 2006). Os vírus e bactérias presentes no esgoto doméstico disposto no solo, podem ser por ele absorvido, desde que a argila esteja presente em grande quantidade e associada às condições apropriadas de pH (ROCHA, 2005; FERRETE *et al.*, 2008).

Na Figura 14 ilustra-se a capacidade de disseminação das bactérias no solo, onde observa-se que a disseminação horizontal é menor, chegando a 1 m de raio, e na vertical atinge no máximo 3 m em terreno sem fenda.

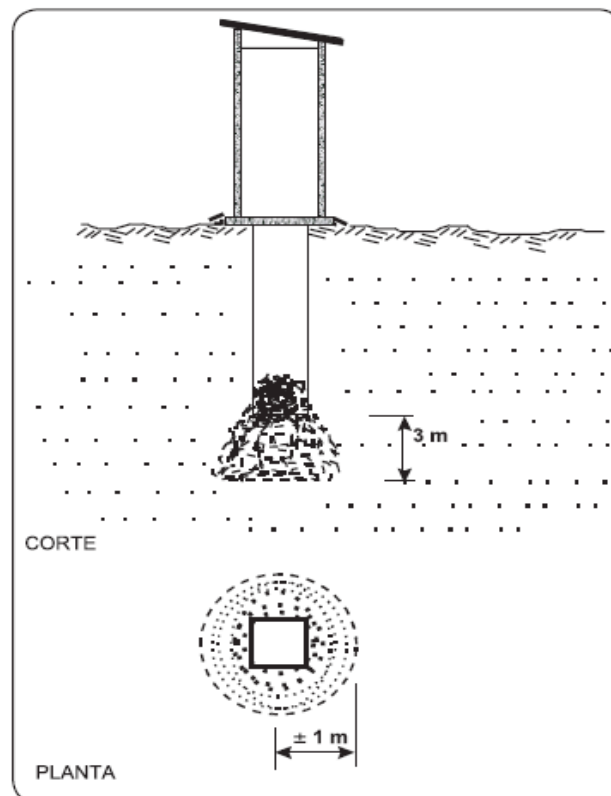


Figura 14. Disseminação de bactérias no solo. Fonte: FUNASA, 2006.

É importante ressaltar que o esgoto doméstico disposto no solo não fica restrito ao ambiente de origem, em períodos chuvosos, a lixiviação superficial faz o carreamento deste material para os cursos d'água. Também, em períodos de chuva intensa, a elevação do lençol freático pode atingir as bases das fossas negras, resultando na contaminação das

águas subterrâneas, principalmente em locais com características de solos porosos, permeáveis e drenáveis (DACACH, 1979; FUNASA, 2006; FERRETE *et al.*, 2007).

Os mesmos autores afirmam que a ligação da permeabilidade do solo com sua contaminação, como também das águas subterrâneas, justifica-se pela composição do esgoto doméstico (99,9% de substância líquida e apenas 0,1% de material sólido).

2.2.2. Contaminação e poluição dos recursos hídricos nas áreas rurais

Os efluentes domésticos são constituídos basicamente por contaminantes orgânicos, nutrientes e microrganismos que podem ser patogênicos (CASALI, 2008). De acordo com Carreira *et al.*, (2001), esses componentes são provenientes de fezes humanas e de animais, restos de alimentos, sabões e detergentes, e são responsáveis pela redução do oxigênio dissolvido, aumento da turbidez, mudança de pH, com reflexos diretos sobre a manutenção das condições ideais para a sobrevivência dos organismos e sobre a saúde humana.

Distinguem-se dois tipos de contaminação das águas (devido à disposição inadequada de esgoto doméstico): a) Contaminação por bactérias, principalmente por coliformes presentes nas fezes humanas, responsáveis pela grande incidência de diarreias e infecções; e b) Contaminação por substâncias orgânicas recalcitrantes, ou de difícil degradação, como é o caso dos detergentes sulfônicos, cuja ação tóxica não é muito acentuada, mas os efeitos secundários são graves, pois destroem as células dos microorganismos aquáticos, impedem a oxidação microbiológica dos materiais biodegradáveis contidos nos esgotos, reduzem a taxa de absorção de oxigênio e diminuem a velocidade de autodepuração dos rios.

De acordo com Vignoli Filho (1988), um fator de extrema importância é a contaminação por infiltração dos efluentes domésticos que atingem os corpos hídricos subterrâneos, os aquíferos rasos e não confinados. O risco a saúde pública ocorre quando esta água é usada para abastecimento por meio da perfuração de poços rasos. No Estado de Minas Gerais, por exemplo, foi apontada a contaminação fecal em 81,3% dos poços rasos amostrados, reduzindo-se para 18 a 39,1% nos poços artesianos, evidenciando uma maior garantia da qualidade água quando captada de lençóis freáticos mais profundos.

A maior parte da água subterrânea se origina na superfície do solo, sendo a recarga feita da precipitação de chuvas, cursos de água e reservatórios superficiais. Trata-se de

uma informação importante, pois a preservação dos recursos hídricos subterrâneos depende basicamente do controle exercido nas suas áreas de recarga na superfície. Diante disso, percebe-se que a adoção de métodos inadequados de tratamento ou tratamentos incompletos, como por exemplo, o emprego das fossas sépticas sem a utilização de sumidouros, assim como a implantação de sistemas de tratamento de efluentes próximos aos lençóis freáticos, são potenciais fontes de contaminação das águas subterrâneas (JÚLIO, *et al.*, 2008).

Segundo a Funasa (2006), a disseminação de bactérias em águas subterrâneas trata-se de umas principais consequências da utilização de equipamentos ineficientes de tratamento de esgoto doméstico na área rural para, pois lençóis subterrâneos com um fluxo de 1 m³ a 3 m³ por dia pode resultar no arrastamento de bactérias a uma distância de 11 m no sentido do fluxo, como pode ser observado na Figura 15.

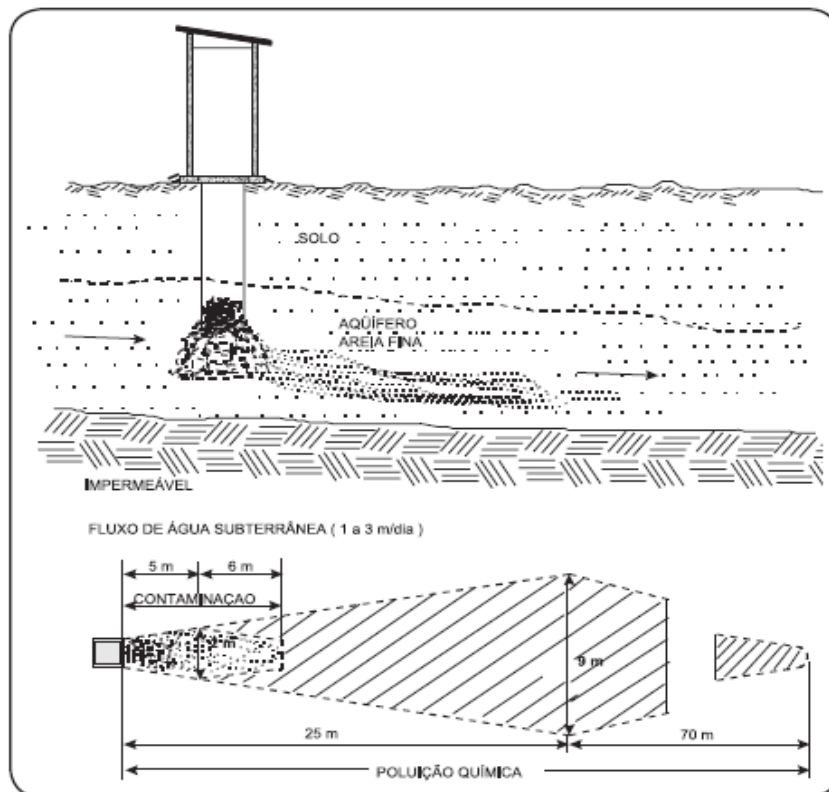


Figura 15. Disseminação de bactérias nas águas subterrâneas. Fonte: FUNASA, 2006.

Varnier e Hirata (2002), citam o nitrato como o poluente de maior ocorrência nas águas subterrâneas, a exposição contínua em concentrações superiores a 10 mg L⁻¹, pode causar metahemoglobinemia e câncer. Os principais responsáveis pela poluição com

nitrito nas águas subterrâneas são o uso de fertilizantes agrícolas, criação de animais e os sistemas de saneamento *in situ*, sejam eles tanques sépticos ou fossas rudimentares.

Com relação ao lançamento de efluentes domésticos nas águas superficiais contendo substâncias como fósforo e nitrogênio em excesso, podem causar o processo de eutrofização dos recursos hídricos ao impactar, de maneira direta, os parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas, comprometendo seu uso para consumo e lazer (PHILIPPI JR. e MALHEIROS, 2005; ROSATO *et al.*, 2009). Tal fenômeno ocorre principalmente em corpos hídricos com intensa ocupação e localizados próximos as residências rurais.

A disposição do esgoto doméstico sanitário no ambiente aquático, sem tratamento adequado, pode causar a proliferação de organismos patogênicos e de doenças veiculadas a estes, devido à poluição dos corpos d'água (ROSATO, *et. al.*, 2009).

Nesta perspectiva, dados da Vigilância Sanitária indicam que 65% das internações hospitalares no Brasil são consequência de doenças de veiculação hídrica, ou seja, acontecem por doenças relacionadas à falta de saneamento, sendo que em muitos casos levam a óbito (ANDREOLI e FERNANDES, 1999; ZAPPAROLI, 2008). Na Tabela 3 são apresentadas as doenças relacionadas com os dejetos, mais comuns no meio rural e em regiões em desenvolvimento, divididas em cinco grupos, conforme listado abaixo.

Tabela 3. Doenças relacionadas à disposição inadequada de dejetos.

(continua)

Grupo de doenças	Formas de transmissão	Principais doenças	Formas de prevenção
feco-oral (não bacterianas).	Contato de pessoa a pessoa quando não se tem higiene pessoal adequada (o organismo patogênico (agente causador da doença) é ingerido).	<ul style="list-style-type: none"> - poliomielite; - hepatite tipo B; - giardíase; - disenteria amebiana; - diarreias por vírus. 	<ul style="list-style-type: none"> - Implantar sistema de abastecimento de água; - Melhorar as moradias e as instalações sanitárias; - Promover a educação sanitária.
feco-oral (bacterianas).	Contato de pessoa a pessoa, ingestão e contato com alimentos contaminados e contato com fontes de água contaminadas com fezes.	<ul style="list-style-type: none"> - Febre tifóide e paratifóide; - Diarreias e disenterias bacterianas, como a cólera. 	<ul style="list-style-type: none"> - Implantar sistema de abastecimento de água e de disposição dos esgotos; - Melhorar as moradias e as instalações sanitárias; - Promover a educação sanitária.

Tabela 3. Doenças relacionadas à disposição inadequada de dejetos.

(continuação)

<p>Helminhos transmitidos pelo solo.</p>	<p>Ingestão de alimentos contaminados e contato da pele com o solo contaminados com fezes.</p>	<p>-Ascariíose (lombrigas) - Tricuriíase -Ancilostomíase (amarelão).</p>	<p>- Construir e manter limpas instalações sanitárias; - Tratar os esgotos antes da disposição no solo; - Evitar o contato da pele com o solo (andar calçado).</p>
<p>Helminhos associadas à água (uma parte do ciclo da vida do agente infeccioso ocorre em um animal aquático).</p>	<p>Contato da pele com água contaminada</p>	<p>- Esquistossomose.</p>	<p>- Evitar o contato de pessoas com águas infectadas; - Construir instalações sanitárias adequadas; - Adotar medidas adequadas para a disposição de esgotos; - Combater o hospedeiro intermediário, o caramujo.</p>
<p>Tênias (solitárias) na carne do boi ou do porco.</p>	<p>Ingestão de carne mal cozida de animais contaminados.</p>	<p>- Teníase; - Cisticercose.</p>	<p>- Construir instalações sanitárias adequadas; - Tratar os esgotos antes da disposição no solo; - Inspeccionar a carne e ter cuidados na sua preparação (cozimento).</p>
<p>Transmitidas por vetores que se relacionam com as fezes.</p>	<p>Procriação de insetos em locais contaminados com fezes.</p>	<p>- Filariose (elefantíase).</p>	<p>- Combater os insetos transmissores; - Eliminar condições que possam favorecer criadouros; - Evitar o contato com criadouros;</p>

Conforme observado na Tabela 3, as doenças listadas são transmitidas, em geral, por meio do contato e consumo de alimentos e água contaminados com fezes.

Somente a diarreia, causa 30% das mortes de crianças com menos de um ano de idade, pode-se dizer que, uma criança morre a cada 24 minutos vítima de doenças diarreicas no mundo. Uma pesquisa divulgada pelo Ministério da Saúde (2008), mostra que o número de crianças com menos de um ano que morreram por diarreia no Brasil caiu 93,9% entre 1980 e 2005. Em 2008, foram 1.988 mortes, contra 32.704 em 1980, reflexo da pequena melhoria do acesso da população ao saneamento básico, principalmente nas áreas rurais.

Segundo o relatório da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, calcula-se que exista no país cerca de 10 milhões de portadores da doença adquirida por meio de banhos em rios, lagos e águas contaminadas (LOPES, 1998; Zapparoli, 2008).

O modo mais eficiente para quebrar a cadeia de transmissão das doenças relacionadas com os dejetos é através do desenvolvimento e implantação de barreiras sanitárias. Isto, por meio da disposição e tratamento adequado dos dejetos e demais efluentes domésticos, de modo que não sejam acessíveis ao homem e aos vetores, não poluam a água e o solo, e não acarretem outros inconvenientes, tais como maus odores e mau aspecto no ambiente (OLIVEIRA E MEDEIROS FILHO, 1998).

Sendo assim percebe-se que o saneamento básico tem uma íntima relação com a saúde pública, o meio ambiente, o desenvolvimento urbano e rural, habitacional e tecnológico todos perfazendo preciosas conquistas da civilização, permitindo assegurar as populações qualidade vida (ZAPPAROLI, 2008). Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias alternativas de tratamento dos efluentes domésticos, especificamente para as áreas rurais é essencial para a evolução do país na área do saneamento e conseqüentemente para a erradicação de doenças ocasionadas pelo contato com esgoto doméstico.

2.3. CORRELAÇÕES PARA A ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL

A identificação do potencial de geração de efluentes domésticos nas áreas rurais é de fundamental importância para o planejamento e a gestão eficiente dos mesmos, cuja consequência deverá ser a melhoria das condições de vida das populações ali residentes. Ao mesmo tempo, essas informações são imprescindíveis para a proposição,

desenvolvimento e implantação de novas tecnologias adequadas ao cotidiano das populações rurais, tendo em vista que, devido aos gargalos tecnológicos, topografia do terreno e elevados custos de implantação/operação, a adoção dos sistemas convencionais de coleta, tratamento e disposição dos esgotos domésticos é inviável.

Existem várias correlações mais generalistas para a estimativa do potencial de geração de efluentes domésticos. A OMS (2012), por exemplo, estima que cada habitante produza 120 L de efluentes por dia, enquanto que NBR 7229 (ABNT, 1993) estima que a produção média de esgoto por dia no Brasil seja de 130 L hab⁻¹. Morejon *et al.*, (2006) desenvolveram uma correlação mais específica identificando o potencial de geração de efluentes em cada fonte de uma residência (pia da cozinha, vaso sanitário, lavanderia e chuveiro), conforme apresentado na Figura 16.

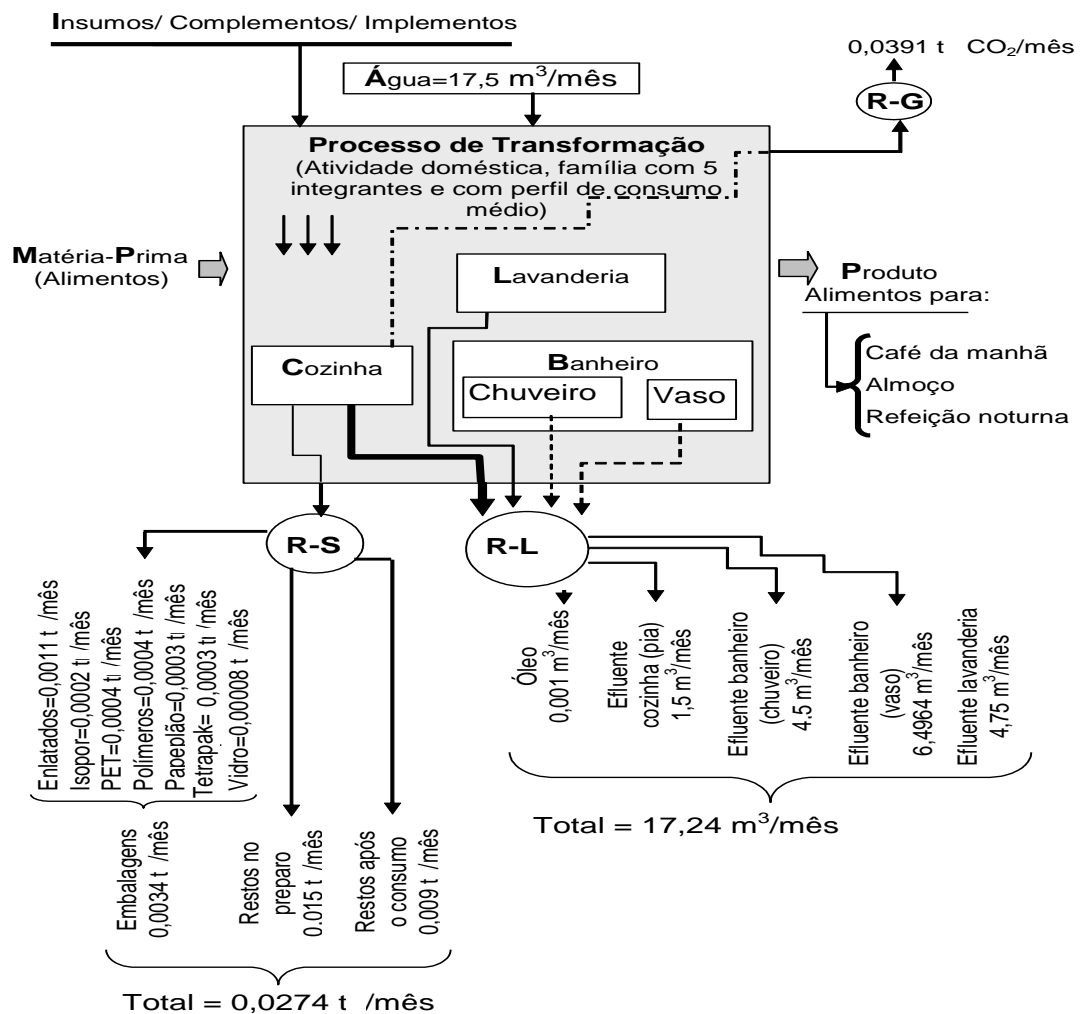


Figura 16. Correlação entre o consumo comum de uma família e a geração de resíduos domésticos. Fonte: Morejon *et al.*, (2007).

No estudo foi constatado que no domicílio de uma família constituída de cinco pessoas são gerados mensalmente 1,5 m³ mês de efluentes na pia da cozinha; 6,5 m³ mês de efluentes no vaso sanitário; 4,5 m³ de efluentes o chuveiro; 4,75 m³ mês de efluentes na lavadeira; e 0,001 m³ mês de óleo de fritura, totalizando a produção mensal 17,24 m³ mês de efluentes domésticos conforme ilustra a Figura 16.

A quantificação individualizada da geração de efluentes domésticos por fonte da residência é a maneira mais correta e adequada para a obtenção do potencial poluidor. Conforme observado no trabalho de Morejon *et al.*, (2006) o tratamento dos efluentes domésticos também deve ser realizado de forma individual levando em consideração as características e composição de cada efluente produzido. Entretanto, o que geralmente ocorre na maioria das residências das áreas rurais é a destinação e tratamento de todo o esgoto gerado (pia da cozinha, lavanderia, chuveiro e vaso sanitário) em um mesmo local (fossas em geral).

Ainda nesta perspectiva, vários autores (HENZE, 1997; GONÇALVES, 2006; ZANCHETA, 2007) defendem o tratamento separado da urina e dos dejetos sólidos devido a diferente composição e propriedades, pois enquanto os efluentes da pia da cozinha, do chuveiro e da lavanderia possuem elevada quantidade de produtos químicos (limpeza e higiene pessoal) e necessitam de um tratamento químico para a remoção dos poluentes, as fezes possuem elevada quantidade de patogênicos e de matéria orgânica e a impermeabilidade constatada na sua estrutura demandam e favorecem um tratamento diferenciado (biológico). Além disso, a urina possui elevada carga de fósforo e nitrogênio e baixa presença de patogênicos e se apresenta no estado líquido o que também lhe confere a necessidade de um tratamento individualizado.

2.4. CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL

2.4.1. CLASSIFICAÇÃO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS

Os efluentes produzidos nas residências também denominados águas servidas podem ser classificados de cinco formas de acordo com a sua fonte de origem, sendo elas: água negra, água cinza, água marrom, água amarela e água azul.

Segundo GONCALVES *et al.*, (2006), a água negra refere-se às águas residuárias proveniente dos vasos sanitários, formada por fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina. Água negra separada das demais resultam em estações de tratamento menores, que operam de forma mais estável e produzem menos sub-produtos.

As águas cinzas são as águas servidas provenientes dos demais pontos de consumo de água na residência como lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque (JEFFERSON *et al.*, 1999).

Os dispositivos sanitários que possuem compartimento de separação de fezes e urina originam dois tipos de águas residuárias, sendo elas a água marrom constituída apenas das fezes e a água amarela composta pela urina. As águas amarelas podem ser recuperadas sem tratamento, sendo utilizadas como importante fonte de nitrogênio na agricultura (GONCALVES *et al.*, 2006).

As águas azuis são as águas provenientes da chuva, que após tratamento simplificado, podem ser reutilizadas dentro dos domicílios (ZANCHETA, 2007).

As diretrizes do Saneamento Ecológico (ECOSAN) sugere que os efluentes domésticos sejam classificados por cores e possuam segregação e posterior tratamento de acordo com sua fonte de origem e características, conforme apresentado na Figura 17.

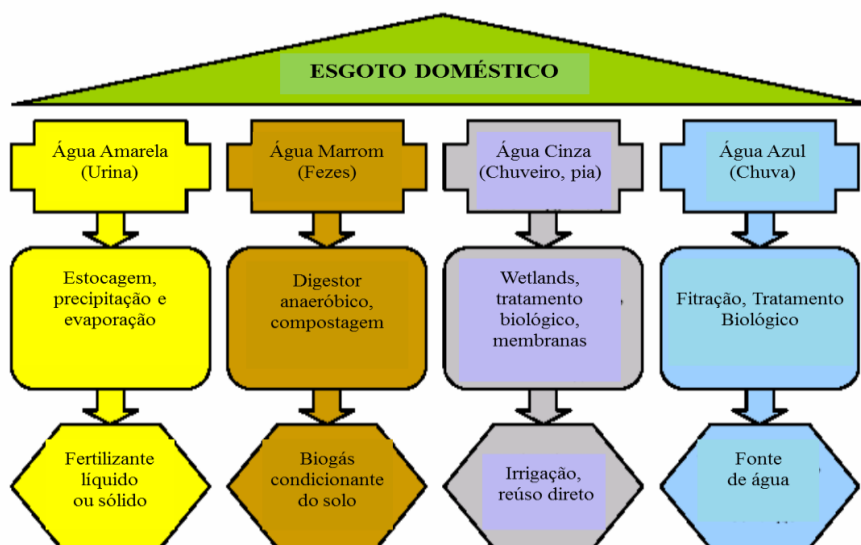


Figura 17. Classificação das águas servidas. Fonte: GANROT, 2005; ZANCHETA, 2007.

Conforme mencionado no tópico anterior e com base da composição/classificação novamente se justifica a viabilidade do tratamento diferenciado do esgoto doméstico. Com a adoção do método baseado na separação dos efluentes domésticos o resultado final do tratamento será mais eficiente e rápido, possibilitando ainda, a obtenção de um subproduto de maior qualidade e com potencial de utilização como fertilizante agrícola.

2.4.2. CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS

De maneira geral, o esgoto familiar é constituído de aproximadamente 99,9% de água, sendo que a fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos, responsáveis pelos problemas de poluição/contaminação (FUNASA, 2006). Na Tabela 4 apresenta-se a composição dos esgotos.

Tabela 4. Composição simplificada dos esgotos domésticos.

Em média	Descrição
99,9% de água	Água de abastecimento utilizada na remoção do esgoto das economias domésticas e residências
0,1% de sólidos	Sólidos grosseiros Areia Sólidos sedimentáveis Sólidos dissolvidos

Fonte: Lemos, 2011.

As características dos esgotos variam de acordo com os usos ao qual a água foi submetida, o que possui relação direta com o clima, situação socioeconômica e hábitos da população (MAIER, 2007). Em termos de produção, Von Sperling (2005) considera que 98% da água consumida é convertida em esgoto.

Segundo Lemos (2011), os esgotos domésticos se compõem basicamente de águas de banho, urina, fezes, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

Na Tabela 5 apresenta-se a composição detalhada do esgoto doméstico explicitando os tipos de substâncias encontradas, origem e algumas observações.

Tabela 5. Avaliação geral da composição dos esgotos domésticos.

(continua)

Tipos de substâncias	Origem	Observações
Sabões	Lavagem de louças e roupas	-
Detergentes (podem ou não ser biodegradáveis)	Lavagem de louças e roupas	-
Cloreto de sódio	Cozinhas e urina humana	Cada ser humano elimina pela urina de 7 a 15 gramas/dia
Fosfatos	Detergentes e urina humana	Cada ser humano elimina, em média, pela urina, 1,5 gramas/dia

Tabela 5. Avaliação geral da composição dos esgotos domésticos.

(continuação)

Fosfatos	Detergentes e urina humana	Cada ser humano elimina, em média, pela urina, 1,5 gramas/dia
Sulfatos	Urina humana	-
Carbonatos	Urina humana	-
Uréia, amoníaco e ácido úrico	Urina humana	Cada ser humano elimina de 14 a 42 gramas de uréia por dia
Gorduras	Cozinhas e fezes humanas	-
Substâncias córneas, ligamentos de carne e fibras vegetais não digeridas	Fezes humanas	Vão se constituir na porção de matéria orgânica em decomposição, encontrada nos esgotos
Porções de amido (glicogênio, glicose) e de protéicos (aminoácidos, proteínas, albumina)	Fezes humanas	Idem
Mucos, células de descamação epitelial	Urina humana	Idem
Vermes vírus e bactérias	Fezes humanas	Idem

Fonte: Nuvolari, 2003; Lemos, 2011.

Segundo informações da FUNASA (2006), os efluentes domésticos apresentam as seguintes características:

i) Características físicas: matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez e variação de vazão.

a) matéria sólida: os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, e apenas 0,1% de sólidos;

b) temperatura: a temperatura do esgoto é, em geral, pouco superior à das águas de abastecimento. Sendo sua velocidade de decomposição proporcional ao aumento da temperatura;

c) odor: os odores característicos são provenientes dos gases formados no processo de decomposição, assim o odor de mofo, típico do esgoto fresco é razoavelmente suportável, porém o odor de ovo podre é extremamente desagradável, sendo oriundo do esgoto velho ou séptico, em virtude da presença de gás sulfídrico;

d) cor e turbidez: a cor e turbidez indicam de imediato o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada acompanhada de alguma turbidez é típica do esgoto fresco e a cor preta é típica do esgoto velho;

e) variação de vazão: a variação de vazão do efluente de um sistema de esgoto doméstico esta relacionada aos costumes dos habitantes. A vazão doméstica do esgoto é calculada em função do consumo médio diário de água de um indivíduo. Estima-se que para cada 100 litros de água consumida, são lançados aproximadamente 80 litros de esgoto na rede coletora, ou seja 80%.

ii) Características químicas: matéria orgânica e matéria inorgânica.

a) matéria orgânica: cerca de 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica, geralmente esses compostos orgânicos são uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio, e algumas vezes nitrogênio.

- Proteínas: são produtoras de nitrogênio e contêm carbono, hidrogênio, oxigênio, algumas vezes fósforos, enxofre e ferro. Tratam-se do principal constituinte de organismo animal.

O gás sulfídrico presente nos esgotos é proveniente do enxofre fornecido pelas proteínas;

- Carboidratos: contêm carbono, hidrogênio e oxigênio. São as principais substâncias a serem destruídas pelas bactérias, produzindo ácidos orgânicos o que confere característica ácida aos esgotos maturados;

- Gordura: é o mesmo que matéria graxa e óleos provem geralmente do esgoto doméstico graças ao uso de manteiga, óleos vegetais, da carne, dentre outros;

- Sulfatans: são constituídos por moléculas orgânicas com a propriedade de formar espuma no corpo receptor ou na estação de tratamento de esgoto;

- fenóis: são compostos orgânicos originados em despejos industriais.

A matéria inorgânica nos esgotos é formada principalmente pela presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas.

iii) Características biológicas: microrganismos de águas residuais e indicadores de poluição.

a) microrganismos de águas residuais: os principais organismos encontrados nos esgotos são as bactérias, os fungos, os protozoários, os vírus e as algas. Deste grupo, as bactérias são as mais importantes, pois, são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza como nas estações de tratamento.

b) indicadores de poluição: existem vários organismos cuja presença num corpo d'água indica uma forma qualquer de poluição. Para indicar a poluição de origem humana utilizam-se os organismos do grupo coliforme como indicadores. As bactérias coliformes são típicas do intestino do homem e de outros animais de sangue quente (mamíferos) e por estarem presentes nas fezes humanas (100 a 400 bilhões de coliformes $\text{hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$) e devido aos métodos simples de determinação, são adotadas como referência para indicar e medir a grandeza da poluição.

2.4.2.1. Caracterização dos efluentes provenientes do vaso sanitário

Tratando-se especificamente dos componentes do esgoto proveniente do vaso sanitário, as fezes humanas são compostas de restos alimentares ou dos próprios alimentos não transformados pela digestão, integrando-se as albuminas, as gorduras, os hidratos de carbono e as proteínas. Os sais e uma infinidade de microrganismos também estão presentes (FUNASA, 2006).

Segundo Hanaeus *et al.*, (1997; HENZE, 1997; BUENO *et al.*, 2005) as fezes contém de 1 a 1,5 $\text{g hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$ de nitrogênio; 0,5 a 1 $\text{g hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$ de fósforo; e 2,5 $\text{g hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$ de potássio. Para parâmetros como turbidez, a faixa de concentração reportada na literatura é ampla, com desvio padrão próximo a 300. Em termos de DQO e DBO₅,

encontra-se valores de concentração entre 2000 a 6700 mg L⁻¹ e 1900 a 3000 mg L⁻¹ respectivamente (PANIKKAR *et al.*, 2003; REBOUÇAS *et al.*, 2007; GALBIATI, 2009; REBÊLO, 2011).

Os microorganismos eliminados nas fezes humanas são de diversos tipos, sendo que os coliformes (*Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes* e o *Aerobacter cloacae*) estão presentes em grande quantidade, podendo atingir um bilhão por grama de fezes. Em estudo realizado por Rebêlo (2011), foram encontrados valores de 29 x 10⁵ UFC para coliformes totais e 15 x 10⁵ UFC para coliformes termotolerantes. No trabalho desenvolvido por Galbiati (2009), detectaram-se valores de 1,65 x 10⁷ NMP para coliformes totais e 5,15 x 10⁶ NMP para coliformes termotolerantes.

Tratando-se da urina são eliminadas algumas substâncias, como a uréia, resultantes das transformações químicas (metabolismo) de compostos nitrogenados (proteínas). As fezes, e principalmente a urina, contêm grande percentagem de água, além de matéria orgânica e inorgânica. Nas fezes existe cerca de 20% de matéria orgânica, enquanto na urina apenas 2,5% (FUNASA, 2006).

Segundo Lind *et al.*, (2001; ZANCHETA, 2007), a urina humana é uma solução complexa de água contendo concentrações de sais e nutrientes. Os principais são o cloreto de sódio (NaCl) e a uréia [CO(NH₂)₂], estão presentes também o potássio, cálcio (Ca), os sulfatos (SO₄), e o fósforo. O fósforo é disponível como superfosfatos (H₂PO₄⁻ ou HPO₄²⁻) e o potássio como um componente iônico (K⁺). Cerca de 80% do nitrogênio total da urina, está na forma de uréia e o restante se encontra na forma de nitrogênio inorgânico, orgânico e amônia. Diariamente a excreção de uréia em adultos varia entre 11,8 e 23,8 g e a relação entre nitrogênio total e a mesma é de aproximadamente 0,8 (FITTSCHEN E HAHN, 1998; ZANCHETA, 2007).

A urina é a fração que contém a maior parte de nutrientes do esgoto sanitário, aproximadamente 80% de nitrogênio, 55% de fósforo e 60% de potássio. Por outro lado, constitui menos de 1% do volume do esgoto convencional (JOHANSSON, 2000; ZANCHETA, 2007).

Conforme mostra-se na Tabela 6, a combinação 1, formada por 6 L de água, 2,5g de papel higiênico, fezes e 250 mL de urina, apresenta características físico-químicas, tais como SST, DQO, BBO e nitrogênio superiores comparando-se a urina (GONÇALVES *et al.*, 2006).

Tabela 6. Caracterização física, química e microbiológica dos efluentes proveniente do vaso sanitário e somente da urina.

Parâmetros	pH	SST	DQO	DBO ₅	NTK	P total	Coliformes fecais
		mg L ⁻¹	mg O ₂ L ⁻¹	mg O ₂ L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	NMP 100 mL ⁻¹
Combinação (1)	7,5	2296	6857	1757	454	20,4	-
Urina	6,1	-	49	12	60	3	1,2 x 10 ⁻¹

Fonte: Gonçalves *et al.*, (2006).

2.4.2.2. Caracterização dos efluentes gerados na pia da cozinha

Os efluentes gerados nas cozinhas podem ser considerados impactantes, pois, fazem parte de sua constituição compostos orgânicos como gorduras, óleos e saponáceos que quando lançados diretamente nos corpos hídricos, causam a diminuição do oxigênio dissolvido do meio acarretando na morte de organismos aquáticos e alteração dos aspectos físicos e químicos da água como cor, turbidez, sabor e odor (PHILIPPI JR e MALHEIROS, 2005; FUNASA 2006; FERRETE *et al.*, 2008).

A composição destes efluentes depende das diversas atividades domésticas realizadas, sendo que os componentes (restos de alimentos, óleos e gorduras e produtos químicos) presentes variam de residência para residência de acordo com o estilo de vida, costumes e instalações (REBÊLO, 2011).

Segundo análises realizadas por Bazzarella *et al.*, (2005) os efluentes provenientes da pia da cozinha apresentam elevada turbidez, presença de sólidos, DBO e nitrogênio devido a presença de restos de alimentos e compostos graxos. A utilização de produtos químicos como detergentes é responsável pelo elevado valor de DQO do efluente.

2.5. ESTADO DA ARTE DOS MÉTODOS, PROCESSOS E TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL

Nas áreas rurais o método mais comum de tratamento de efluentes domésticos é baseado em sistemas individuais, pois cada residência possui sua tecnologia de tratamento. A implantação de sistemas coletivos, nas residências da área rural, é inviável tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista econômico, principalmente devido à baixa densidade populacional, distanciamento entre os domicílios, os elevados custos de implantação, a carência de tecnologias apropriadas e de mão de obra especializada para a gestão desses efluentes.

Nos processos convencionais de tratamento de efluentes domésticos da área rural, prevalece o tratamento/destinação da mistura de todos os efluentes gerados na residência, num mesmo local, que na maioria dos casos são os diversos tipos de fossas. Em alguns casos, os efluentes da pia da cozinha passam por um tratamento prévio utilizando as caixas de gordura.

Considerando que o meio rural é carente no que diz respeito a tecnologias para o tratamento de efluentes domésticos, as alternativas simples e econômicas são as mais encontradas na literatura. Nesse sentido, na sequência apresenta-se os métodos de tratamento e/ou disposição final dos efluentes domésticos mais utilizados nas áreas rurais.

2.5.1 Fossas ou tanques sépticos

A fossa séptica, também denominada tanque séptico, trata-se de uma unidade de tratamento destinada a receber os efluentes domésticos. O tratamento no interior do dispositivo é realizado por meio de uma combinação de mecanismos físicos e biológicos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Sua estrutura física consiste em um tanque com paredes verticais de alvenaria revestida ou em concreto, apoiadas sobre uma laje de concreto simples, provido de cobertura de lajotas removíveis de concreto armado, contendo uma ou duas câmaras. Pode também ter forma cilíndrica (anéis pré-moldados de concreto ou alvenaria de tijolos) ou prismática retangular (OLIVEIRA e MEDEIROS FILHO, 1998).

O uso da fossa séptica é bastante difundido nas propriedades rurais brasileiras, sendo que cerca de 20% dos domicílios rurais utilizam o dispositivo (IBGE-PNAD, 2009). É atualmente considerado o método mais indicado para o tratamento dos efluentes domésticos da área rural (BARRETO, 1984; LARSEN 2010).

Chernicharo (1997) classifica a fossa séptica como uma unidade de tratamento primária dos efluentes domésticos. O esquema de operação consiste na separação dos sólidos do meio líquido, digestão parcial da matéria orgânica e retenção dos sólidos enquanto a massa líquida é clarificada. O tratamento no dispositivo é concluído com a filtração do efluente no solo (AISSE, 2000; BRASIL 2001; PERES *et al.*, 2010).

Os sólidos sedimentáveis deslocam-se para o fundo do tanque, onde ocorre digestão anaeróbia, e por fim se acumulam na forma de lodo (AISSE, 2000; LARSEN, 2010), como pode ser observado na Figura 18.

O lodo acumulado no fundo da fossa séptica deve ser removido uma vez por ano, deixando uma pequena parcela no interior do dispositivo. A limpeza é feita por bombeamento do resíduo para fora do tanque séptico, o que geralmente é realizado por um caminhão “limpa-fossa” (SANEPAR, Sd; LARSEN, 2010).

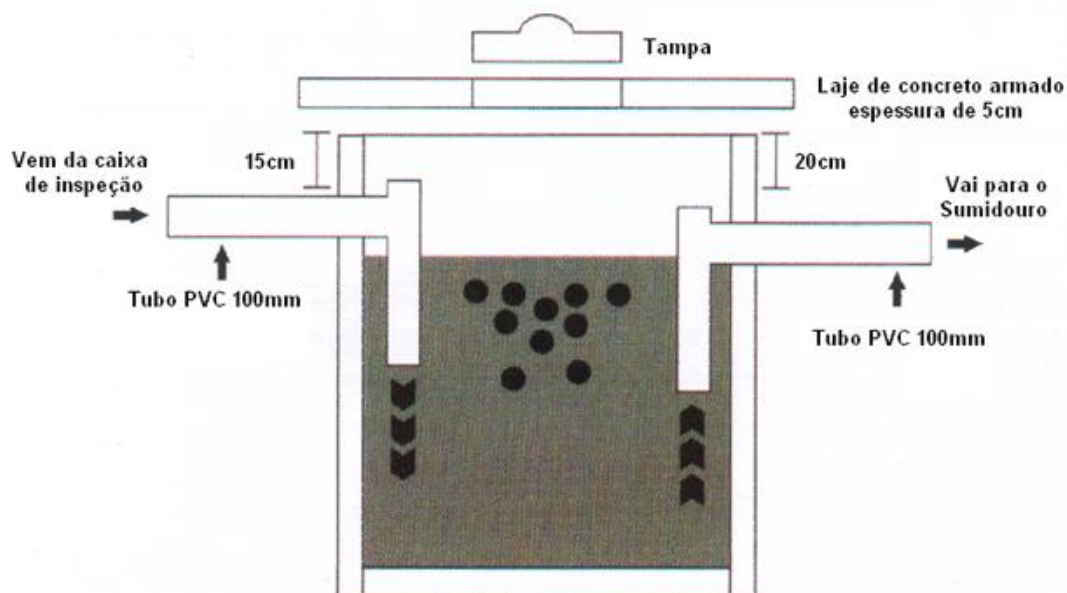


Figura 18. Esquema de funcionamento de uma fossa séptica. Fonte: Matéria do Curso, 2012.

2.5.1.1. Disposição final do efluente proveniente da fossa séptica

É necessário que o efluente proveniente da fossa séptica, antes de ser lançado no meio ambiente, passe por etapa complementar de tratamento para evitar a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas (ABNT- NBR 7229; 1993).

As alternativas mais empregadas e recomendadas nesse sentido são as técnicas de filtração pelo solo, utilizadas a fim de complementar o processo biológico de purificação (BRASIL, 2001; PERES, 2010). Para esta finalidade são usados os sumidouros, valas de infiltração e as valas de filtração, conforme descrito a seguir:

a) os sumidouros (Figura 19) são escavações no solo cujas paredes são construídas com anéis de concreto com furos, de alvenaria, tijolo furado ou tijolo comum com junta livre. Na parte inferior do dispositivo deve conter uma camada de pedra brita de maneira a facilitar a saída e infiltração dos efluentes no solo.

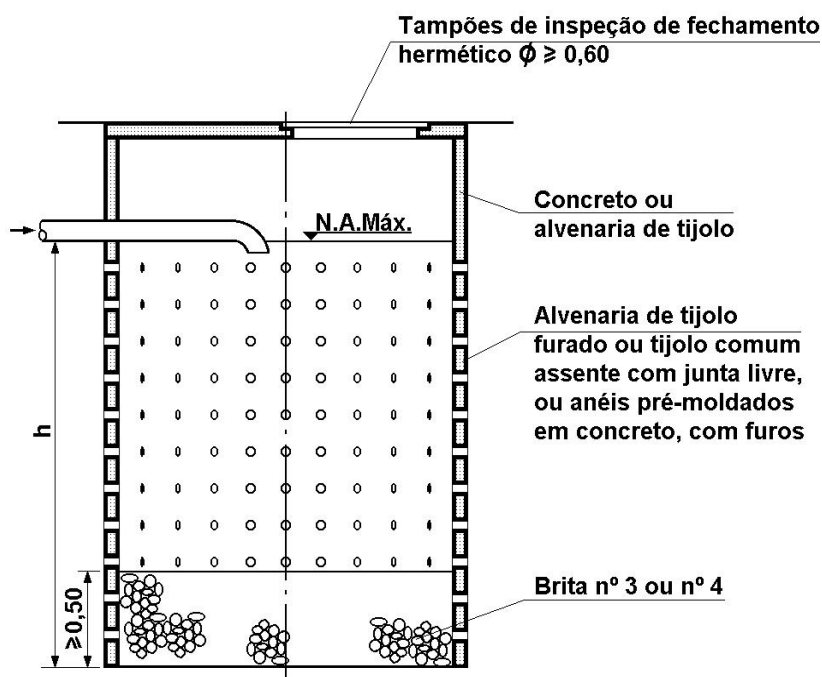


Figura 19. Desenho esquemático de um sumidouro. Fonte: NBR 7229 (1982); AISSE (2000); Larsen (2010).

b) as valas de infiltração (Figura 20), tratam-se de valas escavadas no terreno, dotadas de uma tubulação que distribui o esgoto sobre uma camada de pedra brita. Após passar pelas pedras o esgoto deve infiltrar-se no solo.

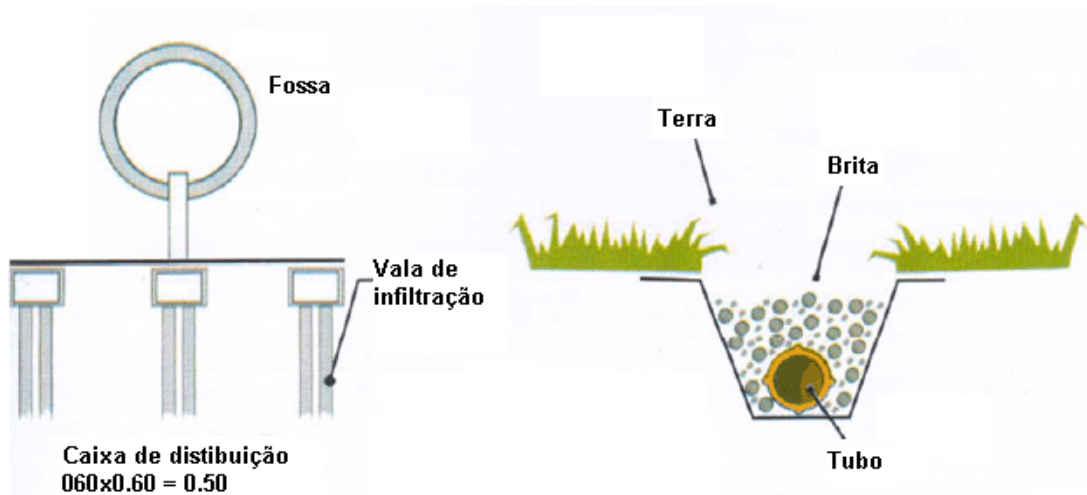


Figura 20. Desenho esquemático de uma vala de infiltração. Fonte: CAESB, 2013.

c) as valas de filtração (Figura 21) consistem em uma vala escavada no terreno, ocupando grande área com pouca profundidade. O efluente passa por uma tubulação perfurada, infiltra em uma camada de areia e é coletado por outra tubulação, abaixo dessa camada.

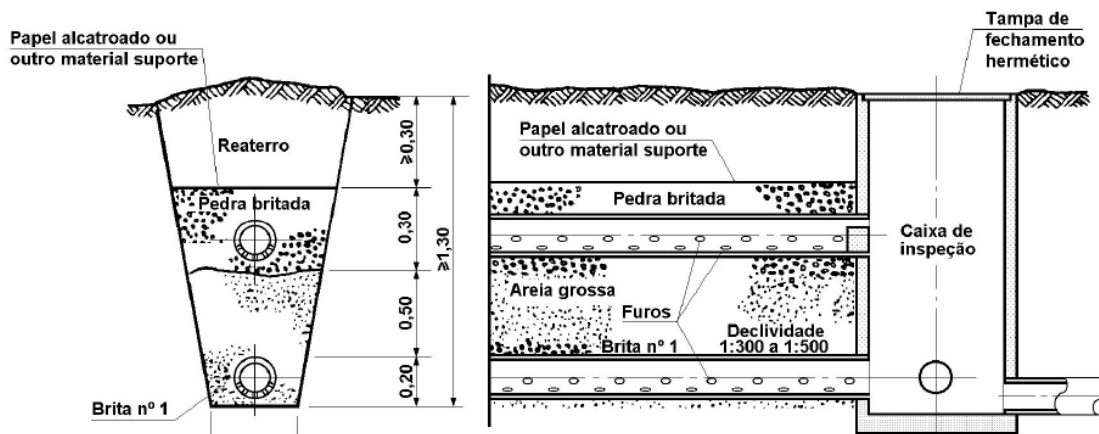


Figura 21. Desenho esquemático de uma vala de filtração. Fonte: Fonte: NBR 7229 (1982); AISSE (2000); Larsen (2010).

A escolha da alternativa mais adequada para tratamento complementar dos efluentes oriundos das fossas sépticas, tendo em vista a aplicação no solo, depende da capacidade de infiltração do mesmo e da disponibilidade de área. Caso estes aspectos sejam limitantes, deve-se optar por outros métodos de tratamento do efluente. (LARSEN, 2010).

Segundo Chernicharo (1997; PERES, 2010), a fossa séptica tem baixa eficiência na remoção da demanda química de oxigênio (DQO), nutrientes e patógenos. Nesse sentido, os compostos de nitrogênio residuais presentes nos efluentes dessas fossas representam um risco eminente para as águas subterrâneas, podendo causar problemas persistentes e comprometendo extensas áreas. Dentre eles, destaca-se o nitrato, por apresentar a ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbios das águas subterrâneas. Outra preocupação é que os nitratos possam estar acompanhados por alguns poluentes orgânicos sintéticos e metais pesados, como os cromatos (NASCIMENTO FILHO e CASTRO, 2005).

De acordo com os mesmos autores, uma indicação da poluição potencial das águas subterrâneas por nitratos provenientes das fossas sépticas, pode ser observada no exemplo a seguir: uma população de 20 pessoas ha⁻¹ representa uma descarga de nitrato de até 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ no solo, a qual, se fosse oxidada e lixiviada pela infiltração de 100 mm ano⁻¹ de chuvas, resultaria em uma descarga local com concentração de no máximo 100 mg L⁻¹ N-NO₃.

Muitas vezes as eficiências de tratamento das fossas sépticas deixam a desejar, como pode ser observado nas elevadas concentrações dos parâmetros descritos na Tabela 7 (CHERNICHARO, 1997; PERES, 2010).

Tabela 7. Eficiência das fossas sépticas

Parâmetro	% de redução
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	40 a 60 %
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	30 a 60 %
Sólidos Sedimentáveis	85 a 95 %
Sólidos em Suspensão	50 a 70 %
Graxas e Gorduras	70 a 90 %
Nitrogênio Amoniacal	0 a 10 %
Nitrogênio Total	0 a 10 %
Coliformes totais	20 a 60 %

Fonte: Nascimento Filho e Castro, 2005.

Conforme mostra a Tabela 7, no efluente oriundo de uma fossa séptica, mesmo considerando-se os maiores índices de eficiência, percebe-se que ainda persistem substâncias e organismos capazes de influenciar na qualidade da água subterrânea, principalmente a presença de nitrogênio e coliformes totais.

Pesquisas sobre a contaminação bacteriológica abaixo do campo de disposição do efluente de fossas sépticas demonstraram que nos primeiros 30 cm do solo, actinomicetos e outros microorganismos começam a aparecer e são mais numerosos nos 30 cm seguintes. A sobrevivência de tais microorganismos assim como de outros, pode se prolongar em solos onde tenha disponibilidade de nutrientes como nitrogênio e fósforo devido à disposição ou tratamento inadequado em fossas sépticas (NASCIMENTO FILHO e CASTRO, 2005).

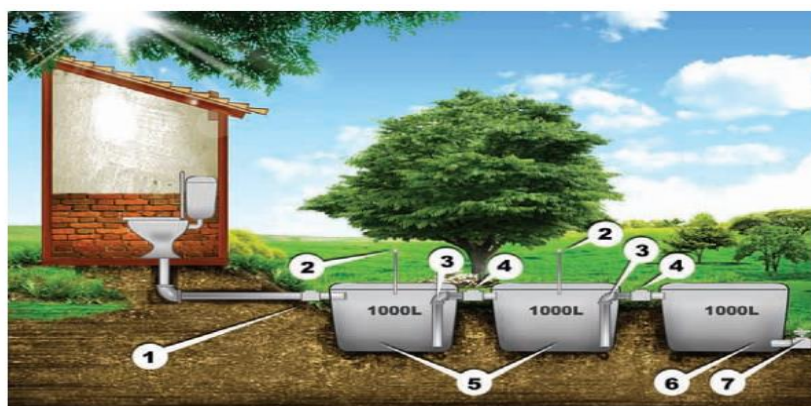
2.5.2 Fossa séptica Biodigestora

As fossas sépticas biodigestoras foram desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA com o objetivo de realizar o tratamento de esgoto mais eficiente nas áreas rurais (FAUSTINO, 2007). A tecnologia se limita ao tratamento biológico das fezes e da urina depositadas no vaso sanitário das residências rurais, por meio da biodigestão de resíduos orgânicos (proteínas, carboidratos e lipídeos), utilizando como meio inoculante de bactérias, esterco bovino fresco ou de outro animal ruminante, como cabras e ovelhas (BOLZONELLA *et al.*, 2005; FAUSTINO, 2007).

O processo de decomposição permite a obtenção de um adubo natural líquido, com ausência de odor desagradável e organismos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente (bactérias, vírus e ovos de vermes). O adubo produzido pode ser utilizado para fertilizar e irrigar o solo, e também melhorar a renda dos agricultores (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL - FBB, 2010).

Segundo Faustino (2007), o sistema é composto por duas caixas de fibrocimento de 1000 litros cada, conectadas exclusivamente ao vaso sanitário (pois as águas do chuveiro e da pia não apresentam potencial patogênico e a presença de sabão ou detergente inibem o processo de biodigestão por apresentarem propriedades antibióticas) e uma terceira caixa de 1000 litros que é utilizada para coleta do efluente (adubo orgânico), como pode ser observado na Figura 22.

O dimensionamento do sistema é indicado para uma família de no máximo cinco pessoas e permite que o resíduo depositado nas caixas fermente por aproximadamente trinta dias, período suficiente para uma completa biodigestão (SCHOKEN-ITURRINO *et al.*, 1995; FAUSTINO, 2007).



- 1 – Válvula de retenção
- 2 – Chaminé de alívio (suspiro)
- 3 – Curva de 90°
- 4 – “T” de inspeção
- 5 e 6 – Caixas de 1.000 ml
- 7 – Registro

Figura 22. Esquema do sistema de tratamento por fossa séptica biodigestora. Fonte: Novaes, 2002; FBB, 2010.

2.5.3. Fossa seca

A fossa seca trata-se de uma escavação no solo, de formato cilíndrico (diâmetro 0,80 m) ou de seção quadrada (lado 0,80 m) em que os dejetos e o material de asseio (papel higiênico, etc.) são depositados. Na boca da fossa deve ser construída uma base suporte para a sustentação do piso da privada, na qual existe um orifício para a passagem do material fecal e outros. Sobre o piso da privada é montado uma casinha provida de porta para abrigar o usuário conforme ilustrado na Figura 23. Os materiais envolvidos na construção da privada com fossa seca, particularmente da base e do piso, dependem da estabilidade do terreno circunvizinho, da disponibilidade e das posses do proprietário, podendo ser constituídos de concreto, madeira, etc. (NASCIMENTO FILHO e CASTRO, 2005).

De acordo com os mesmos autores, o volume da fossa deve ser de no mínimo 0,06 m³ por pessoa por cada ano de uso da privada, mais uma folga superior na altura de 50 cm. Como característica fundamental, a fossa seca não deve receber água de descargas, de banhos, de lavagem, de enxurrada ou mesmo água do solo quando o nível da água subterrânea for muito elevado. Quanto à localização, deve ser construída em lugares livres de enchentes e de fácil acesso aos usuários, com distância mínima de 15 metros de poços e fontes de água e disposta em um nível inferior aos locais de coleta de água (CENTRO DE

ESTUDOS DE PROMOÇÃO EM ALTERNATIVAS DE SAÚDE – CEPAS/UFES, 2010).

O dispositivo é passível de contaminação do solo e recursos hídricos, bem como da geração de odor e de causar a proliferação de insetos, particularmente moscas. A não admissão de água na fossa contribui para a diminuição, mas não para a erradicação total do problema de contaminação do meio ambiente e disseminação de doenças (NASCIMENTO FILHO e CASTRO, 2005).

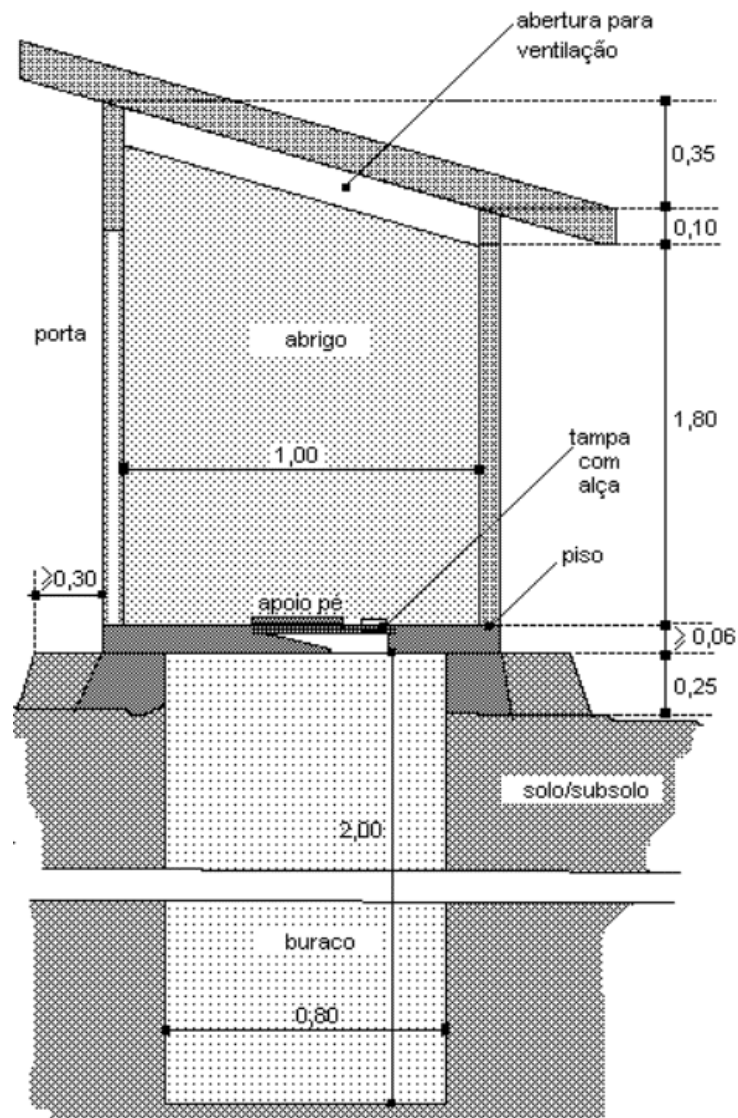


Figura 23. Esquema da construção da fossa seca. Fonte: Nascimento Filho e Castro, 2005.

2.5.4. Fossa seca com câmara de fermentação

Um dos principais inconvenientes das fossas secas é que após um período de uso contínuo sua capacidade será completa, fazendo-se necessária a remoção dos resíduos ou o seu aterramento e a construção de uma nova. As duas alternativas são inviáveis, pois, no primeiro caso deve-se manipular e remover os resíduos com extrema cautela devido ao seu elevado potencial de contaminação, e a segunda alternativa implica em elevados custos (OLIVEIRA e MEDEIROS FILHO, 1998).

Segundo os mesmos autores, a fossa seca com câmara de fermentação (Figura 24) consiste numa fossa seca estanque normal com uma câmara idêntica ao lado permitindo o seu uso alternado. Isto é, a primeira câmara é utilizada até a sua capacidade máxima (estimada em um ano), e, então, o orifício é vedado permanecendo aberto apenas o tubo de ventilação. Posteriormente, inicia-se o uso da segunda câmara e quando esta também estiver cheia, abre-se a primeira câmara e remove-se o seu conteúdo, veda-se a segunda câmara e reinicia-se o uso da primeira.

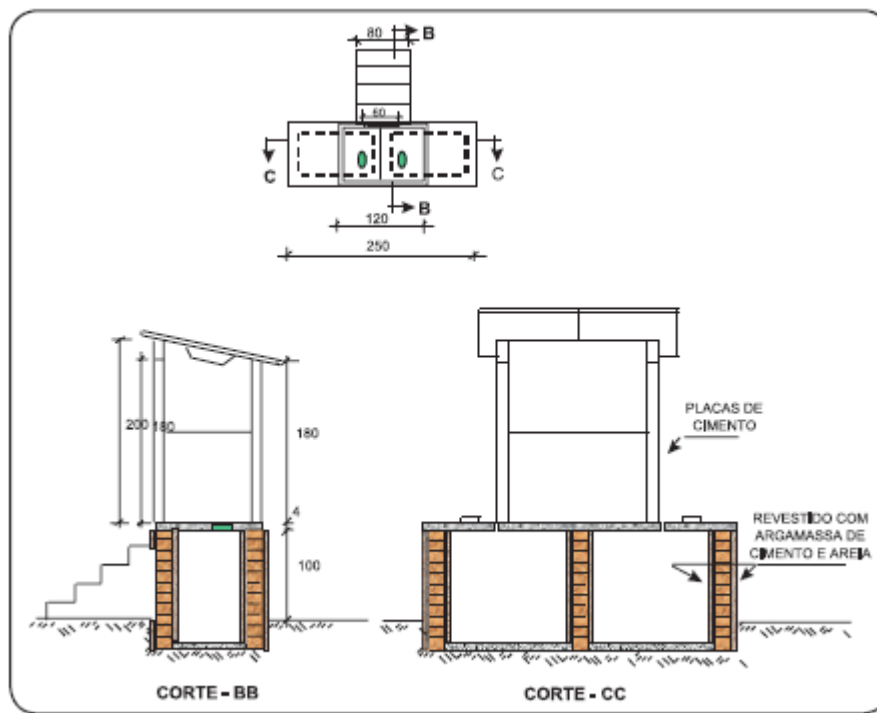


Figura 24. Esquema fossa seca com câmara de fermentação. Fonte: FUNASA, 2006.

2.5.5. Fossa seca estanque

É uma variante da fossa seca feita para áreas com risco de entrada de água na fossa, ou quando a escavação não é possível. No fundo da fossa é construída uma laje de concreto simples e sobre esta são erguidas as paredes de alvenaria de tijolos ou com elementos pré-moldados. Fundo e paredes são revestidos com argamassa de cimento e areia garantindo a não entrada de água na fossa (LEITE e RUFINO, 2009).

2.3.6. Fossa negra

A fossa negra ou fossa rudimentar, por definição, é uma escavação simples no solo que recebe excretas e/ou esgoto, desprovida de revestimento interno e impermeabilização, cujo fundo atinge ou fica a menos de 1,5 m acima do lençol freático, possui elevado potencial de contaminação do lençol freático, conforme ilustrado na Figura 25 (CEPAS/UFES, 2010).

Segundo Faustino (2007), as fossas rudimentares são as principais responsáveis pela contaminação das águas subterrâneas que abastecem os poços rasos. No interior delas ocorre a decomposição da matéria orgânica presente nos dejetos e, devido à intensa atividade microbiana é liberado um líquido de odor desagradável, com elevada concentração de nitrato (NO_3^-) e presença de coliformes fecais, denominado chorume. Este líquido infiltra-se nas paredes da fossa e percola através do solo podendo atingir e contaminar as águas subterrâneas.

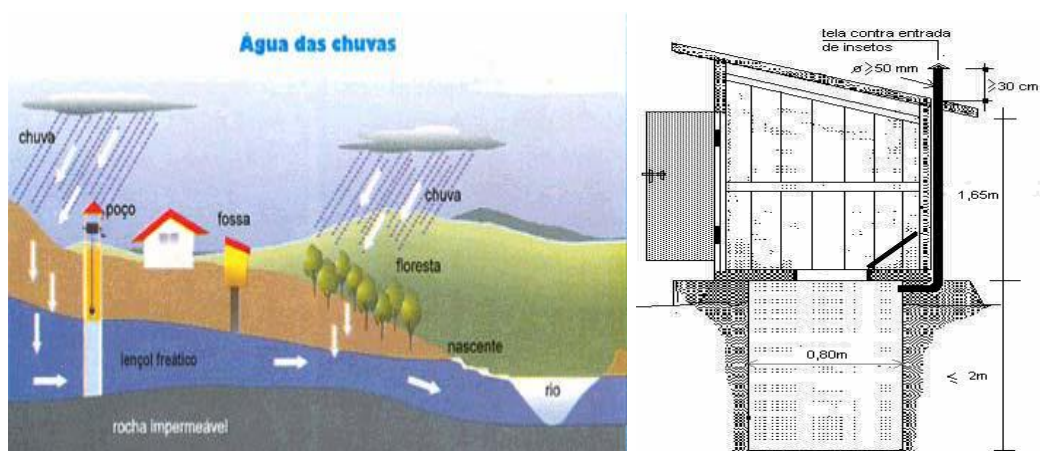


Figura 25. A. Fossa rudimentar mostrada em um contexto ambiental. B. Esquema de uma fossa rudimentar. Fonte: Faustino, 2007.

2.3.7. Disposição direta no solo/valas ou em cursos d'água

Conforme mencionado anteriormente, cerca de 7% da população rural utiliza métodos “arcaicos” como forma de disposição final dos efluentes como, por exemplo, o despejo em valas a céu aberto ou diretamente nos cursos d'água, conforme ilustra as Figuras 26 e 27 respectivamente.



Figura 26. Disposição de esgoto no solo e/ou valas. Fonte: Júlio et al., (2008).



Figura 27. Disposição do esgoto doméstico em cursos d'água. Fonte: Júlio *et al.*, (2008).

Segundo Júlio *et al.*, (2008) o emprego de tais métodos, deve-se a carência de informações, orientação técnica apropriada e a baixa condição financeira da população rural que inviabiliza a instalação de métodos mais eficientes e onerosos.

A partir das informações relatadas e discutidas na revisão bibliográfica conclui-se que o cenário preocupante do saneamento rural brasileiro, somado a capacidade de contaminação e poluição do solo e dos recursos hídricos decorrente da gestão inadequada dos efluentes domésticos das áreas rurais, do potencial de geração de efluentes nas residências e das limitações e gargalos técnicos apresentados pelas tecnologias e métodos convencionais de tratamento, evidenciam a necessidade do desenvolvimento de tecnologias alternativas eficientes no tratamento dos efluentes domésticos que evitem a degradação ambiental e proporcionem qualidade de vida à população rural.

CAPÍTULO III. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho contemplou a execução de seis etapas, sendo elas: etapa 1, caracterização da fonte geradora de efluentes domésticos (residências da área rural); etapa 2, caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes domésticos da área rural ; etapa 3, avaliação do desempenho e identificação dos gargalos tecnológicos, vantagens e desvantagens dos métodos, processos e tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos das áreas rurais; etapa 4, projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento de efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário e da pia da cozinha das residências da área rural; etapa 5, construção, operação e monitoramento da tecnologia alternativa (protótipo) em diversas condições de funcionamento; e etapa 6, análise de concordância. A seguir apresenta-se o detalhamento da metodologia inerente a cada uma das etapas:

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA FONTE GERADORA DE EFLUENTES DOMÉSTICOS (RESIDÊNCIAS DA ÁREA RURAL)

Para a caracterização das residências da área rural (fonte geradora de efluentes domésticos), realizou-se um diagnóstico qualitativo e quantitativo da gestão dos efluentes domésticos da área rural no estado do Paraná e do município de Toledo/PR, desenvolvido por meio de pesquisa em bancos de dados estatísticos e em cálculos estimativos conforme descrito nos itens 3.1.1. e 3.1.2. A partir das informações coletadas, as quais foram implementadas em uma planilha eletrônica, foi possível caracterizar as residências da área rural, no que se refere à geração de efluentes domésticos. Os resultados obtidos não estão disponíveis na literatura, e foram de grande importância para o desenvolvimento da pesquisa e conhecimento do cenário da gestão dos efluentes domésticos gerados nas áreas rurais do estado do Paraná e do município de Toledo.

3.1.1. Diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos no estado do Paraná

Para a execução desta etapa, foram consultados bancos de dados pertencentes ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-Censo 2010 (IBGE, 2010), Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2012), Instituto das Águas do Paraná (2012) e a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2012).

Primeiramente foram coletadas informações sobre número de habitantes da área rural do estado do Paraná, número de residências, consumo médio de água (para uso doméstico) e produção de efluentes. Os dados foram implementados numa planilha eletrônica (construído para essa finalidade) sendo enquadrados nas quatorze bacias hidrográficas do estado do Paraná, a saber: Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu, Bacia Hidrográfica Litorânea, Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi, Bacia do Paraná III, Bacias do Piquiri e Paraná II, Bacia Ivaí e Paraná I, Bacia do Rio Ribeira, Bacia do Rio das Cinzas, Bacia do Rio Itararé, Bacia do Rio Paranapanema I, Bacia do Rio Paranapanema II, Bacia do Rio Paranapanema III, Bacia do Rio Paranapanema IV e a Bacia do Pirapó.

Em posse dos dados relacionados ao número de habitantes da área rural do estado do Paraná, número de residências e número de habitantes por domicílio, foi calculado o potencial de consumo médio de água (para uso doméstico) multiplicando o número de habitantes em cada bacia hidrográfica pela consumo médio de água de $150 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (SNIS, 2012). A geração de efluentes domésticos por dia em cada bacia hidrográfica foi obtida por meio do cálculo do número de habitantes da bacia pela taxa média de geração de efluentes de $120 \text{ L efluentes dia}^{-1}$ (OMS, 2012). As informações obtidas tratam-se de resultados inéditos que não são encontrados na literatura.

Os resultados foram organizados em forma de tabelas e gráficos para a melhor visualização e comparação das informações sobre cada bacia hidrográfica paranaense nos diferentes aspectos considerados no diagnóstico. Foram obtidos também resultados das condições do saneamento rural na região sul e no estado do Paraná, no que se refere aos métodos de tratamento de efluentes domésticos da área rural.

3.1.2. Diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos no município de Toledo/PR

O diagnóstico em torno do município de Toledo/PR foi também realizado com base de pesquisas em bancos de dados pertencentes ao IBGE (2010) e ao IPARDES (2012). Para a estimativa total e segregada de geração de efluentes domésticos foi utilizado a correlação de Morejon *et al.*, (2006), a qual apresenta um nível de detalhamento das fontes de geração de efluentes domésticos compreendendo a pia da cozinha, a lavanderia, o chuveiro, o vaso sanitário e a parcela de volume de óleo residual gerado na residência.

Para a utilização da correlação foi necessário identificar o número de habitantes e residências da área urbana e rural do município de Toledo-PR, os quais foram implementados em um banco de dados, desenvolvido para essa finalidade. A partir desses dados e das informações sobre o consumo de água e o volume de efluentes gerados em cada fonte de descarte de uma residência realizou-se a estimativa do potencial de geração de efluentes domésticos. Para o cálculo da geração de efluentes, em cada distrito e na área urbana, foram consideradas residências com cinco habitantes, sendo que cada residência consome $17,5 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ de água e descarta $0,001 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ de óleo, $1,5 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ de efluentes na pia da cozinha, $4,5 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ efluentes do chuveiro, $6,5 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ efluentes do vaso sanitário e $4,7 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ da lavanderia, totalizando uma geração de $17,24 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ de efluentes por residência (MOREJON, *et al.* 2006).

Após a estimativa do potencial de consumo de água e do potencial de geração de efluentes domésticos foi realizado uma comparação dos valores obtidos, entre os nove distritos administrativos de Toledo/PR, bem como a comparação entre os resultados consolidados da área rural e da área urbana do município.

Os resultados do consumo de água, do descarte de óleo, descarte dos efluentes líquidos gerados na pia da cozinha, chuveiro, lavanderia e vaso sanitário, bem como o total de efluentes domésticos gerados na área rural e urbana de Toledo/PR, foram organizados em tabelas e gráficos de acordo com a localização das residências.

Com base da localização das residências da área urbana e rural, esta última composta de nove distritos administrativos (Dois Irmãos, Vila Ipiranga, Vila Nova, Novo Sarandi, Novo Sobradinho, São Miguel, São Luiz do Oeste, Dez de Maio e Concórdia d'Oeste) foi possível desenvolver um mapa temático (mapa de risco) do município de Toledo-PR, no qual se explicita a localização de todas as fontes de geração de efluentes

(residências) e sua influência nos recursos hídricos pela proximidade dos cursos d'água. Para a construção do mapa temático foi utilizado o software *Quantum Gis*.

3.2. CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS DAS ÁREAS RURAIS

A caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes domésticos foi realizada com base nos balanços de massa e nas informações disponíveis na literatura, principalmente aquela relacionada com o efluente do vaso sanitário. Na caracterização foram contemplados a análise dos parâmetros físicos (sólidos, turbidez, presença de óleo/gordura, entre outros), químicos (destaca-se o pH, DBO, DQO, NTK e nitrato) e biológicos (coliformes totais, fecais e ovos de helminto) do esgoto sanitário, das fezes, da urina e dos efluentes da pia da cozinha. Na caracterização quantitativa foram calculados os volumes diários e mensais de produção de efluentes na pia da cozinha e no vaso sanitário com base da metodologia apresentada por Morejon *et al.*, (2006) e Caron *et al.*, (2009).

3.3. AVALIAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS GARGALOS TECNOLÓGICOS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MÉTODOS, PROCESSOS E TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DAS ÁREAS RURAIS

Esta etapa contemplou a análise das tecnologias convencionais de tratamento dos efluentes provenientes da pia da cozinha e do vaso sanitário utilizadas nas residências das áreas rurais. Os resultados da análise foram obtidos por meio da realização de experimentos e de uma busca de anterioridade em que foram coletadas informações em artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e busca em bancos de patentes (Instituto Nacional de Propriedade Industrial-INPI, *Derwent*, *Esp@cenet*, USPTO, *Epoline*, JPO, CIPO, *Free Patents Online*) conforme relatado abaixo.

3.3.1 Análise dos métodos, processos e tecnologias convencionais para o tratamento dos efluentes domésticos provenientes da pia da cozinha

Visando avaliar o desempenho dos métodos convencionais para o tratamento dos efluentes domésticos oriundos da pia da cozinha, realizaram-se análises de eficiência da retenção de óleo/gordura (O/G) e sólidos particulados (SP). Para isso, desenvolveu-se um módulo experimental composto por uma pia de cozinha, três caixas de gordura, tubulações, registros e tanque para coleta/armazenamento dos efluentes tratados. As caixas de gordura empregadas no experimento foram os modelos convencionais de 20 L das marcas A, B e C disponíveis no mercado.

No estudo da eficiência das caixas foram consideradas três vazões, no escoamento do efluente, sendo elas $1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, (valor baixo), $7,14 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (valor intermediário) e $4,3 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (valor máximo). A altura manométrica entre a pia e as caixas de gordura A, B e C foi 1,10 m para efeitos de comparação. As condições operacionais das três caixas de gordura foram as mesmas, com coletas de amostras depois de cada tratamento do efluente, simulando a situação real das residências.

Na preparação da carga (efluente) foram consideradas duas situações: uma constituída de óleo de cozinha convencional e água e outra de sólidos particulados (restos de alimentos) e água. Em cada caso foi utilizado três composições, o primeiro com 0,025; 0,050 e 0,100 L de óleo e gordura (O/G_E) despejado na pia e o segundo com 0,020; 0,080 e 0,150 kg de sólidos particulados (SP_E) também despejados na pia e arrastados pela água alimentada pela torneira, nas vazões anteriormente especificadas. Os experimentos foram realizados separadamente, em cada uma das três caixas de gordura e totalizaram 54 ensaios.

O cálculo da eficiência de retenção de sólidos particulados (η_1) e eficiência de retenção de óleos/gorduras (η_2), foi realizado com base nas Equações 1 e 2 respectivamente.

$$\eta_1 = \frac{Q_{(SP)E} - Q_{(SP)S}}{Q_{(SP)E}} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

η_1 = eficiência de retenção de sólidos particulados (%);

$Q_{(SP)E}$ = quantidade de sólidos particulados que entra na caixa de gordura (kg); e

$Q_{(SP)S}$ = quantidade de sólidos particulados que sai da caixa de gordura (kg)

$$\eta_2 = \frac{Q_{(O/G)E} - Q_{(O/G)S}}{Q_{(O/G)E}} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

η_2 = eficiência de retenção de óleos/gorduras (%);

$Q_{(O/G)E}$ = quantidade de óleo/gordura que entra na caixa de gordura (L); e

$Q_{(O/G)S}$ = quantidade de óleo/gordura que sai da caixa de gordura (L).

3.3.2. Análise dos métodos, processos e tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário

A análise prevista nesta etapa foi realizada por meio de uma busca de anterioridade com a coleta de informações relacionadas aos fundamentos físicos, químicos e biológicos do tratamento, eficiência do tratamento, tempo de retenção e aspectos técnicos e constitutivos dos equipamentos. Foram utilizadas informações de artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e, principalmente em base de dados de bancos de patentes. O resultado do estudo foi a obtenção das vantagens e das limitações/gargalos encontradas nos sistemas convencionais de tratamento dos efluentes domésticos oriundos do vaso sanitário utilizados na área rural que serviram de subsídio para o desenvolvimento da tecnologia e para o posterior pedido de patente.

3.4. PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UMA TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS PROVENIENTES DO VASO SANITÁRIO E DA PIA DA COZINHA DAS RESIDÊNCIAS DA ÁREA RURAL

Posteriormente a identificação dos gargalos/limitações das tecnologias convencionais para os tratamentos dos efluentes provenientes da pia da cozinha e do vaso sanitário, desenvolveu-se um novo método de tratamento, fundamentado na separação do efluente ao longo da saída da fonte de geração (pia da cozinha e vaso sanitário).

O projeto e o desenvolvimento da tecnologia alternativa foram realizados com base no estudo dos fundamentos teóricos (processos de sedimentação e separação de partículas sólidas do meio líquido e biodigestão anaeróbica) inerentes ao tratamento de efluentes domésticos e também na avaliação das tecnologias existentes para o tratamento dos efluentes domésticos da área rural. Nesse desenvolvimento, prevaleceu o tratamento seletivo em função da fonte de geração dos efluentes dentro das residências e das suas características (efluente da pia da cozinha, efluente líquido do vaso sanitário e dejetos sólidos do vaso sanitário), conforme apresenta-se na Figura 28.

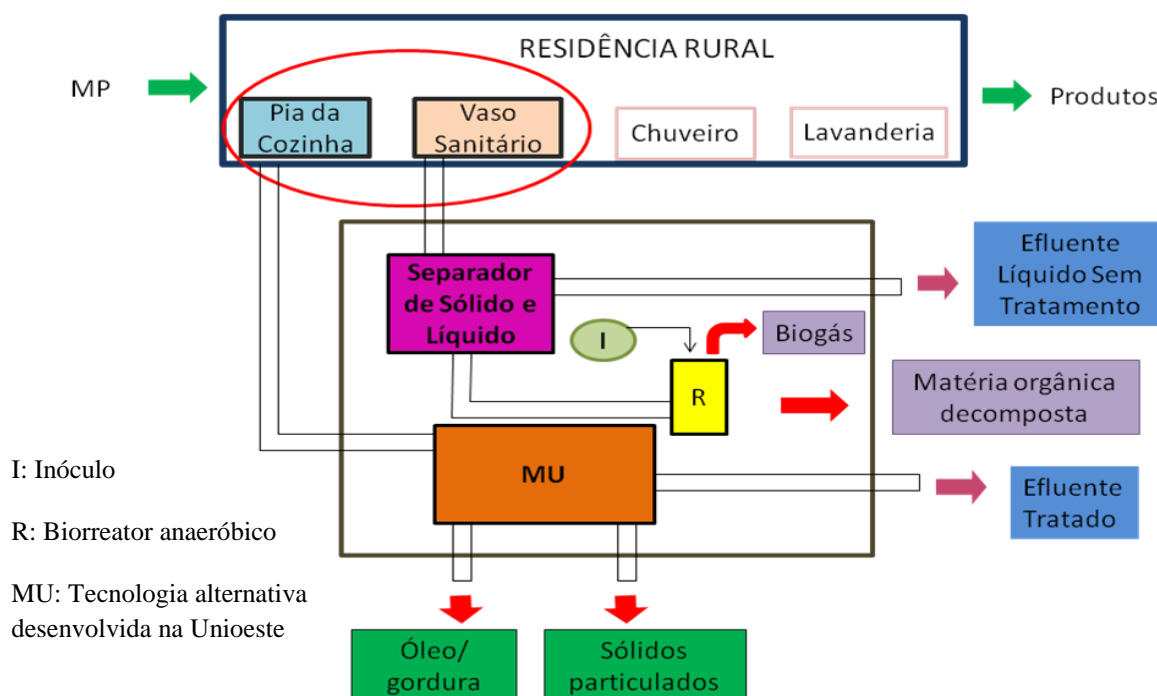


Figura 28. Esquema geral do método alternativo para tratamentos dos efluentes domésticos da área rural.

3.4.1. Projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes do vaso sanitário

Para obtenção do projeto da tecnologia alternativa foram executadas quatro etapas descritas a seguir.

3.4.1.1. Identificação das soluções para as limitações e gargalos técnicos das tecnologias convencionais de tratamento de efluentes do vaso sanitário

Na avaliação da eficiência e adequabilidade das tecnologias convencionais foi constatada a existência de gargalos técnicos nos equipamentos, o que compromete a eficácia no tratamento dos efluentes do vaso sanitário. Diante disso, estudou-se detalhadamente os fundamentos teóricos dos métodos de tratamento em questão utilizando o método de prospecção da literatura, e como consequência foram sugeridas soluções para as limitações identificadas.

3.4.1.2. Análise das características qualitativas e quantitativas dos efluentes domésticos do vaso sanitário

Após indicadas às soluções obtidas na etapa anterior foram analisadas as características qualitativas (físicas, químicas e biológicas) e quantitativas (volume gerado diariamente e mensalmente) dos efluentes do vaso sanitário que influenciam no processo de tratamento. A partir disso, foi possível definir que os efluentes provenientes do vaso sanitário (água + urina e fezes) devem ser segregados após a saída do dispositivo por meio da instalação de um separador. Para o tratamento dos dejetos sólidos optou-se pela utilização de um biorreator anaeróbico.

3.4.1.3. Sistematização das informações no desenho do projeto

Depois de propostas as soluções para os gargalos e definidos os métodos de operação da tecnologia alternativa, foram elaborados os desenhos técnicos do processo de tratamento utilizando o software de CAD 3D *Inventor*®, que deram origem ao projeto do separador e do biorreator anaeróbico empregado para o tratamento dos efluentes do vaso sanitário.

3.4.1.4. Testes laboratoriais para avaliar a implantação das inovações incrementais ou radicais

Baseado no projeto desenvolvido foram executados testes em bancada de laboratório, com a finalidade de avaliar a adequabilidade e eficiência das soluções sugeridas, ajustar e corrigir os problemas encontrados.

Nesse sentido, realizou-se um experimento para a obtenção dos parâmetros operacionais (tempo de retenção, utilização de inóculo, fibras e água, e capacidade de geração de biogás) do biorreator anaeróbico utilizado para a degradação dos dejetos sólidos, e um experimento para a definição das condições ideais de operação do separador de urina e fezes (tamanho dos orifícios da peneira do separador e o ângulo de inclinação mais favorável à separação efetiva da parte líquida da sólida), conforme descrito a seguir nos itens a e b.

a) Avaliação dos parâmetros operacionais inerentes à degradação de dejetos humanos por meio do uso de biorreatores anaeróbicos.

Para a definição dos parâmetros operacionais do biorreator anaeróbico empregado na degradação dos dejetos provenientes do vaso sanitário, foi realizado um experimento em escala de laboratório.

No processo da biodigestão anaeróbica ocorrem reações bioquímicas em três estágios (hidrólise, fermentação acidogênica e metanogênica) em que atuam diversos tipos de bactérias, na ausência de oxigênio. Um grupo fundamental de bactérias presentes no

processo é das bactérias metanogênicas, que atuam na última etapa responsáveis pela formação do metano (CH₄) (LUCAS JUNIOR, 1994; SILVA, 2009).

De acordo com Chernicharro (1997) e Silva (2009), na fase da hidrólise ocorre a transformação dos materiais orgânicos complexos (como polímeros de carboidratos, proteínas, lipídeos), em materiais dissolvidos mais simples (açúcares, aminoácidos, peptídeos).

Segundo os mesmos autores na fase da acidogênese os produtos oriundos da hidrólise são metabolizados e convertidos principalmente em ácidos graxos voláteis (AGV's). Entre os compostos produzidos além dos AGV's há a produção de álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio. Na subetapa da acetogênese os produtos da acidogênese são oxidados originando o substrato (hidrogênio, dióxido de carbono e acetato) para as bactérias metanogênicas.

Na fase metanogênica pela especificidade com que os microrganismos utilizam-se do substrato, as bactérias arqueias formam dois grupos principais conhecidas como acetoclásticas, pois formam metano à partir do acetato e hidrogenotróficas que são produtoras de metano utilizando o hidrogênio e dióxido de carbono (CHERNICHARRO, 1997).

Para ocorrer o processo de biodigestão anaeróbia de forma eficiente é necessário que alguns requisitos sejam garantidos, como a quantidade adequada dos nutrientes requeridos (nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, riboflavina e vitamina B12) pela população microbiana (LETTINGA *et al.*, (1996; SILVA, 2009). Destaca-se a importância da temperatura no processo, os valores ótimos, em que o crescimento bacteriano é máximo, é de 30 a 35 °C na faixa mesofílica e de 50 a 55 °C na faixa termofílica, apesar da formação de metano ocorrer em uma faixa bastante ampla de 0 a 97 °C (CHERNICHARRO, 1997).

Nesse experimento foram utilizados recipientes de vidro (volume de 2 L) que foram vedados e pintados com tinta preta fosca para simular o reator anaeróbico, tubos flexíveis para coleta dos gases formados durante o processo de degradação, recipientes de 250 mL contendo água para definir o tempo de retenção dos sólidos dentro do reator e balões coletores de gás, conforme mostra a Figura 29.

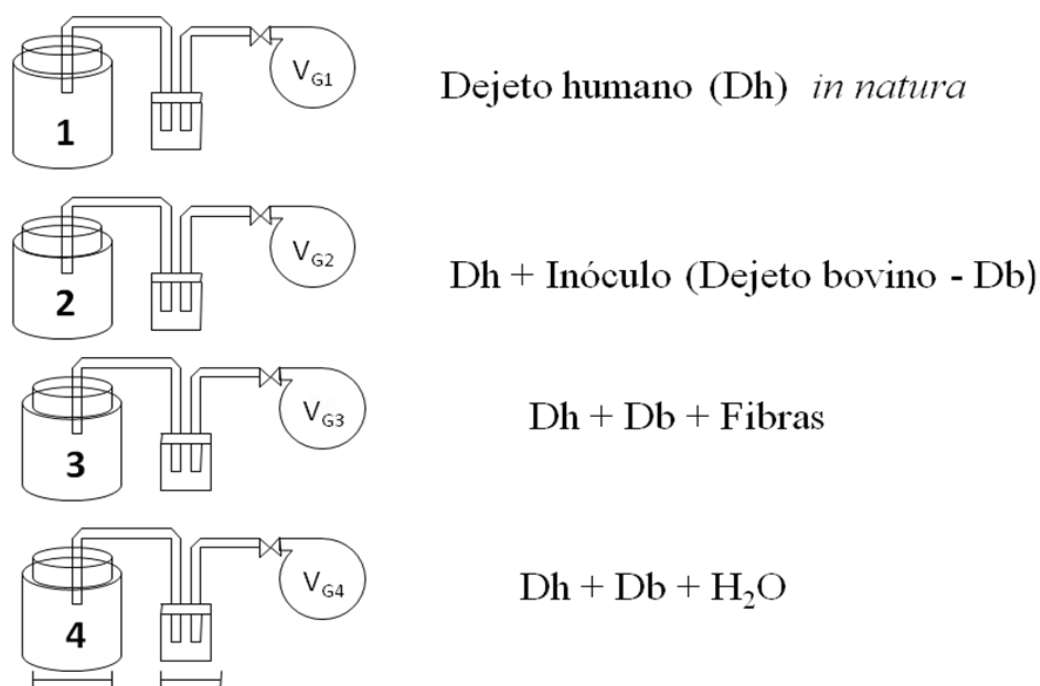


Figura 29. Experimento para definição do tempo de residência dos dejetos no reator.

Testou-se quatro métodos de degradação da matéria orgânica, visando obter a alternativa de maior eficiência e menor necessidade de tempo dos dejetos dentro do dispositivo. Em cada reator, foi utilizado um tratamento, sendo eles: reator 1) 500 g de dejeito humano (Dh) *in natura*; reator 2) 200 g de dejeito humano e inóculo (20 g dejeito bovino - Db); reator 3) 500 g de dejeito humano, 50 g de dejeito bovino e 20 g de fibras (serragem); e reator 4) 700 g de dejeito humano, 70 g de dejeito bovino e 0,5 L de água.

A utilização do inóculo foi baseada na necessidade da redução no tempo necessário para bioestabilização dos dejetos. Nesse sentido, são adicionados inóculos como lodos de esgoto sanitário e materiais de origem animal (esterco bovino ou de outros animais ruminantes) ricos em microrganismos anaeróbios capazes de acelerar o tempo de bioestabilização (LEITE *et al.*, 2003; FELIZOLA *et al.*, 2006). Com relação a serragem, sua adição foi realizada visando avaliar a necessidade da complementação de carbono no sistema para garantir um meio anaeróbico favorável a biodigestão através da disponibilização de alimento para as bactérias (CISAM, 2006; AUGUSTO, 2007).

Durante o experimento, os reatores foram dispostos em uma bacia contendo água aquecida, por meio de uma resistência elétrica, a 37°C, com o objetivo de manter a temperatura constante e adequada ao processo de biodigestão. Realizou-se o

monitoramento da temperatura dentro dos reatores utilizando um termômetro tipo espeto JPROLAB.

Após decorridos 30 dias do início do experimento, os biorreatores foram abertos para a verificação do estado de degradação biológica em que encontravam-se os dejetos. Inicialmente, pretendia-se obter o tempo necessário de detenção dos dejetos dentro dos reatores por meio da análise da geração de gás, ou seja, quanto estivesse ocorrendo atividade microbiana (degradação anaeróbica da matéria orgânica) dentro do reator seria produzido biogás e no momento que a mesma cessasse, a estabilização da matéria orgânica estaria completa. Porém devido à baixa de quantidade de dejetos existente, não foi possível a observação da formação de biogás, sendo que a quantidade da sua geração foi mínima e insuficiente para análises com objetivo de verificar sua potencialidade de utilização em sistemas de cogeração seja para fornecimento de aquecimento ou energia elétrica.

Após, ocorrido o processo de biodegradação dos dejetos, a matéria orgânica estabilizada, contida no reator que apresentou o tratamento mais efetivo em relação à degradação biológica do dejetos e o tempo de detenção, foi encaminhada ao Laboratório de Química Ambiental da UNIOESTE, *campus* de Marechal Candido Rondon, para análises de nitrogênio, fósforo e potássio. Para a obtenção dos valores de nitrogênio utilizou-se a metodologia da digestão sulfúrica e destilação por método Kjeldhal. Na determinação de P empregou-se a digestão nitroperclórica pelo método do metavanadato de amônio. Quanto aos valores de K foi utilizada a digestão nitroperclórica e a determinação em Espectrômetro de Absorção Atômica.

As análises bacteriológicas de *Escherichia coli* (*E.coli*) e coliformes totais foram realizadas no Laboratório de Limnologia localizado no Bloco do GERPEL da UNIOESTE, *campus* de Toledo, de acordo com o método cromogênico utilizando kit Colilert (Idexx/Quanti-tray-2000). A metodologia consiste detecção de coliformes totais e *E.coli* em amostras de efluentes através da reação com ONPG (o-nitro fenil-beta-D-galactopiranosídeo) e MUG (4-metilumbeliferil-beta-D-glucoronida) respectivamente. O meio de cultura já vem na quantidade adequada para a análise de 100 mL de efluente (em que foi diluído 1 g do resíduo estabilizado) bastando adicionar o conteúdo de um recipiente a amostra. Este volume foi colocado em cartela própria (quanti-tray/2000), sendo posteriormente selada e incubada a 35°C por 24 horas, conforme ilustrado na Figura 30. Amostras que ficaram amarelas foram consideradas positivas para coliformes totais. Os resultados foram lidos em tabela própria, fornecida pelo fabricante.



Figura 30. Cartela e incubador do método de análise bacteriológica Kit Colilert.

Tais análises foram executadas visando analisar a adequabilidade e potencialidade de utilização do resíduo digerido como adubo orgânico ou para disposição final no solo de acordo com a legislação vigente (CONAMA 375, 2006) assim como comprovar a eficiência do dispositivo na degradação da matéria orgânica e na inativação de microrganismos patogênicos. Os resultados das análises químicas e bacteriológicas são apresentados no item de Operação e Monitoramento da Tecnologia por se tratar das respostas obtidas do método de operação definido do biorreator.

b) Definição das condições ideais de instalação e operação do separador de efluentes do vaso sanitário

Para definir as condições ideais de instalação e operação do separador da parte da líquida e do material sólido foi realizado um experimento utilizando o protótipo do separador, materiais com densidades próximas aos dejetos humanos (macarrão cozido e sabugo de milho) e água, visando simular em escala de laboratório as condições reais conforme ocorre nas residências. Durante o experimento o separador foi posicionado em diferentes ângulos de inclinação (10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60° e 70°) e os materiais foram despejados no interior protótipo com o objetivo de obter a posição mais adequada (ângulo de repouso) e eficiente na separação efetiva do efluente líquido e do dejetos sólido.

3.4.2. Projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes da pia da cozinha

Da mesma forma que foi elaborado o projeto da tecnologia de tratamento dos efluentes foi desenvolvido o projeto da tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes da pia da cozinha visando a inserção no módulo de tratamento.

3.4.2.1. Identificação das soluções para as limitações e gargalos técnicos das tecnologias convencionais de tratamento de efluentes da pia da cozinha

No experimento realizado para a avaliação da eficiência das caixas de gordura constatou-se a existência de várias limitações técnicas que comprometeram a eficiência da retenção de óleos/gorduras e material particulado. Para as limitações identificadas foram sugeridas soluções e readequações baseadas no estudo dos fundamentos teóricos dos métodos de tratamento em questão, e na tecnologia alternativa desenvolvida por PIZZATTO (2012), denominada “Caixa de tratamento de efluentes da pia da cozinha com separação simultânea de gorduras e de sólidos sedimentáveis – Modelo UNIOESTE”.

3.4.2.2. Análise das características qualitativas e quantitativas dos efluentes domésticos da pia da cozinha

Nesta etapa foram analisadas as características qualitativas (físicas, químicas e biológicas) e quantitativas (volume gerado) dos efluentes da pia da cozinha da área rural que influenciam no processo de tratamento. O conhecimento das características do efluente somado as soluções propostas possibilitaram a obtenção de melhorias na tecnologia desenvolvida por PIZZATTO (2012) e a readequação para a implantação no módulo de tratamento de efluentes domésticos da área rural.

3.4.2.3. Sistematização das informações no desenho do projeto

Depois de propostas as soluções para os gargalos, melhorias e adequações na tecnologia de PIZZATTO (2012), foram elaborados os desenhos técnicos do projeto da

tecnologia alternativa para tratamento dos efluentes da pia da cozinha utilizando o software de CAD 3D *Inventor*®.

3.5. CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DA TECNOLOGIA ALTERNATIVA (PROTÓTIPO) EM DIVERSAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

Com base no projeto resultante da etapa anterior foi construído o protótipo do separador de efluentes do vaso sanitário e do biorreator anaeróbico, evidenciando-se que a característica principal do sistema é o tratamento seletivo dos efluentes domésticos de acordo com as suas características e fonte de geração. Para a execução desta etapa o projeto conta com a colaboração de uma empresa localizada no município de Toledo/PR, bem como com a infra-estrutura da oficina mecânica do curso de Engenharia Química da Unioeste.

Posteriormente a construção, realizou-se a operação e monitoramento da tecnologia alternativa, para avaliar a eficiência do equipamento por meio do monitoramento transiente das variáveis e parâmetros mais relevantes do processo.

No sistema de tratamento dos efluentes do vaso sanitário foi avaliado o tempo de residência no reator, a eficiência do separador na segregação da urina e dos dejetos sólidos, a capacidade de geração de biogás e por fim as características do material estabilizado e o seu enquadramento na legislação (CONAMA 375, 2006), conforme metodologia descrita no item 3.4.1.4. a).

3.6. ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA

Nesta etapa realizou-se a análise de concordância entre o que inicialmente era esperado e os resultados obtidos, por meio da revisão e discussão destes com relação à eficiência da tecnologia alternativa na separação dos dejetos sólidos e líquidos, degradação da matéria orgânica e inativação de microrganismos patogênicos presentes nos dejetos sólidos do vaso sanitário, implantação da caixa de gordura alternativa no sistema de

tratamento desenvolvido e a presença de inovações incrementais que possibilitaram o pedido de 3 patentes no INPI.

CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA FONTE GERADORA DE EFLUENTES DOMÉSTICOS (RESIDÊNCIAS DA ÁREA RURAL)

4.1.1. Diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos no estado do Paraná

A realização do diagnóstico da gestão dos efluentes no estado do Paraná possibilitou o conhecimento da contribuição percentual do número de habitantes e domicílios da área rural em cada bacia hidrográfica do estado do Paraná; da estimativa do consumo de água para uso doméstico e da geração de efluentes domésticos nas 14 bacias hidrográficas do estado do Paraná; do percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto nas cinco regiões do Brasil e nos estados da região sul do país; e do percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto e fossa séptica nas cinco regiões do Brasil e nos estados da região sul do país. Na Figura 31 apresenta-se o mapa hidrográfico do estado do Paraná evidenciando a localização de cada uma delas, sendo que o município de Toledo localiza-se na bacia do Paraná III (SEMA, SD).



Figura 31. Mapa hidrográfico do estado do Paraná. Fonte: SEMA, 2010.

Os resultados obtidos referentes à estimativa do consumo de água para uso doméstico e da geração de efluentes domésticos nas 14 bacias hidrográficas do estado do Paraná não existem na literatura, e foram de grande contribuição para o entendimento da gestão dos efluentes domésticos na área rural do Estado, como também para a verificação da necessidade do desenvolvimento de tecnologias alternativas devido ao grande potencial de geração de efluentes domésticos na área rural e a deficiência dos métodos convencionais na eficiência do tratamento.

Na Figura 32 apresenta-se os resultados da contribuição percentual do número de habitantes residentes na área rural de cada bacia hidrográfica do estado do Paraná, de acordo com dados coletados do IPARDES (2012) e Instituto das águas do Paraná (2012). Nessa figura constata-se que a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu apresenta a maior densidade demográfica da área rural do Paraná, com 32% do total de habitantes. Tal representatividade deve-se a elevada quantidade de municípios abrangidos por sua área, tais como: Curitiba, Foz do Iguaçu, Palmas, Francisco Beltrão, entre outros. De acordo com a Figura 32, a bacia do Rio Paranapanema II possui a menor contribuição percentual em relação ao número de habitantes na área rural do estado, isto ocorre devido à presença de apenas quatro municípios de pequeno porte em toda a extensão da bacia.

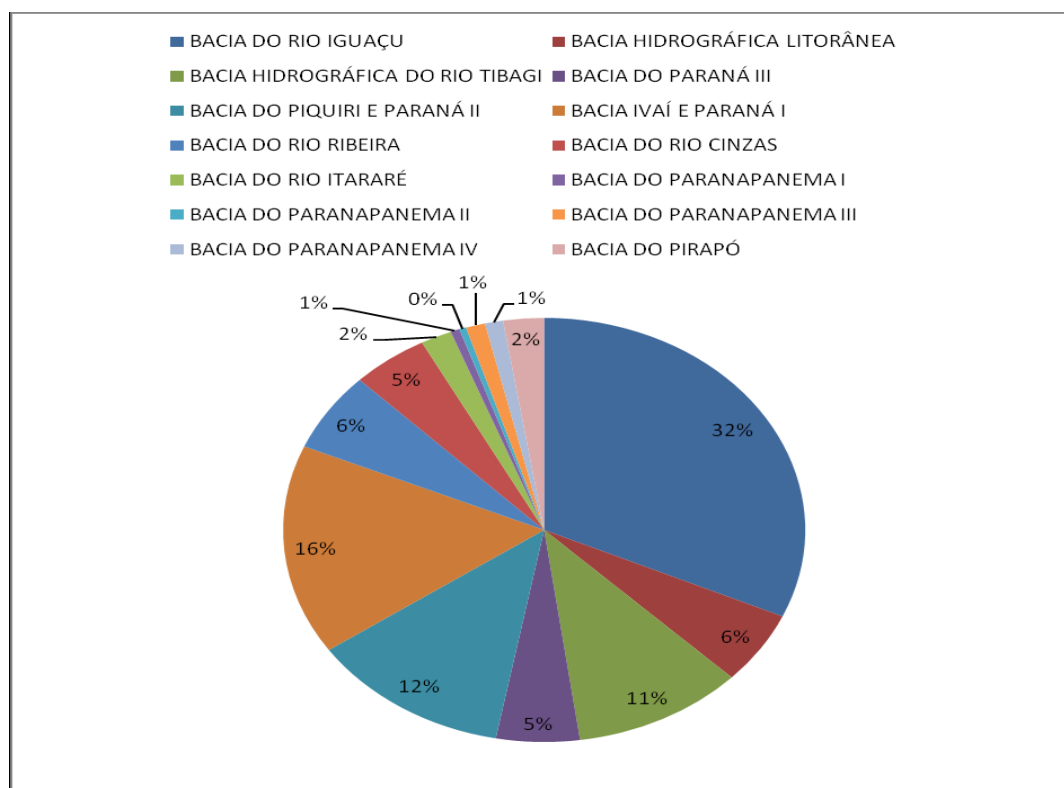


Figura 32. Contribuição percentual do número de habitantes da área rural em cada bacia hidrográfica do estado do Paraná. Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 33 apresenta os resultados da contribuição percentual de cada bacia hidrográfica no número de domicílios na área rural com base nas informações do IPARDES (2012) e Instituto das Águas do Paraná (2012). A área rural do estado do Paraná possui aproximadamente 204 mil residências, sendo que a bacia do Rio Iguaçu aparece com o maior percentual de contribuição sobre o total, com 31%, e a bacia do Rio Paranapanema II com o menor percentual de residências (2906 residências).

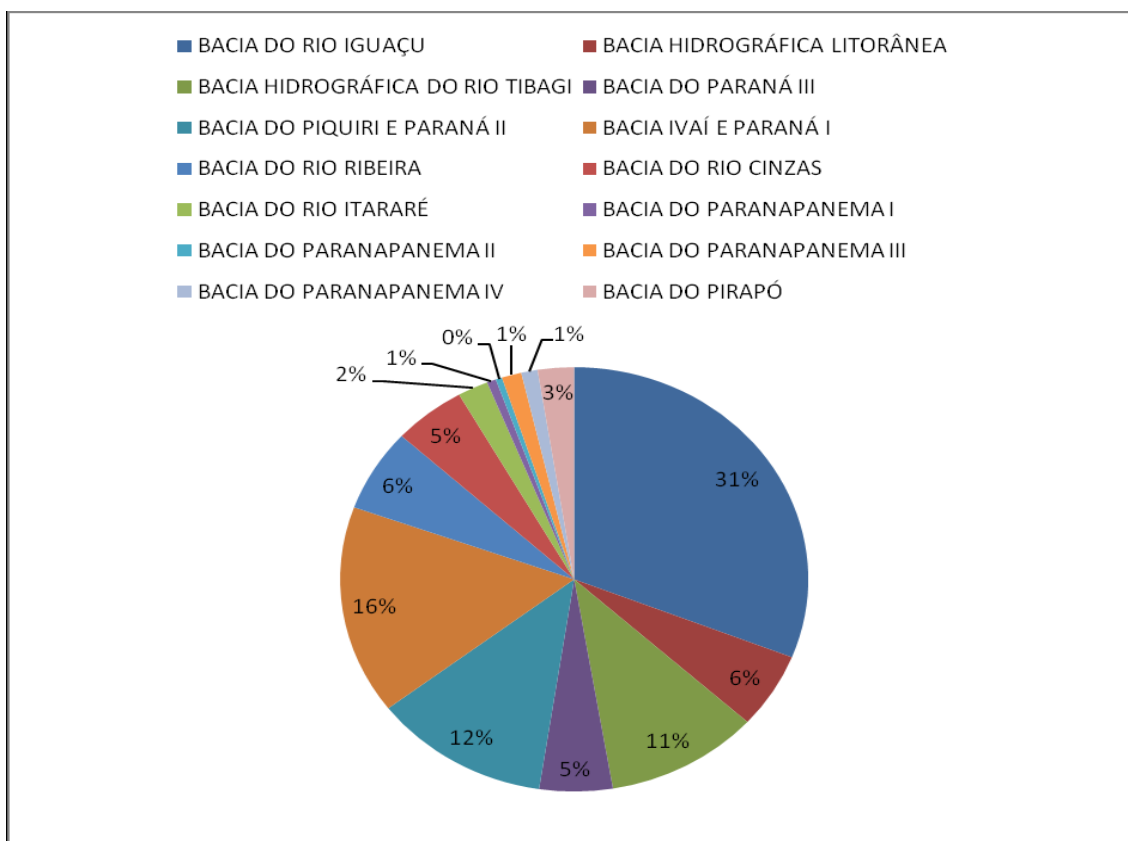


Figura 33. Contribuição percentual de cada bacia hidrográfica no número de domicílios da área rural do estado do Paraná. Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 34 mostra os resultados referentes ao consumo diário de água em cada bacia hidrográfica do Paraná. Foi considerado no cálculo a taxa de consumo de 150 L hab⁻¹ dia⁻¹ (SNIS, 2012). Devido ao elevado percentual de habitantes e domicílios localizados na área rural da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, ela apresentou o maior consumo diário de água para uso doméstico (mais de 103 mil m³ dia⁻¹). De outro lado, a bacia hidrográfica do Rio Paranapanema II consome 1.378 m³ de água diariamente representando o menor valor dentre as bacias analisadas. Estimou-se que ao final de um dia são consumidos aproximadamente 326.482 m³ de água nas quatorze bacias hidrográficas pertencentes às áreas rurais do estado do Paraná.

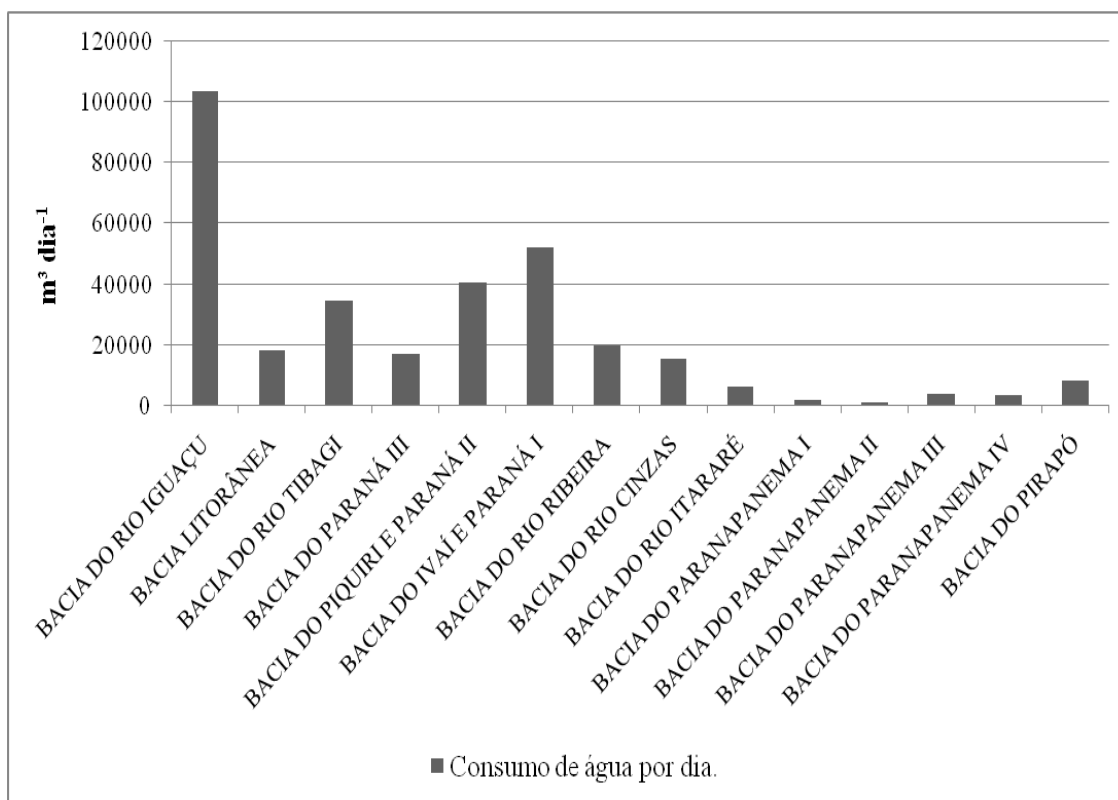


Figura 34. Estimativa do consumo de água para uso doméstico nas 14 bacias hidrográficas do estado do Paraná. Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 35 ilustra os resultados da estimativa de geração diária de efluentes domésticos correspondentes as 14 bacias hidrográficas do estado do Paraná. Para esse cálculo foi considerado uma produção média de 120 L efluentes dia⁻¹ por habitante (OMS, 2012). Devido à maior densidade demográfica, a bacia hidrográfica do Rio Iguaçu também apresentou o maior potencial de geração de efluentes domésticos, com a produção diária de 82.709,76 m³ de esgoto doméstico. O inverso ocorreu no caso da bacia hidrográfica do rio Paranapanema II, que produziu cerca de 1.103 m³ efluentes dia⁻¹, constituindo-se no menor valor apresentado dentre as bacias hidrográficas analisadas. O somatório dos volumes de efluentes gerados, nas residências rurais localizadas nas quatorze bacias hidrográficas do estado do Paraná, mostra um potencial de geração de 261.185,52 m³ de efluentes domésticos por dia.

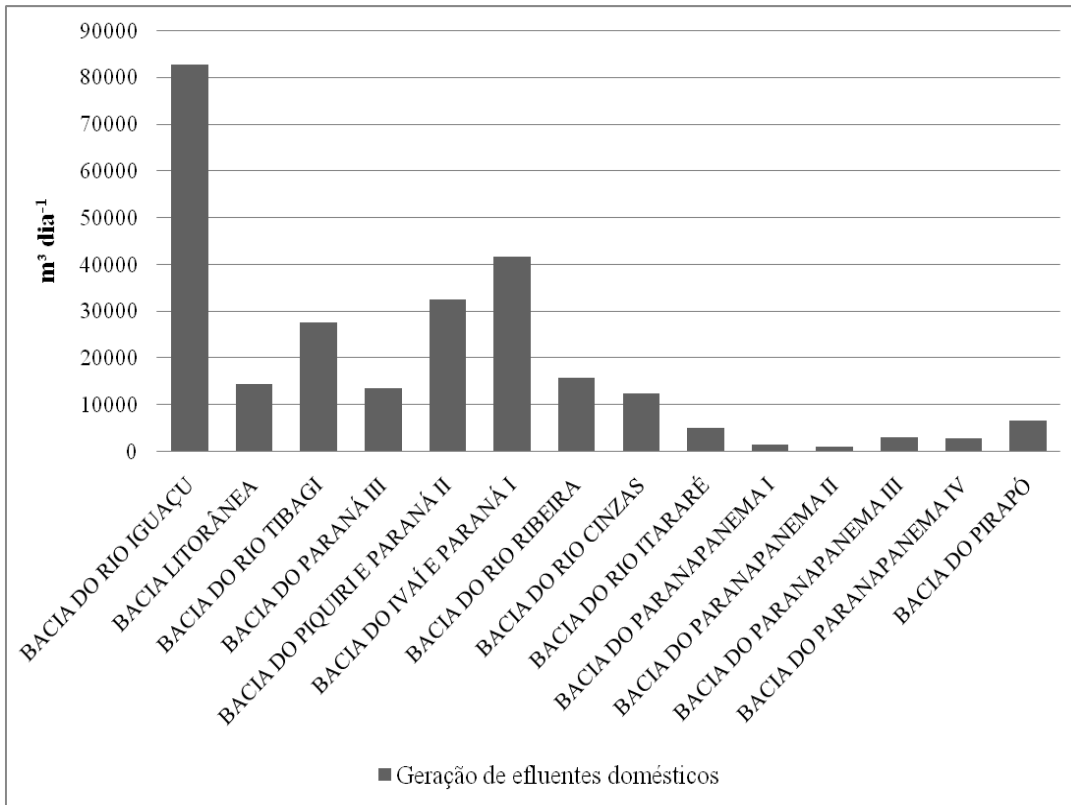


Figura 35. Estimativa de geração de efluentes domésticos nas 14 bacias hidrográficas do estado do Paraná. Fonte: Resultados da pesquisa.

As Figuras 36 e 37 apresentam respectivamente, os percentuais da presença das redes coletoras de esgoto nas áreas rurais das cinco regiões do país e dos três estados da região sul, segundo dados do Censo-IBGE (2010).

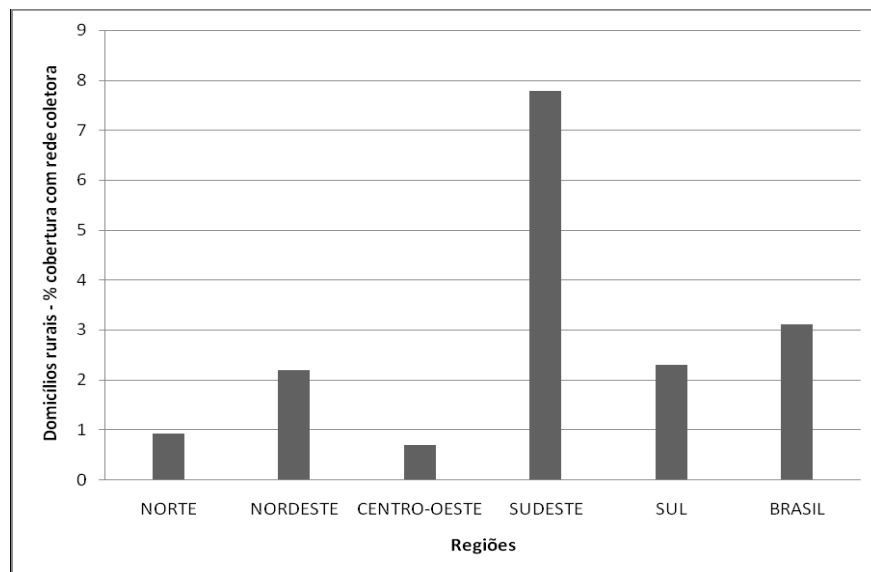


Figura 36. Percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto nas cinco regiões do Brasil. Fonte: Adaptado do Censo IBGE, 2010.

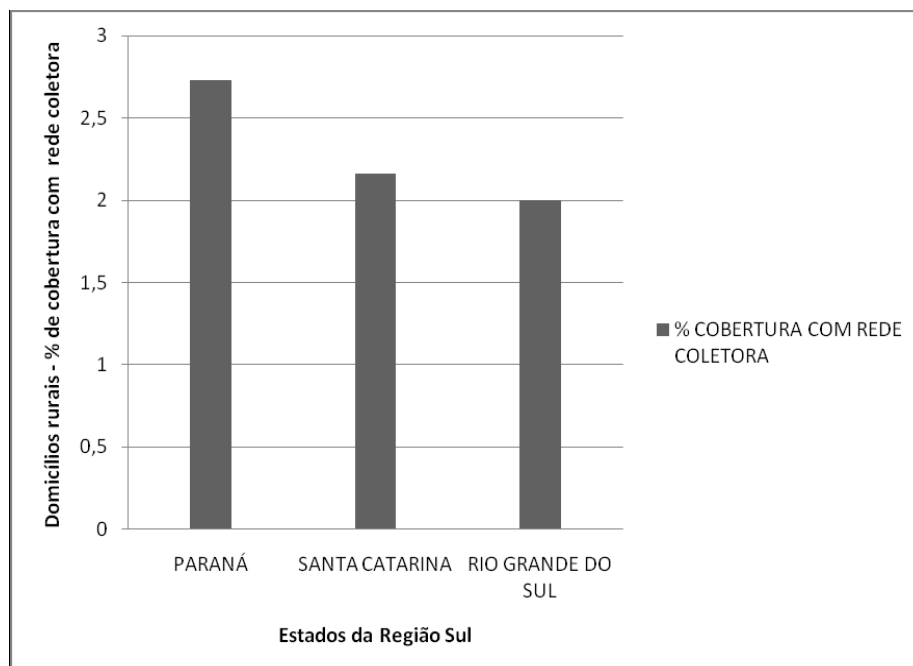


Figura 37. Percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto nos estados da região sul do Brasil. Fonte: Adaptado do Censo IBGE, 2010.

Conforme as Figuras 36 e 37, o percentual da presença das redes coletoras de efluentes domésticos nas áreas rurais do Brasil, é extremamente baixo, demonstrando que apenas 3,11% das mesmas têm seus efluentes tratados. A região sudeste se sobressai diante das demais, com a porcentagem de 7,79% de cobertura das redes coletoras de esgoto, em seguida a região sul apresenta 2,30% de cobertura, sendo que o estado do Paraná possui o maior número de residências rurais ligadas às redes coletoras (2,73%).

As Figuras 38 e 39 apresentam respectivamente, o percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto e fossa séptica, nas cinco regiões do Brasil e nos três estados do Sul, segundo dados do Censo-IBGE (2010). Por meio desses resultados pode-se constatar alguns avanços do país, no que se refere à implantação de sistemas adequados para o tratamento e deslocamento dos efluentes domésticos até as estações de tratamento.

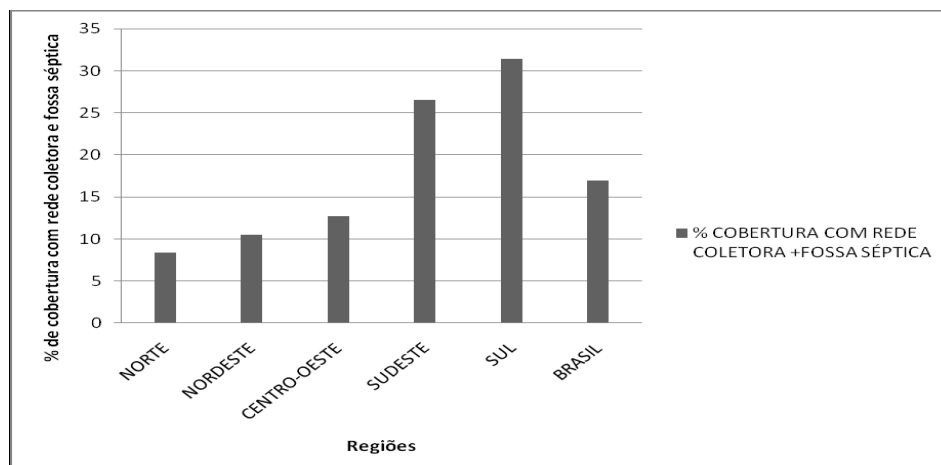


Figura 38. Percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto e fossa séptica nas cinco regiões do Brasil. Fonte: Adaptado do Censo IBGE, 2010.

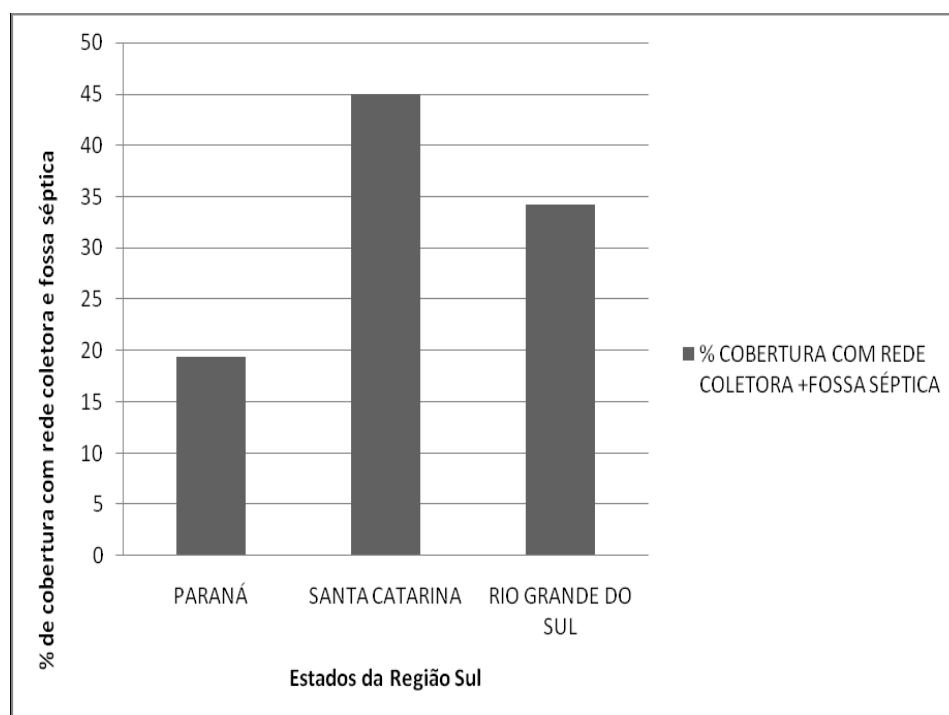


Figura 39. Percentual de domicílios rurais com cobertura das redes coletoras de esgoto e fossa séptica na região sul do Brasil. Fonte: Adaptado do Censo IBGE, 2010.

Considerando a presença da rede coletora e fossas sépticas nas residências das áreas rurais do Brasil, ocorre uma inversão dos dados apresentados anteriormente que tratavam da presença somente da rede coletora. A região Sul assume a liderança no país com 31,4% de abrangência, porém o estado do Paraná possui o menor percentual de cobertura com 19,35%, atrás de Santa Catarina que possui 44,46% e Rio Grande do Sul com 34,22%, como pode ser visualizado na Figura 39. Tais valores se justificam pelo interesse dos

governos e das empresas de saneamento de Santa Catarina e Rio Grande do Sul no investimento e promoção na melhoria da qualidade de vida da população rural. No Paraná pode-se dizer o mesmo, porém os investimentos são mais voltados para a implantação das redes coletoras nos distritos e vilas rurais densamente povoadas, talvez as atenções devessem ser voltadas para os locais com maior dispersão dos domicílios, investindo na educação ambiental da população visando à implantação de tecnologias eficientes e de baixo custo para as famílias.

Os resultados obtidos demonstram que 16% da população brasileira reside em áreas rurais, e menos de 25% das residências possui sistema de esgotamento sanitário adequado, sendo que na região norte tal percentual é reduzido a 8%. O melhor cenário, porém não favorável, é observado na região sul do país em que 31,4% dos domicílios rurais possuem rede de coleta ou fossa séptica. Nas áreas rurais do estado do Paraná são consumidos diariamente aproximadamente 326 mil m³ de água (para uso doméstico), conseqüentemente são gerados mais de 261 mil m³ dia⁻¹ de efluentes domésticos, sendo que somente 19,35% das residências possuem cobertura de redes coletoras e fossa séptica. Este cenário evidencia a carência do saneamento adequado, nas áreas rurais do Brasil e em particular do Estado do Paraná, bem como a necessidade da melhoria nas condições de vida das populações rurais.

4.1.2. Diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos no município de Toledo/PR

Posteriormente a realização do diagnóstico da gestão dos efluentes domésticos na área rural do estado do Paraná, foi desenvolvido um diagnóstico no município de Toledo/PR objetivando a obtenção de informações sobre o volume total dos efluentes domésticos gerados na área urbana e rural assim como, os volumes específicos produzidos em cada fonte de descarte das residências, sendo elas: pia da cozinha, lavanderia, vaso sanitário, chuveiro e descarte de óleo.

A Tabela 8 apresenta os valores utilizados como referência para o cálculo dos volumes (m³ mês⁻¹) de consumo de água ($C_{\text{água}}$), descarte de óleo ($D_{\text{Óleo}}$), descarte de efluentes pela pia da cozinha ($D_{\text{Efl. Pia}}$), descarte de efluentes líquidos pelo chuveiro ($D_{\text{Efl. Chuveiro}}$), descarte de efluentes líquidos pelo vaso sanitário ($D_{\text{Efl. V. Sanitário}}$), descarte de efluentes líquidos pela lavanderia ($D_{\text{Efl. Lavanderia}}$).

Tabela 8. Valores utilizados para o cálculo das variáveis contidas na Tabela 9.

Consumo de água por habitante ($m^3 \text{ mês}^{-1}$)	3,5
Número de habitantes por residência	5
Consumo de água por residência ($m^3 \text{ mês}^{-1}$)	17,5
Descarte de óleo por residência ($m^3 \text{ mês}^{-1}$)	0,001
Descarte de efluentes líquidos pela pia da cozinha ($m^3 \text{ mês}^{-1}$)	1,5
Descarte de efluentes líquidos pelo chuveiro ($m^3 \text{ mês}^{-1}$)	4,5
Descarte de efluentes líquidos pelo vaso sanitário ($m^3 \text{ mês}^{-1}$)	6,5
Descarte de efluentes líquidos pela lavanderia ($m^3 \text{ mês}^{-1}$)	4,7
Total de efluentes gerados nas residências ($m^3 \text{ mês}^{-1}$)	17,24

Fonte: Adaptado de Morejon *et al.*, (2006).

Na Tabela 9 apresenta-se os resultados obtidos relacionados a número de habitantes, casas, $C_{\text{água}}$, $D_{\text{Óleo}}$, $D_{\text{Efl. Pia}}$, $D_{\text{Efl. Chuveiro}}$, $D_{\text{Efl. V. Sanitário}}$, $D_{\text{Efl. Lavanderia}}$ e o total de efluentes gerados ($\text{Total}_{\text{Efl.}}$) em cada distrito e na área urbana do município de Toledo/PR.

Tabela 9. Volume ($m^3 \text{ mês}^{-1}$) de efluentes domésticos gerados em cada fonte de descarte das residências pertencentes às unidades distritais e área urbana do município de Toledo/Pr.

Distritos	Hab.	Casas	$C_{\text{água}}$	D	$D_{\text{Efl.}}$	$D_{\text{Efl.}}$	$D_{\text{Efl.}}$	$D_{\text{Efl.}}$	Total_{Efl.}
				Óleo	Pia	Chuveiro	V.Sanitário	Lavanderia	
Concórdia do Oeste	1022	204	3570	0,204	306	918	1325,3	967,5	3517
Dez de Maio	1619	324	5670	0,324	486	1458	2104,8	1536,6	5585,8
Dois Irmãos	763	153	2677,5	0,153	229,5	688,5	993,9	725,6	2637,8
Novo Sarandi	2631	526	9205	0,526	789	2367	3417,1	2494,6	9068,2
Novo Sobradinho	884	177	3097,5	0,177	265,5	796,5	1149,9	839,4	3051,5

Tabela 9. Volume ($\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$) de efluentes domésticos gerados em cada fonte de descarte das residências pertencentes às unidades distritais e área urbana do município de Toledo/Pr.

(continuação)

São Luiz do Oeste	741	148	2590	0,148	222	666	961,5	701,9	2551,5
São Miguel	465	93	1627,5	0,093	139,5	418,5	604,2	441,1	1603,3
Vila Ipiranga	544	109	1907,5	0,109	163,5	490,5	708,1	516,9	1879,2
Vila Nova	2180	436	7630	0,436	654	1962	2832,4	2067,8	7516,6
TOTAL (Distritos)	10850	2170	37975	2,17	3255	9765	14097,2	10291,4	37410,8
TOLEDO (Área Urbana)	119313	23863	417602,5	23,9	35794,5	107383,5	155023,6	113172,6	411398
TOTAL	30162	26033	455577,5	26	39049,5	117148,5	169120,8	123464	448809

Com base dos dados apresentados pelas Tabelas 8 e 9 , a Figura 40 apresenta os volumes mensais de consumo de água e produção de efluentes domésticos, em cada fonte de descarte das residências (pia da cozinha, lavanderia, chuveiro, vaso sanitário e descarte de óleo) pertencentes aos distritos administrativos de Toledo/PR.

De acordo com a Tabela 9 e a Figura 40, nas 2170 residências localizadas nos distritos de Toledo/PR, são consumidos $37.975 \text{ m}^3 \text{mês}^{-1}$ de água, sendo este montante convertido em $37.411 \text{ m}^3 \text{mês}^{-1}$ de efluentes domésticos. Tais valores estão de acordo com a estimativa de Von Sperling (2005), em que obteve-se que aproximadamente 98% da água consumida em uma residência resulta em esgoto doméstico.

Do total de efluentes produzidos, verifica-se que a presença de óleo é extremamente baixa não atingindo 1% de contribuição, o percentual de efluentes descartados pela pia da cozinha é de 8,5% seguido pelo descarte do chuveiro (26%) e lavanderia (27,5%), sendo que a maior contribuição constatada foi a do vaso sanitário com 37,6 % de geração de

efluentes, o que evidencia o elevado potencial de consumo de água pelo dispositivo. O distrito de Novo Sarandi se sobressai diante dos demais na geração de efluentes com 24% de contribuição, sendo o distrito de São Miguel o menor colaborador com 4,3%.

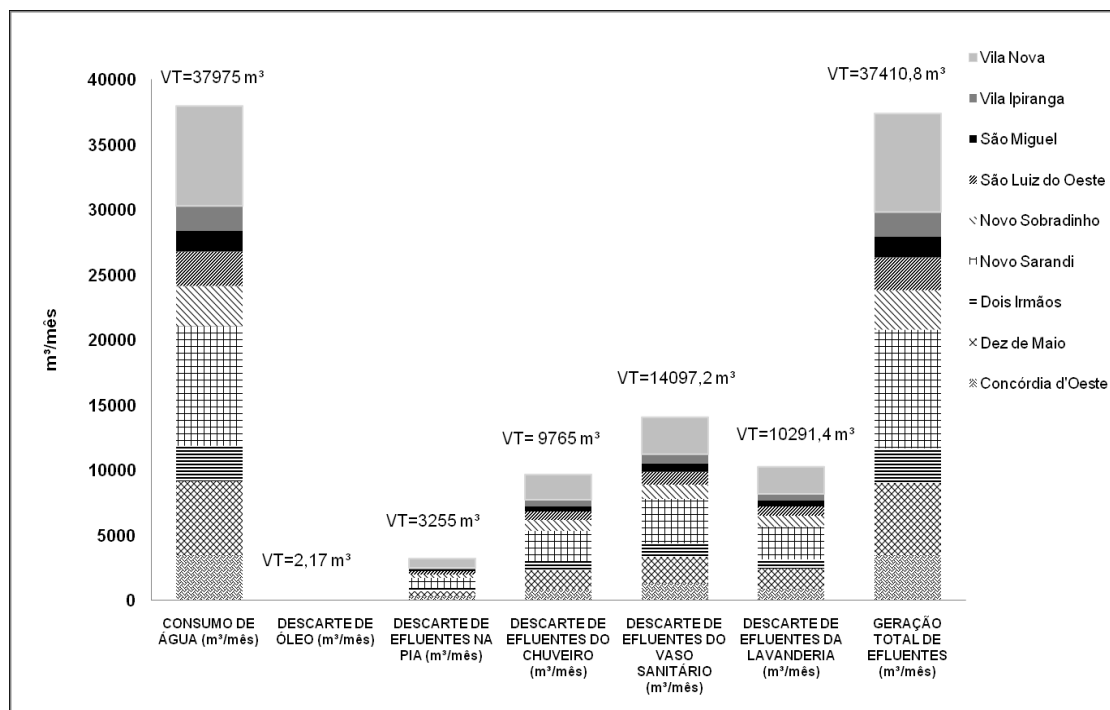


Figura 40. Contribuição mensal dos distritos administrativos do município de Toledo/PR no que se refere ao consumo de água e produção de efluentes domésticos por meio do descarte de óleo, pia da cozinha, chuveiro, vaso sanitário e lavanderia. Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 41 apresenta os volumes mensais de consumo de água e produção de efluentes domésticos em cada fonte de descarte das residências (pia da cozinha, lavanderia, chuveiro, vaso sanitário e descarte de óleo) da área urbana de Toledo/PR.

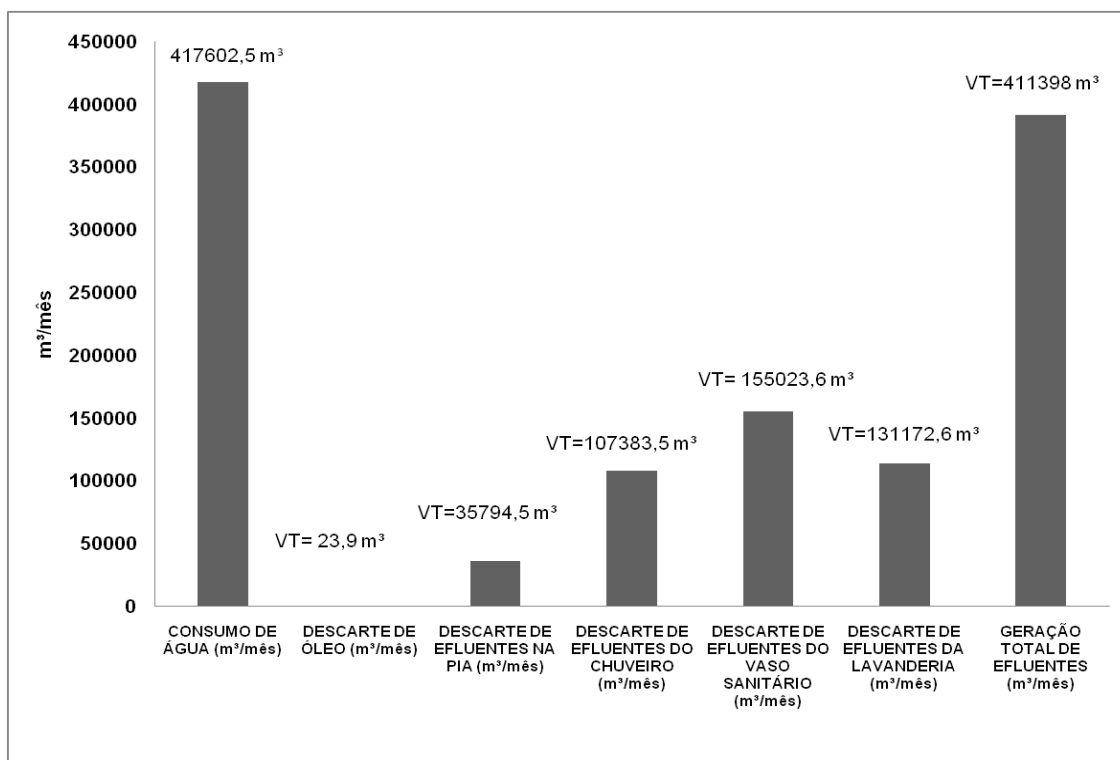


Figura 41. Contribuição mensal da área urbana do município de Toledo/PR no que se refere ao consumo de água e produção de efluentes domésticos por meio do descarte de óleo, pia da cozinha, chuveiro, vaso sanitário e lavanderia. Fonte: Resultados da pesquisa.

A área urbana de Toledo possui cerca de 23.863 domicílios, que consomem aproximadamente $417.602 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ de água, que é convertida em $411.398 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$ de efluentes domésticos, conforme se apresenta na Tabela 9 e na Figura 41. Novamente os efluentes oriundos do vaso sanitário apresentaram a maior contribuição de 37,7% sobre o total gerado, seguido pela lavanderia (27,1%), chuveiro (25,7%), pia da cozinha (8,6%) e, pelo descarte de óleo que obteve o menor percentual de contribuição (0,005%).

A Figura 42 compara o consumo de água e a produção de efluentes domésticos (descarte de óleo, descarte pela pia da cozinha, chuveiro, vaso sanitário e lavanderia) entre a área urbana e as unidades distritais do município de Toledo/PR.

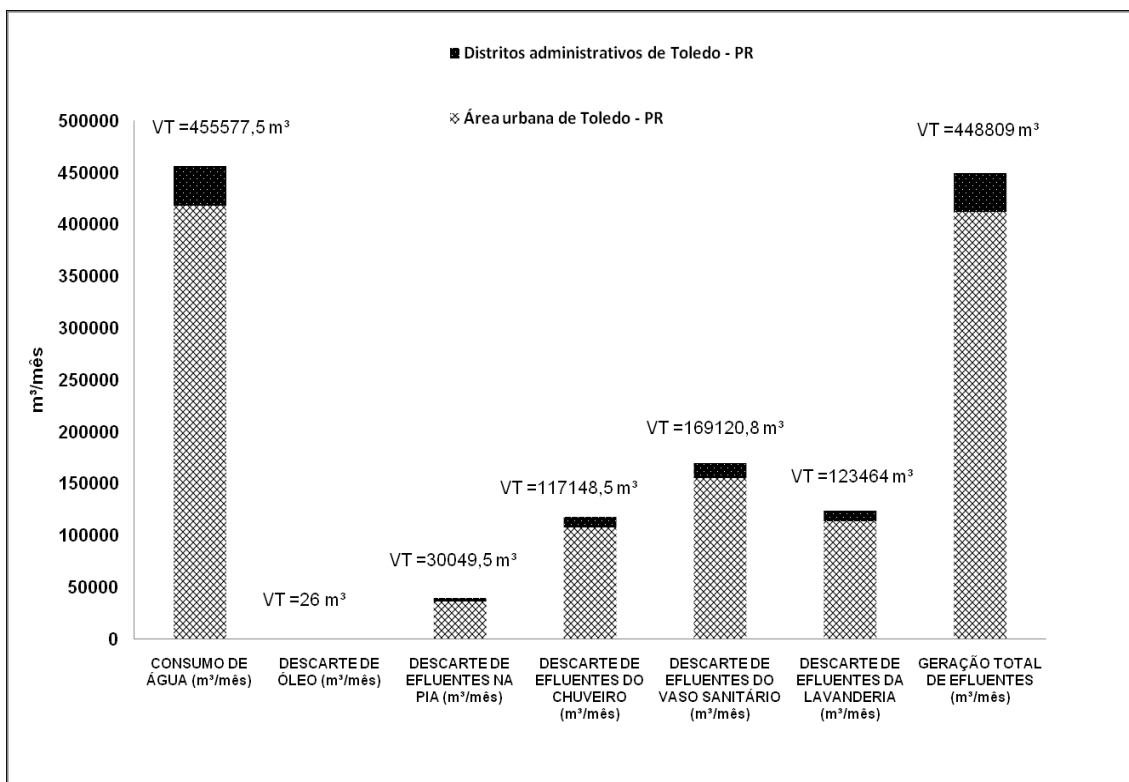


Figura 42. Gráfico comparativo sobre o consumo de água e produção de efluentes domésticos entre a área urbana e os distritos de Toledo/PR. Fonte: Resultados da pesquisa.

Mensalmente são consumidos 455.577 m^3 de água e gerados 448.809 m^3 de efluentes domésticos em todo município, conforme mostra a Tabela 9 e a Figura 42. O consumo de água na área urbana corresponde a 91% do valor total apresentado em todo o município, o que consequentemente é refletido na maior produção de efluentes domésticos. Tal fato se deve a expressiva população residente na área urbana do município, cerca de 90% total do total de habitantes.

A Figura 43 apresenta um mapa temático do município, evidenciando a tendência da concentração dos domicílios nas proximidades dos rios São Francisco, Rio Toledo e seus afluentes. Observa-se que a área com maior concentração de residências trata-se da parte urbana da cidade que é transpassada pelo rio Toledo, área identificada na Figura com os círculos vermelhos maiores. Nota-se ainda, uma intensa ocupação nas proximidades dos rios São Francisco e Toledo, nas áreas rurais aos arredores dos distritos de Novo Sarandi, Vila Nova, Novo Sobradinho, Dez de Maio, São Luiz do Oeste e Concórdia do Oeste.

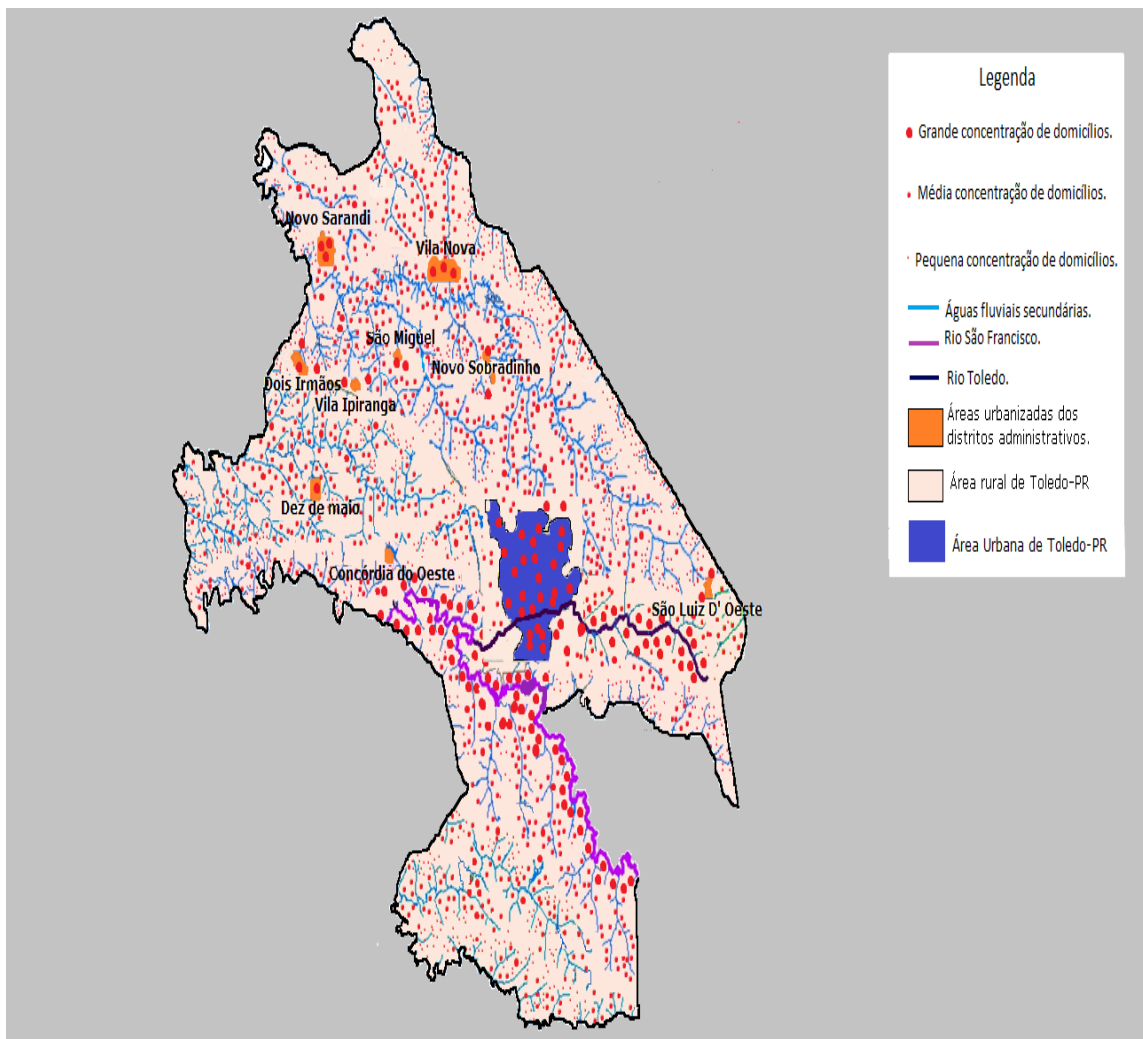


Figura 43. Mapa temático do município de Toledo identificando a tendência de ocupação dos domicílios nas proximidades dos cursos d'água (Rio Toledo, Rio São Francisco e seus afluentes).
 Fonte: Resultados da pesquisa.

O volume total de efluentes gerados (448.809 m^3) somado a tendência de ocupação dos domicílios nas proximidades dos cursos d'água evidenciam a necessidade de uma gestão ambiental vigente e efetiva, principalmente se tratando do tratamento dos efluentes domésticos nas áreas rurais. Nesse sentido, o maior percentual de contribuição dos vasos sanitários na geração de efluentes domésticos, constatado pelo estudo, exige a implantação de sistemas de tratamento adequados que evitem a geração de impactos negativos na qualidade dos cursos d'água e consequentemente comprometam a saúde da população.

4.2. CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS EFLUENTES DOMÉSTICOS DAS ÁREAS RURAIS

Estima-se que cada habitante produza 120 L dia^{-1} (OMS, 2012) distribuídos pelas fontes de geração dentro das residências como mostra a Figura 44. Considerando uma família de 5 pessoas são gerados mensalmente $17,24 \text{ m}^3$ de efluentes por domicílio (MOREJON *et al.*, 2006).

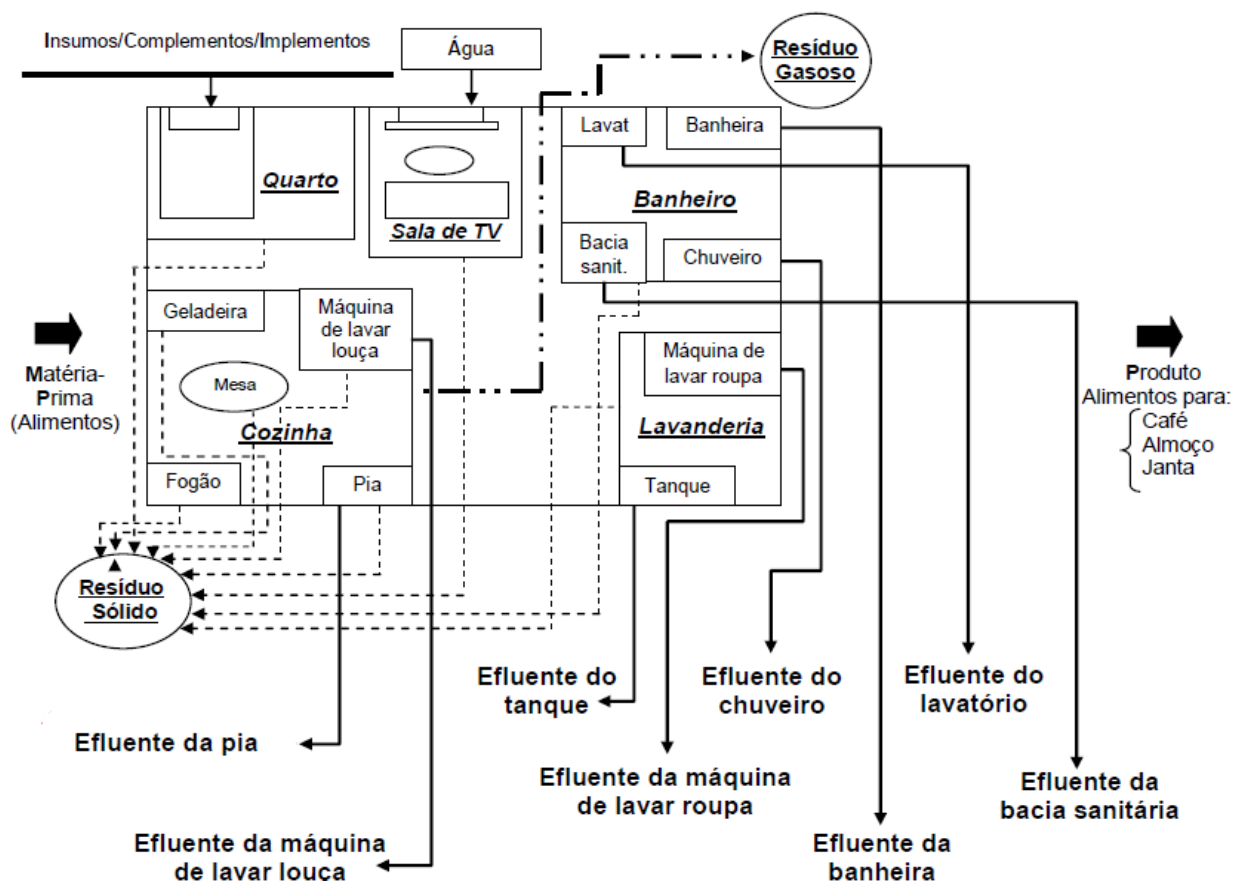


Figura 44. Fontes de geração de efluentes domésticos dentro de uma residência. Fonte: Pizzatto (2012).

Os efluentes domésticos são constituídos de 99,9% de água e somente 0,1% de sólidos (LEMOS, 2011). Conforme se apresenta na Figura 45, a 70% dos sólidos dos esgoto são de origem orgânica contendo proteínas (45%), carboidratos (35%), gorduras e óleos (10%) e uréia, sulfatans, fenóis entre outros. (10%) (FUNASA, 2006).

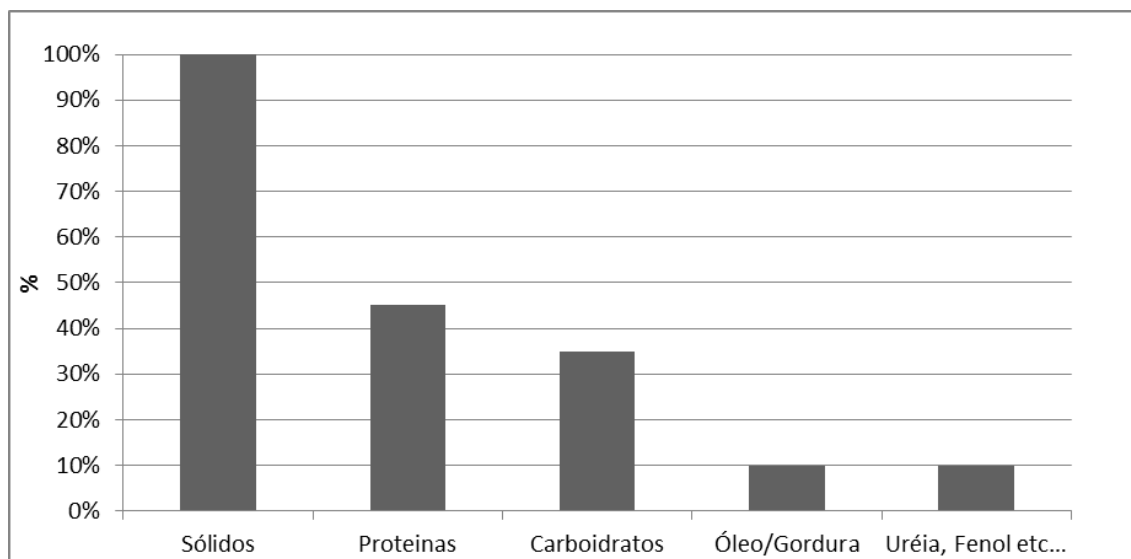


Figura 45. Componentes orgânicos do esgoto doméstico.

Silva (2013), realizou uma caracterização qualitativa detalhada dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do esgoto doméstico apresentados na Tabela 10 e Figuras 46 e 47. Observa-se que no esgoto doméstico há presença elevada de sólidos, sendo que 70% encontram-se na forma de sólidos dissolvidos, destaca-se também as concentrações de nitrogênio (na forma de amônia) e fósforo.

Tabela 10. Microrganismos presentes nos esgotos domésticos.

Microorganismo	CPC (org hab ⁻¹ d ⁻¹)	Concentração (org 100 ⁻¹ mL ⁻¹)
Bactérias totais	10 ¹² -10 ¹³	10 ⁹ -10 ¹⁰
Colifomes Totais	10 ⁹ -10 ¹²	10 ⁶ -10 ⁹
Estreptococos fecais	10 ⁸ -10 ⁹	10 ⁵ -10 ⁶
Cistos de protozoários	< 10 ⁶	< 10 ³
Ovos de helmintos	< 10 ⁶	< 10 ³
Vírus	10 ⁵ -10 ⁷	10 ² -10 ⁴

Fonte: Silva, 2013.

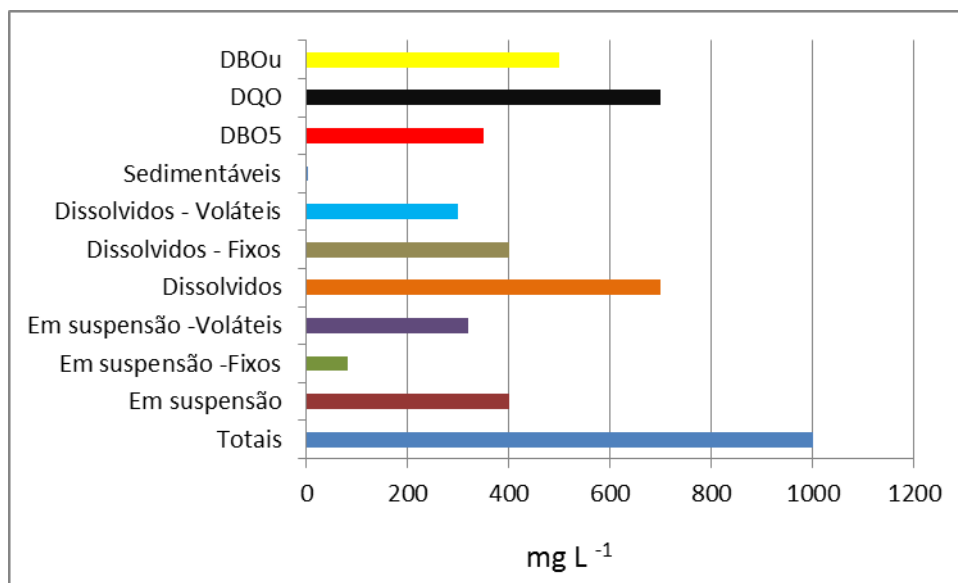


Figura 46. Concentração de sólidos e demanda química e bioquímica de oxigênio no esgoto doméstico.

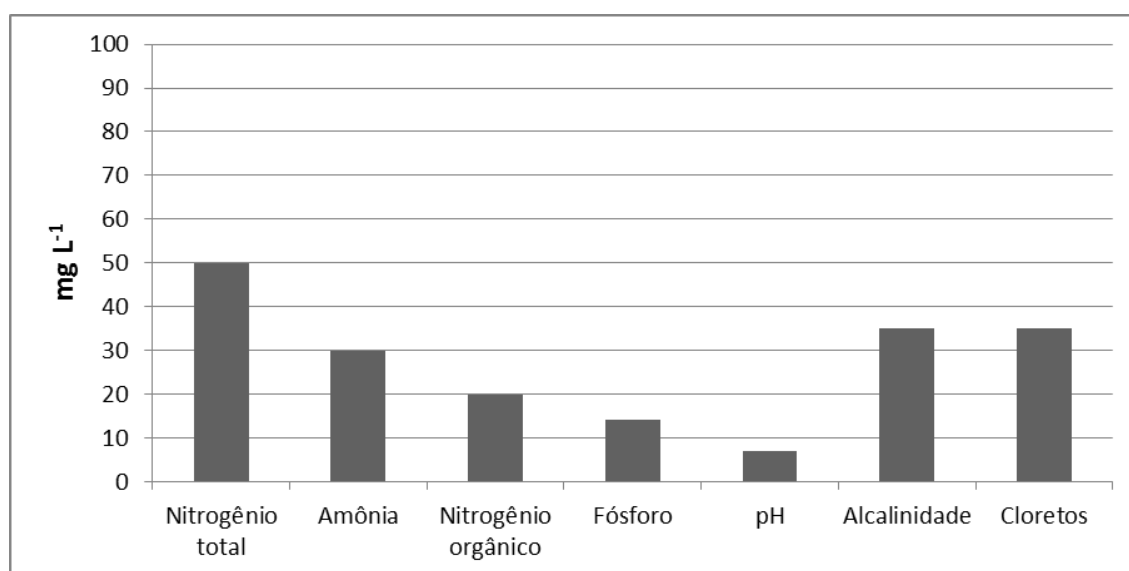


Figura 47. Caracterização qualitativa do esgoto doméstico.

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 10 e nas Figuras 46 e 47 observa-se que a presença de sólidos nos esgotos domésticos é elevada alcançando 1000 mg L⁻¹, dentre o mesmos destaca-se a elevada quantidade de sólidos dissolvidos (70% do total) que exigem tratamento mais complexo para sua efetiva remoção, por meio da adição de compostos coagulantes e inserção de etapas da floculação, coagulação e decantação das partículas. A presença de matéria orgânica também é expressiva evidenciada pela alta DQO constatada por Silva (2013). Evidencia-se os valores da concentração dos nutrientes

nitrogênio (50 mg L^{-1}) em que a maior fração encontra-se na forma de amônia (60%), e do fósforo (14 mg L^{-1}) principais responsáveis pelos processos de eutrofização dos corpos hídricos. A maior contribuição de nitrogênio e fósforo no esgoto doméstico é da urina humana conforme será relatado posteriormente.

Dentre o total de bactérias constatados em 100 mL de amostra de esgoto doméstico (10^{10}) destacam-se as presenças de coliformes totais (10^9) e coliformes fecais (10^8).

4.2.1. Caracterização dos efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário

De acordo com Caron *et al.*, (2009), uma pessoa gera de 0,4 a 0,5 kg de fezes e de 0,6 a 1,5 L de urina diariamente, conforme apresenta-se na Figura 48. Para o cálculo do total de efluentes produzidos por dia pelo vaso sanitário, determinou-se que a vazão média de cada descarga é de 10,5 L, considerando que cada pessoa utilize o vaso sanitário quatro vezes por dia, o consumo diário de água pela descarga é de 42 L, somado geração de fezes e urina (0,5 kg e 1,5 L respectivamente), a produção diária de efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário é de 44 L hab^{-1} . Levando em conta uma família formada por cinco pessoas o valor mensal é de $6,6 \text{ m}^3$ efluentes.

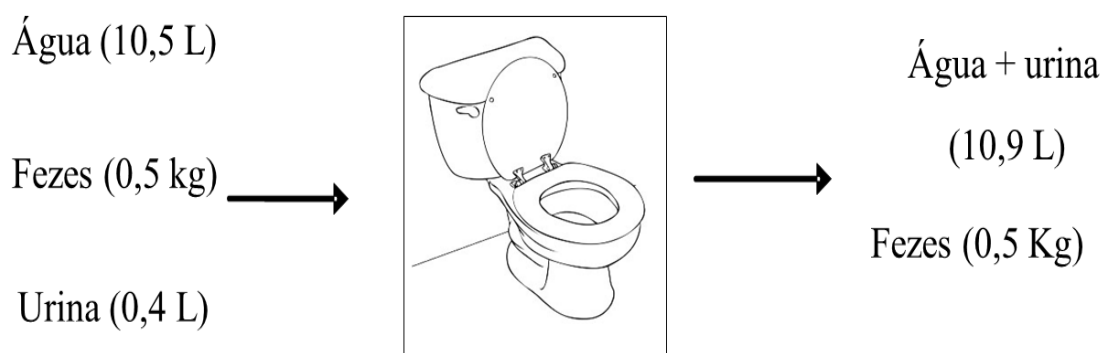


Figura 48. Elementos de entrada e saída do vaso sanitário.

De acordo com Panikkar *et al.*, (2003), Rebouças *et al.*, (2007), Galbiati (2009) e Rebêlo (2011), a composição fezes e urina apresenta elevadas concentrações de DBO e

DQO, alcançando 2500 mg L⁻¹ de DBO e 6695 mg L⁻¹ de DQO como pode ser visualizado na Figura 49, em que se apresenta a comparação entre os resultados de tais parâmetros obtidos pelos quatro autores.

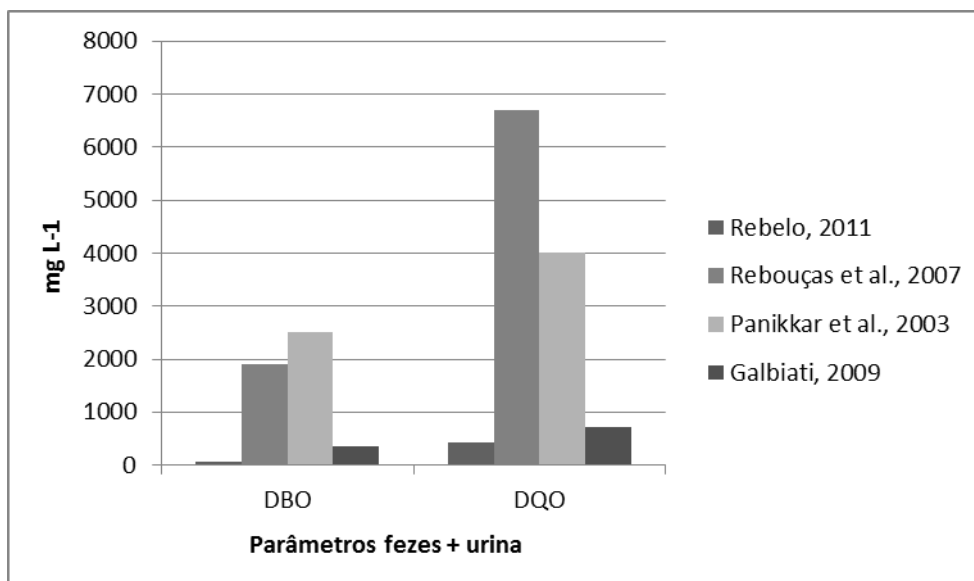


Figura 49. Comparação entre as concentrações de DBO e DQO obtidas por diferentes autores.

Com relação às fezes, em estudo realizado por Galbiati (2009) foram obtidos os seguintes valores de DQO, DBO e turbidez: 6700 mg L⁻¹, 3000 mg L⁻¹ e 300 mg L⁻¹. Na Figura 50 apresentam-se as concentrações obtidas para os parâmetros mencionados.

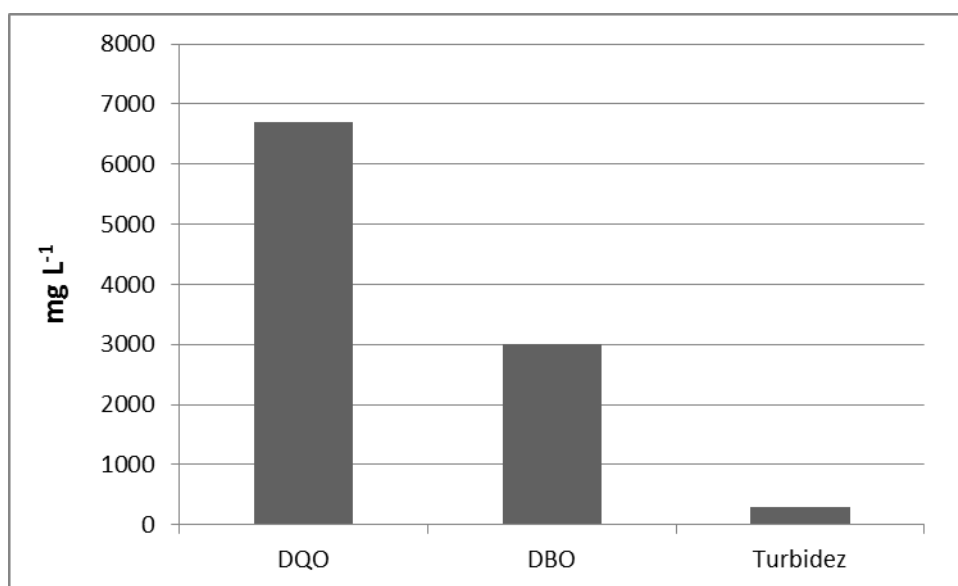


Figura 50. Concentrações de DQO, DBO e turbidez constatadas nas fezes.

Hanaeus *et al.*, (1997; HENZE, 1997; BUENO *et al.*, 2005) obtiveram as cargas per capita de nitrogênio ($1,5 \text{ g hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$), fósforo ($1 \text{ g hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$); e potássio ($2,5 \text{ g hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$) presentes nas fezes (Figura 51).

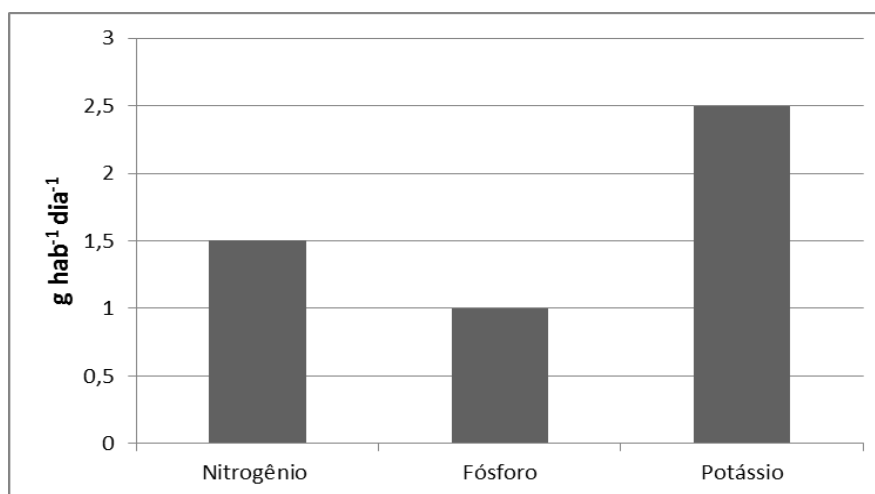


Figura 51. Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio obtidas na análises das fezes.

Na caracterização da urina, os parâmetros fósforo e nitrogênio apresentam concentrações elevadas (1 e $11,5 \text{ g hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ respectivamente). Na Tabela 11 e nas Figuras 52 e 53 apresentam-se as cargas per capita da urina e do esgoto sanitário obtidas em estudos realizados por SNV e Fittschen (1988), Fittschen e Hahn (1988), Bazzarella *et al.*, (2005) e Sperling (2005).

Tabela 11. Caracterização da urina e do esgoto sanitário.

Parâmetros ($\text{g hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$)	Urina			Esgoto Doméstico		
	Bazzarella <i>et al.</i> , (2005)	Fittschen e Hahn (1998)	Snv apud Fittschen e Hahn (1988)	Von Sperling (2005)	Atv (1991) apud Fittschen e Hahns (1998)	Snv apud Fittschen e Hahn (1988)
NTK	11,5	10,8	11	8	11	13,5
P_{total}	0,55	0,93	1	2,5	2,5	2,1
DBO_5	2,24	6,06		50	60	48
DQO	9,34	12,97		100	120	

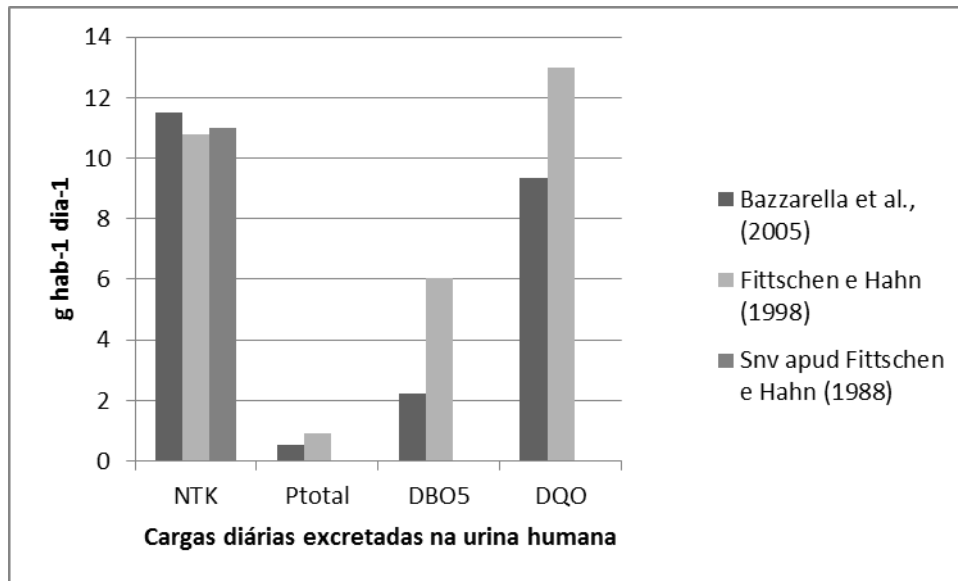


Figura 52. Cargas de NTK, fósforo, DBO e DQO presentes na urina.

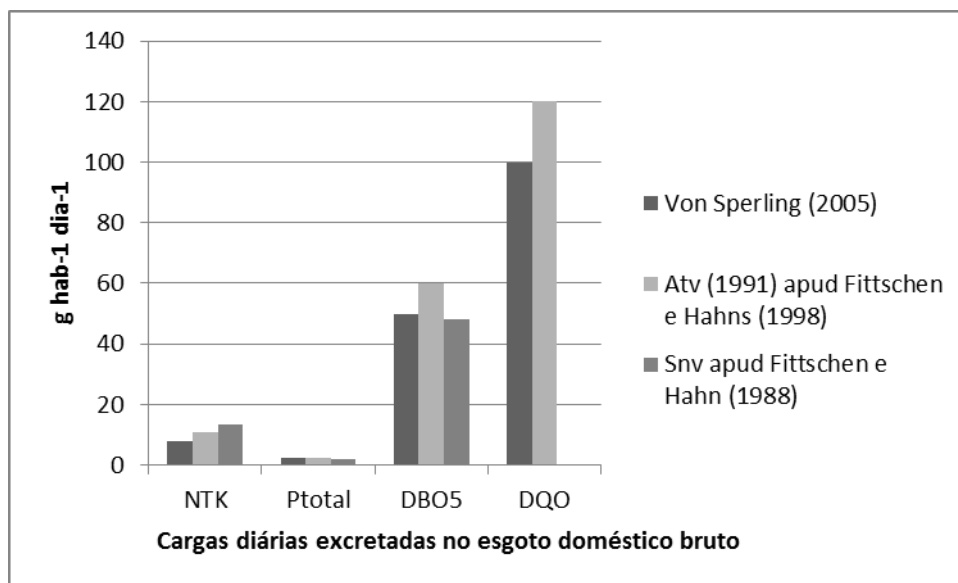


Figura 53. Cargas de NTK, fósforo, DBO e DQO presentes no esgoto doméstico.

Conforme mencionado anteriormente, a urina é responsável por uma parcela considerável (15%) de nitrogênio presente no esgoto doméstico, valor bem acima do constatado nas fezes, como pode ser observado nas Figuras 52 e 53. Em termos de DBO e DQO ocorre o inverso, pois as fezes são as principais responsáveis pela presença de matéria orgânica no esgoto e consequentemente são as maiores contribuintes pela elevada DBO e DQO do esgoto doméstico.

Segundo estudo desenvolvido por Nuvolari (2003) a contribuição per capita de cloreto de sódio e fosfato na urina é de 11 e 1,5 g hab⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Quanto à presença de uréia, Fittschen e Hahn (1998) constataram que cada pessoa excreta a quantidade de 16 g dia⁻¹, conforme apresentado na Figura 54.

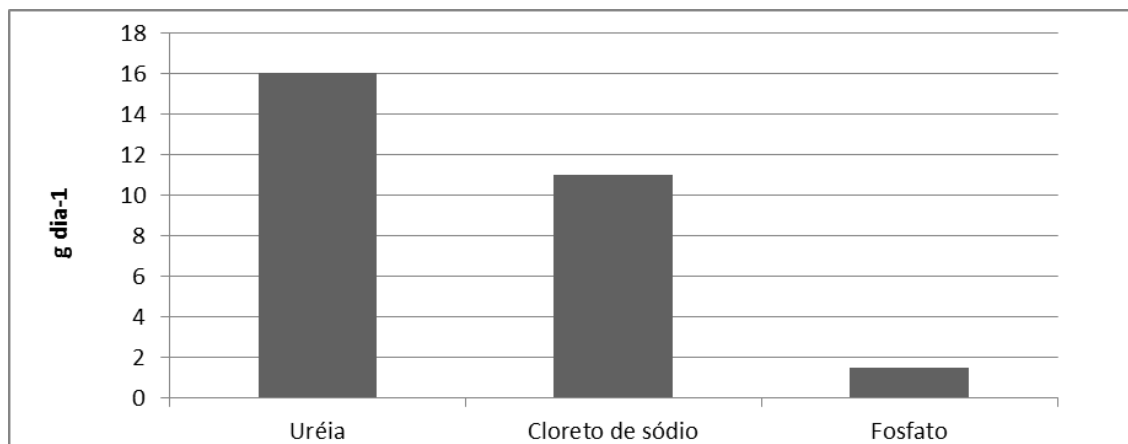


Figura 54. Cargas diárias de uréia, cloreto de sódio e fosfato presentes na urina.

4.2.2. Caracterização dos efluentes domésticos provenientes da pia da cozinha

Segundo pesquisa desenvolvida por Morejon *et al.*, (2006) uma pessoa produz 10 L dia⁻¹ de efluentes líquidos pela pia da cozinha, considerando uma residência com 5 pessoas, o volume de efluentes gerados mensalmente é de 1,5 m³. Na Figura 55 apresentam-se os principais elementos de entrada e saída da pia da cozinha.

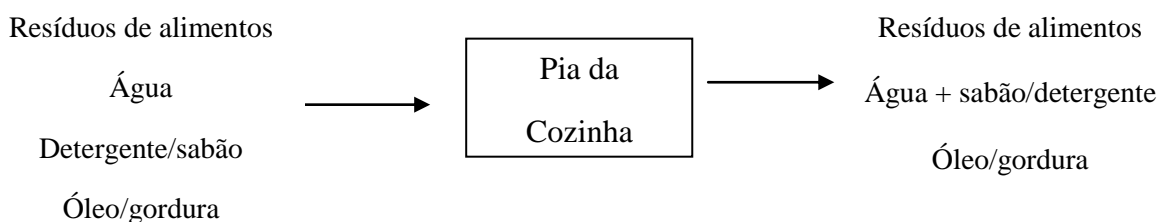


Figura 55. Elementos de entrada e saída da pia da cozinha

Bazzarella (2005) e Pizzatto (2012) realizaram caracterização detalhada dos efluentes da pia da cozinha, em que constatou-se elevada presença de fósforo, sólidos, turbidez, DQO e DBO e óleos/gorduras, conforme detalhada nas Figuras 56 e 57.

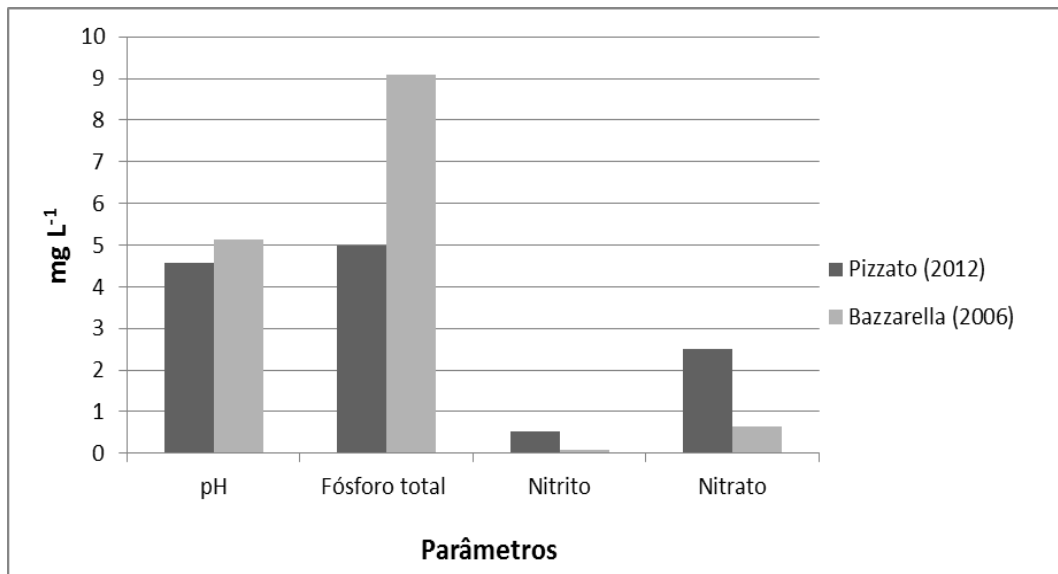


Figura 56. Valores de pH, fósforo total, nitrito e nitrato obtidos nos estudos de Bazzarella (2005) e Pizzato (2012).

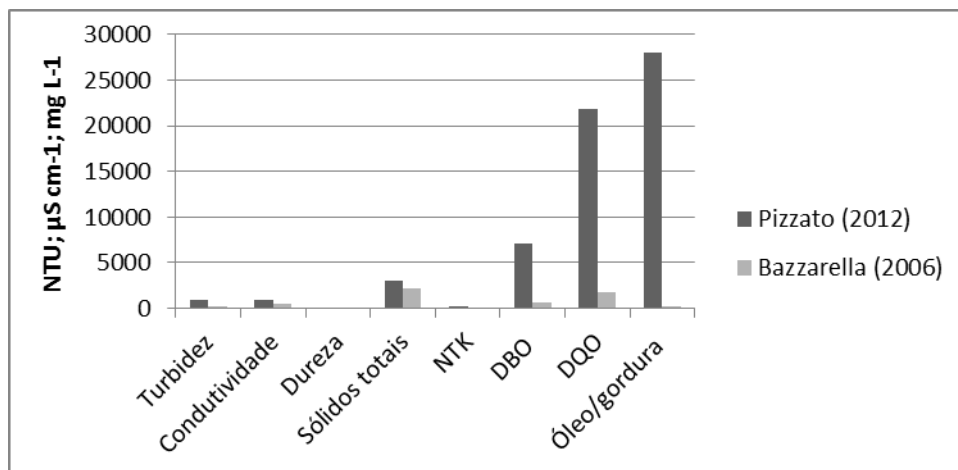


Figura 57. Caracterização do efluente da pia da cozinha realizada por Bazzarella (2005) e Pizzato (2012).

Nas Figuras 56 e 57 observam-se que a maioria dos parâmetros apresentaram resultados similares, nos valores de DBO, DQO e óleo/gordura verificam-se algumas discrepâncias o que pode ser justificado pelas características diferentes de cada efluente analisado, sendo que cada residência possui hábitos alimentares e culturais, renda, padrão de consumo e rotinas diferentes o que influencia diretamente nas características do efluente produzido não somente na pia da cozinha, mas também nas demais fontes existentes nos domicílios.

4.3. AVALIAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS GARGALOS TECNOLÓGICOS, VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MÉTODOS, PROCESSOS E TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DAS ÁREAS RURAIS

A análise dos métodos/processos/tecnologias convencionais de tratamento dos efluentes provenientes da pia da cozinha e do vaso sanitário, foi obtida por meio da realização de experimentos em bancada de laboratório e da coleta de informações na literatura em bancos de patentes nacionais e internacionais, conforme descrito nos itens abaixo. As patentes analisadas foram JP2013081934 (A); US 6838000; WO2012138015 A1; CA 2028099; US 2007/0130678 A1; MU 8001687-1 U2; 92/10444; 5,871,647; CN103183445 (A); 3899423; MU 7702219-0 U; 5,871,647; CN103183445 (A); 3899423; MU 7702219-0 U; PI 9705699-5 A.

4.3.1. Análise dos métodos/processos/tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos provenientes da pia da cozinha

A NBR 8160 (ABNT, 1999) prevê para uma residência com cinco pessoas a utilização de uma caixa de gordura pequena, de formato cilíndrico, com volume da câmara de retenção de 20 L, diâmetro interno de 0,30 m e a extensão vertical, da parte submersa, do septo de 0,20 m, conforme o esquema apresentado na Figura 58.

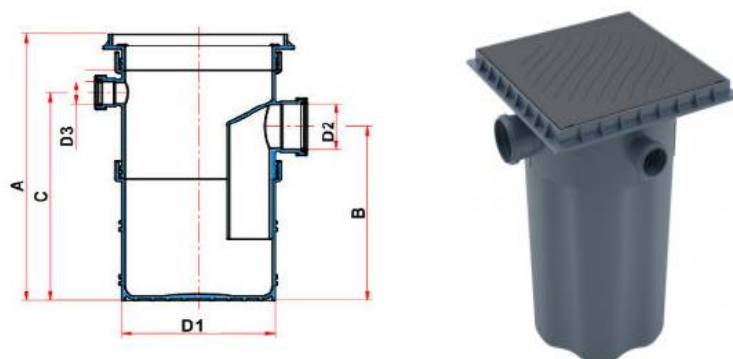


Figura 58. Caixa de gordura pré-fabricada com dimensões propostas pela NBR 8160/1999. Fonte: Santos *et al.*, 2006.

As caixas de gordura são instaladas entre a pia da cozinha e a rede coletora de esgoto ou a fossa. Tem função reter gorduras e sólidos particulados despejados nos ralos das pias da cozinha, diretamente ou misturados com a água da lavagem das louças (DBORO, SD).

A operação do equipamento consiste na decantação de óleo/gordura por possui densidade inferior a da água, ou seja, quando o efluente é lançado no encanamento e na caixa o óleo/gordura sobe para a superfície e aí permanece flutuando.

A maioria das caixas de gordura convencionais possui uma divisória interna vertical que separa o equipamento em dois compartimentos (lado “a” de maior comprimento e capacidade de armazenamento e lado “b”, mais estreito). A divisão da caixa não se completa porque existe uma abertura no fundo por onde o efluente clarificado passa do lado “a” para o lado “b” e daí sai pelo “ladrão” para as tubulações posteriores de fossas, rede coletora entre outros. Somente o efluente clarificado escapa do lado “a” para o lado “b” e a gordura tende a ficar retida na superfície do lado “a” (DBORO, SD; GNIPPER, 2008).

Com o objetivo de obter as eficiências de retenção de óleos, gorduras e sólidos particulados, foi desenvolvido um módulo experimental composto por uma pia de cozinha, três caixas de gordura, tubulações, registros e tanque para coleta/armazenamento dos efluentes tratados, conforme ilustra o esquema da Figura 59.



Figura 59. Esquema operacional do experimento para avaliação das eficiências das caixas de gordura.

Na Tabela 12 apresenta-se os resultados referentes à eficiência de retenção de sólidos particulados (η_1) correspondente às três caixas de gordura analisadas no experimento.

Tabela 12. Resultados de retenção de sólido particulado (SP) nas caixas de gordura analisadas no experimento.

Quant. SPE (kg)	Vazão da água ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	η_{1A} Eficiência de	η_{1B} Eficiência de	η_{1C} Eficiência de
		Retenção de SP Caixa A (%)	Retenção de SP Caixa B (%)	Retenção de SP Caixa C (%)
0,020	0,0046	0	0	0
0,080	v_1 0,0046	0	0	0
0,150	0,0046	0	0	0
0,020	0,00714	100%	0	0
0,080	v_2 0,00714	100%	0	0
0,150	0,00714	100%	0	0
0,020	0,0172	100%	10	8
0,080	v_3 0,0172	100%	20	10
0,150	0,0172	100%	30	20

Na Figura 60 apresenta-se os resultados da eficiência das caixas de gordura A, B e C correspondente a vazão máxima de $0,0172 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, para as três quantidades de SP (0,02 kg; 0,08 kg e 0,15 kg) na entrada do dispositivo.

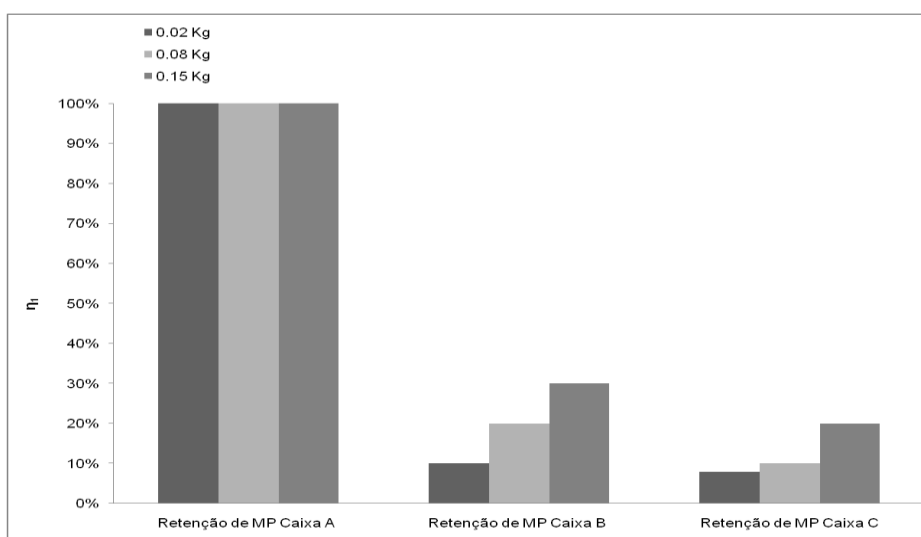


Figura 60. Valores de retenção (%) de sólidos particulados pelas caixas de gordura A, B e C empregando a vazão 3 ($0,0172 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

Conforme apresentado na Tabela 12, na vazão v_1 ($0,0046 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) nas caixas de gordura A, B e C ocorreu uma concentração de sólidos particulados na tubulação impossibilitando a avaliação da remoção pelo equipamento.

Segundo a Tabela 12, para a v_2 ($0,00714 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), a caixa de gordura A apresentou resultados satisfatórios, promovendo a retenção de 100% dos sólidos particulados. Tal desempenho deve-se a disposição adequada dos orifícios do dispositivo de manutenção (balde dotado de orifícios na base disposto no interior do equipamento), que estão localizados na latera.

Considerando a caixa de gordura B, observa-se que não ocorreu à retenção do sólido particulado pelo dispositivo, devido à disposição (parte inferior) e tamanho dos orifícios do dispositivo de manutenção ser maior que o diâmetro dos sólidos particulados, e maior também que os orifícios do ralo da pia da cozinha, conseqüentemente promovendo o arraste dos sólidos particulados pela corrente do efluente.

O princípio de operação da caixa de gordura C foi semelhante ao da caixa B no que se refere à retenção dos SP utilizando a v_2 ($0,00714 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), e por consequência dos mesmos gargalos técnicos, não ocorreu à retenção dos sólidos particulados pelo dispositivo.

Conforme apresentado na Figura 60 e Tabela 12, para v_3 ($0,0172 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), os resultados da caixa de gordura A foram satisfatórios, alcançando uma retenção de 100% do sólido particulado. Nesse resultado também prevaleceu a eficiente disposição dos orifícios do recipiente coletor de lodos, que estão localizados na lateral do equipamento.

Analisando a caixa de gordura B, foi constatado que nas condições de maior concentração de sólidos particulados ($0,150 \text{ kg}$), prevaleceu a precipitação no fundo da caixa (30%), porém não foi possível a sua retirada pelo dispositivo de manutenção e, conseqüentemente esses SP retidos no fundo da caixa, foram posteriormente carregados pela corrente de efluente. Numa situação real o acúmulo dos sólidos particulados, dentro da caixa, deve comprometer o volume útil de operação até a saturação.

Na caixa de gordura C, o dispositivo de manutenção possui um diâmetro dos orifícios maior do que as demais caixas e também maior que a abertura dos orifícios do ralo da pia da cozinha, implicando numa baixa eficiência ou até mesmo a inexistência da capacidade de retenção do SP. Nessas condições, de forma temporária, a caixa conseguiu reter apenas 20% dos $0,150 \text{ kg}$ de SP, pois eram arrastados e/ou acumulados dentro da caixa até a saturação do volume do equipamento.

Na Tabela 13 apresenta-se os resultados das eficiências de retenção de óleo e gordura (η_2) correspondente as caixas de gordura A, B, e C.

Tabela 13. Resultados de retenção de óleo e gordura pelas caixas de gordura analisadas no experimento.

Quant. de O/G _E (L)	Vazão da água (m ³ s ⁻¹)	Eficiência de Retenção de O/G (η_2)					
		η_{2A} Caixa A (%)		η_{2B} Caixa B (%)		η_{2C} Caixa C (%)	
		t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2
		(2 min)	(8min)	(2min)	(8 min)	(2 min)	(8min)
0,025	0,0046	70	20	80	30	55	25
0,050	v_1 0,0046	80	25	85	50	60	20
0,100	0,0046	80	30	90	80	70	35
0,025	0,00714	65	0	75	20	30	5
0,050	v_2 0,00714	70	5	80	30	35	10
0,100	0,00714	75	10	85	35	40	15
0,025	0,0172	40	2	60	2	20	0,5
0,050	v_3 0,0172	45	5	65	8	25	1
0,100	0,0172	50	5	70	10	30	2

Na Figura 61 apresenta-se os resultados da eficiência de retenção de óleo e gordura das caixas de gordura A, B e C, correspondente a vazão mínima de 0,0046 m³ s⁻¹, para as três quantidades de O/G (0,025, 0,050 e 0,100 L) na entrada do dispositivo, nos períodos de 2, 8 e 16 minutos. O período de 16 minutos foi ilustrado visando demonstrar como a eficiência das caixas reduz drasticamente no decorrer tempo apresentando retenção de 0%.

Conforme apresentado pela Tabela 13 e Figura 61, utilizando v_1 (0,0046 m³ s⁻¹), a caixa de gordura A apresentou resultados ineficientes na retenção de óleo e gorduras, alcançando 80% de retenção durante as condições operacionais de menor vazão (0,0046 m³ s⁻¹) e quantidade de óleo e gorduras de 0,050 e 0,100 L no período de 2 minutos. Verifica-se que no decorrer do tempo (8 e 16 minutos) a eficiência do equipamento reduz drasticamente até não ocorrer mais a retenção de O/G. A ineficiência do dispositivo deve-se a localização inadequada do cano para coleta do efluente tratado, pois o mesmo se

encontra próximo ao nível do óleo sobrenadante o que facilita a passagem do efluente sem tratamento pelos orifícios laterais juntamente com o efluente tratado.

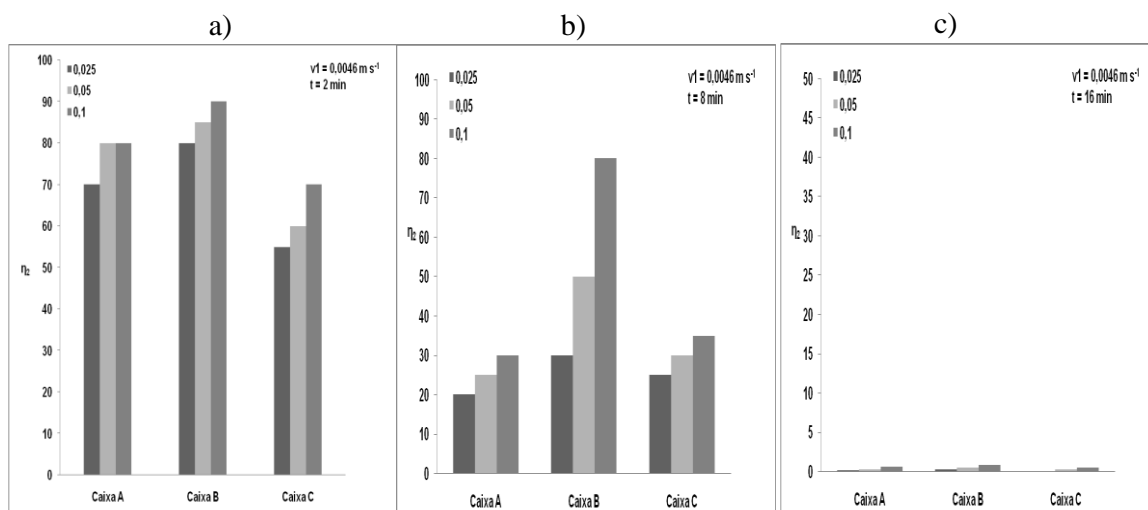


Figura 61. Valores de retenção (%) de óleo/gordura pelas caixas de gordura A, B e C empregando a vazão 1 ($0,0046 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), nos períodos de 2 (a), 8 (b) e 16 (c) minutos.

Como pode ser observado na Figura 61, a caixa de gordura B apresentou retenção de 90% de óleo/gordura em condições de baixa vazão e elevada quantidade inicial do poluente (0,100L). O resultado apresentado justifica-se pelo fato do equipamento não possibilitar a passagem do efluente com óleo e gordura pelos orifícios laterais, quando é empregada uma vazão baixa de escoamento da água, porém, no decorrer do tempo e em condições de vazão elevada o equipamento demonstra a mesma limitação presente na caixa anterior no que refere à disposição do cano de recolhimento do efluente tratado.

O mesmo ocorreu na caixa de gordura C, que apresentou os resultados mais insatisfatórios do estudo, com a eficiência de retenção de O/G de 70% em condições de baixa vazão e elevada quantidade inicial do poluente (0,100L).

Na Figura 62 apresenta-se os resultados da eficiência de retenção de óleo e gordura das caixas de gordura A, B e C, correspondente a vazão intermediária de $0,00714 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, para as três quantidades de O/G (0,025, 0,050 e 0,100 L) na entrada do dispositivo, nos períodos de 2, 8 e 16 minutos.

Observa-se na Figura 62 que as caixas de gordura A, B e C obtiveram resultados insatisfatórios de retenção (75%, 85% e 40% respectivamente) para a quantidade de O/G_E de 0,100 L, as limitações e gargalos técnicos abordados anteriormente para v_1 ,

comprometeram e até mesmo impossibilitam a retenção dos poluentes. Novamente foi constatado que no decorrer do tempo à eficiência dos dispositivos se reduz a 0%.

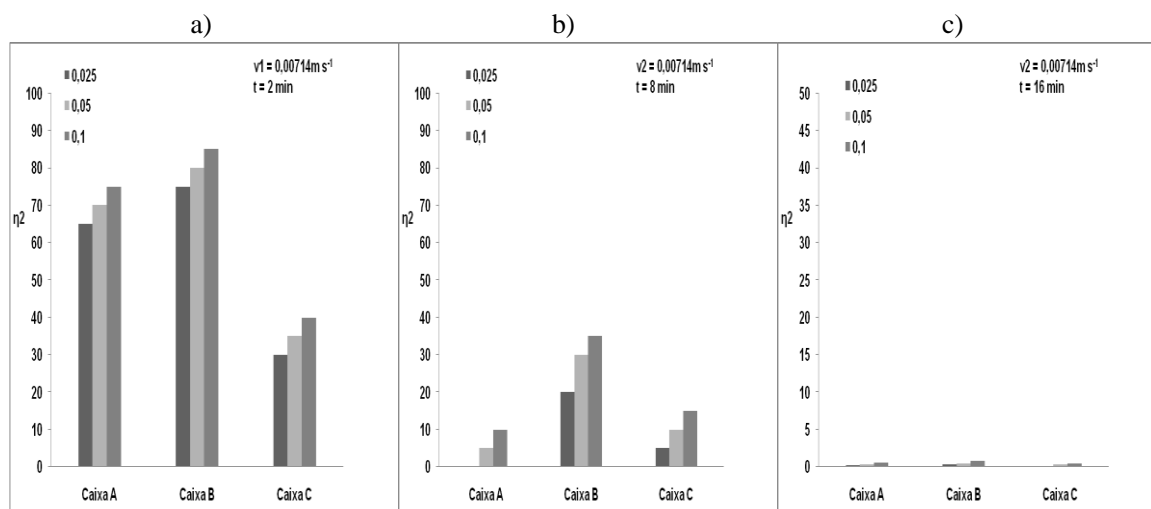


Figura 62. Valores de retenção (%) de óleo/gordura pelas caixas de gordura A, B e C empregando a vazão 2 ($0,00714 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), nos períodos de 2 (a), 8 (b) e 16 (c) minutos.

Na Figura 63 apresentam-se os resultados da eficiência na retenção de óleo e gordura das caixas de gordura A, B e C, correspondente a vazão máxima de $0,0172 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, para as três quantidades de O/G (0,025, 0,050 e 0,100 L) na entrada do dispositivo, nos períodos de 2, 8 e 16 minutos.

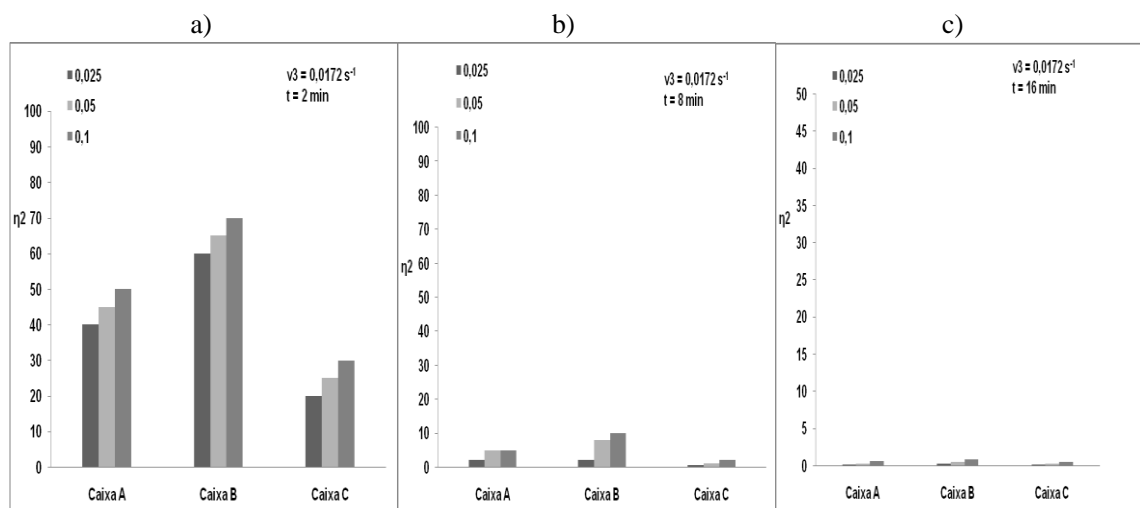


Figura 63. Valores de retenção (%) de óleo/gordura pelas caixas de gordura A, B e C empregando a vazão 3 ($0,0172 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), nos períodos de 2 (a), 8 (b) e 16 (c) minutos.

Na Figura 63, observa-se que os dispositivos demonstraram as mesmas limitações técnicas citadas acima, sendo que utilizando uma vazão elevada ($0,0172 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), as caixas

de gordura A, B e C reduziram suas eficiências de retenção de O/G para 50, 70 e 30% respectivamente, em condições de elevada quantidade de entrada de O/G (0,100L).

De acordo com a Tabela 13 e as Figuras 61, 62 e 63 evidencia-se que após decorridos 16 minutos, todo o óleo e gordura presente nas caixas foram carregados para o seu exterior devido à inexistência de um coletor do poluente. Percebe-se que a separação por densidade trata-se apenas de uma solução instantânea, para realmente ocorrer à retenção de óleos e gorduras nos dispositivos, eles devem ser totalmente separados do restante do efluente e deslocados para outro compartimento, evitando que um efluente com altas concentrações de óleos e gorduras venha a comprometer as tubulações, o fluxo e o posterior tratamento destes efluentes nas ETEs .

Diante disso, comprova-se que as caixas de gordura pequenas, simples e duplas, na maioria das vezes, acabam operando como simples caixas sifonadas de passagem e não como dispositivos de tratamento preliminar como proposto. De acordo com GNIPPER (2008) e as baixas eficiências obtidas, os critérios normativos empíricos de dimensionamento das caixas de gordura em vigor resultam em caixas retentoras de gordura com desempenho acentuadamente baixo, operando com períodos de detenção e elementos técnicos muito inferiores aos requeridos para a remoção eficiente das partículas de óleos e gordura.

De acordo com os resultados obtidos, identificou-se que os sistemas convencionais de tratamento de efluentes provenientes da pia da cozinha apresentam baixa eficiência na retenção de óleo, gordura e sólidos particulados. As vantagens destes sistemas são os baixos custos e fácil instalação, porém as desvantagens superam as vantagens, constituindo-se em um sistema limitado.

O resultado da análise apontou que essas tecnologias ainda apresentam limitações/gargalos tecnológicos conforme descrito a seguir:

1. Tamanho e disposição inadequada dos orifícios do dispositivo de manutenção que influenciam diretamente na eficiência de retenção dos sólidos particulados e inviabilizam a limpeza periódica do equipamento;
2. O acúmulo dos sólidos particulados, dentro da caixa, compromete o volume útil de operação até a saturação;
3. Localização inadequada do cano de coleta do efluente tratado; e
4. Inexistência de um coletor separado de óleo e gordura.

4.3.2. Análise dos métodos/processos/tecnologias convencionais para o tratamento de efluentes domésticos provenientes do vaso sanitário

A partir de um estudo detalhado das tecnologias de tratamento dos efluentes oriundos do vaso sanitário, foi possível a identificação das vantagens e limitações discutidas abaixo.

Assim como observado nas caixas de gorduras, as principais vantagens relacionadas da utilização dos métodos convencionais são os baixos custos de implantação e fácil instalação e operação das tecnologias. Porém, devido à existência de muitas limitações na maioria das tecnologias convencionais, abaixo descritas, a utilização é inviável do ponto de vista técnico, ambiental e social (NASCIMENTO FILHO, 2005; COHIM e KIPERSTOK, 2007; FAUSTINO, 2007; TEIXEIRA e MOTTA, 2008; PERES *et al.*, 2010; CEPAS, 2010)

- .1. Ineficiência na estabilização da matéria orgânica possibilitando a poluição dos recursos hídricos e do solo;
2. Ineficiência na remoção ou inativação de microrganismos patogênicos levando a contaminação do ambiente e proliferação de doenças;
3. Ineficiência na remoção de nutrientes (fósforo e nitrogênio) que comprometem a qualidade dos recursos hídricos;
4. Possibilidade de geração de maus odores;
5. Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;
6. Necessidade de espaço e mão-de-obra pra construção de novos equipamentos quando os atuais atingirem a capacidade máxima;
7. Proliferação de insetos;
8. Exigência de condições de terreno adequado para a construção; e
9. Necessidade de elevado tempo de detenção dentro do reator para a completa degradação da matéria orgânico.

Devido às limitações tecnológicas apresentadas, verifica-se a necessidade da proposição de novas tecnologias, a fim de contornar os gargalos encontrados nos sistemas convencionais, proporcionando tratamento eficiente dos efluentes domésticos das áreas rurais.

4.4. MÉTODO/TECNOLOGIA ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS DA ÁREA RURAL

Na Figura 64 se apresenta o desenho tridimensional do método alternativo para tratamentos dos efluentes domésticos da área rural.

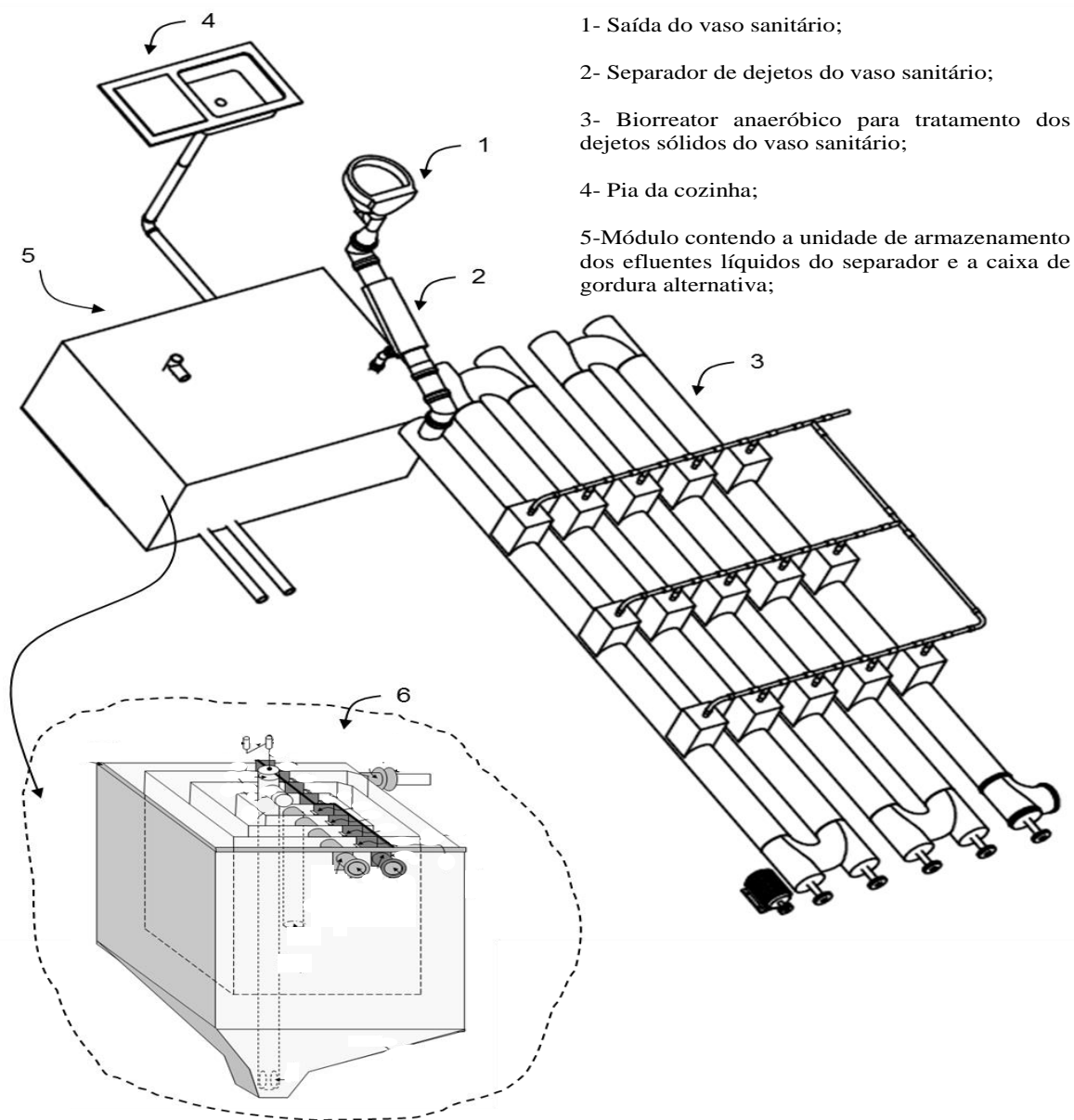


Figura 64. Esquema tridimensional do método alternativo para tratamentos dos efluentes domésticos da área rural.

As características técnicas da tecnologia alternativa foi obtido com base do estudo das limitações identificadas nas tecnologias convencionais e implementação de inovações incrementais. No desenho (1) representa a saída do vaso sanitário, (2) o separador sólido-

líquido de dejetos do vaso sanitário, (3) o biorreator anaeróbico helicoidal de formato tubular, (4) a pia da cozinha, (5) o módulo contendo a pia da cozinha e a unidade de armazenamento de efluente líquido proveniente do vaso sanitário e (6) a caixa de gordura alternativa.

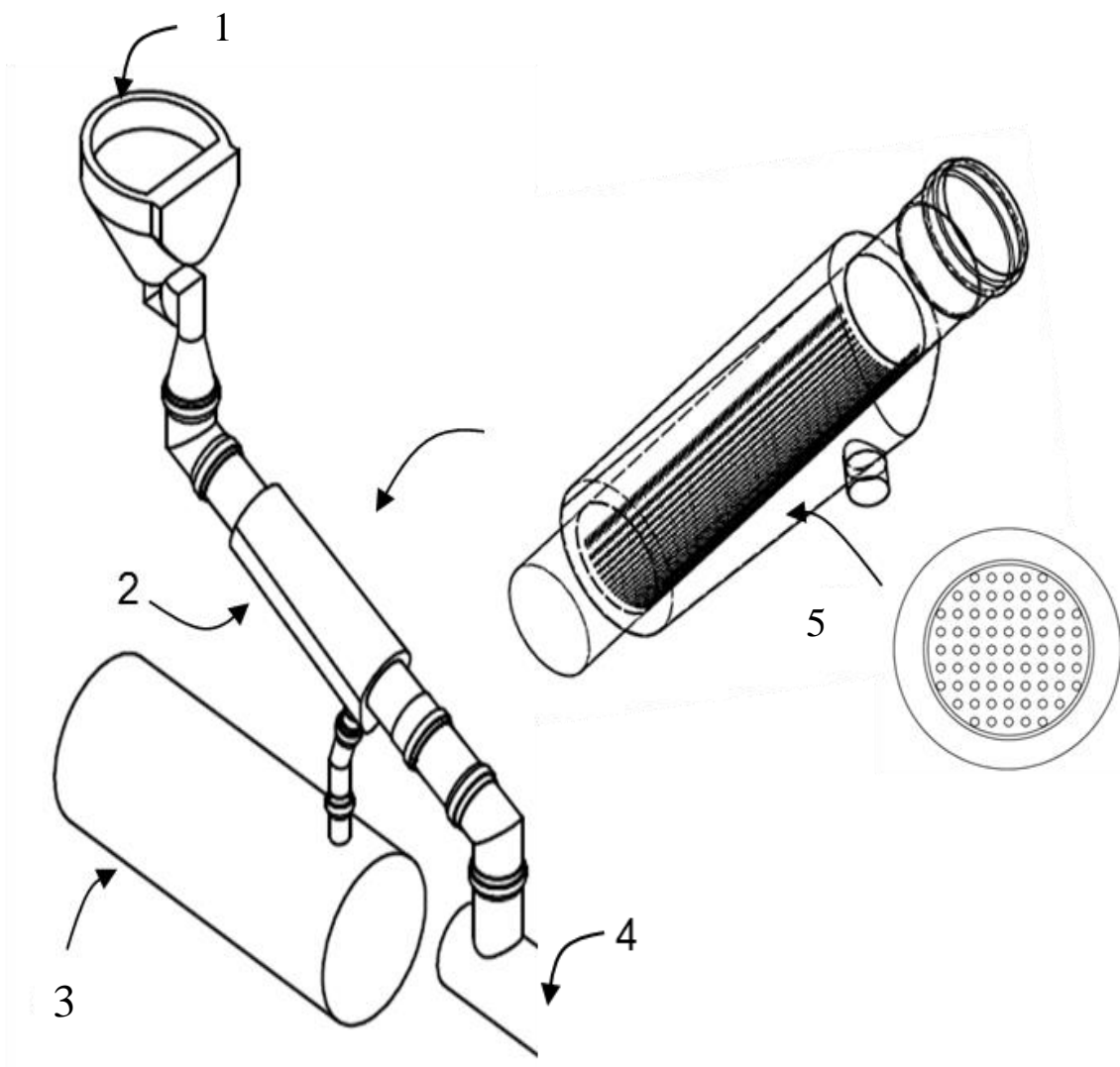
4.4.1. Projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes do vaso sanitário

4.4.1.1. Sistematização das informações obtidas para o desenvolvimento da tecnologia alternativa de tratamento de efluentes do vaso sanitário

Após a constatação da existência de gargalos técnicos nas tecnologias convencionais de tratamento dos efluentes do vaso sanitário, foram estudados os fundamentos dos processos de sedimentação e biodigestão anaeróbica e analisadas as características de impermeabilidade dos dejetos sólidos, elevada presença de patogênicos e DBO apenas nas fezes. A partir disso, identificou-se que a separação da combinação urina e água das fezes após a saída do vaso sanitário e o tratamento segregado destes é o método mais adequado para a eficiência no processo.

Sob tal perspectiva foi projetado e desenvolvido o separador de dejetos sólidos do vaso sanitário, ilustrado na Figura 65. O componente representando pelo número 1 trata-se da saída do vaso sanitário, 2 o separador de urina e água das fezes, 3 o local de armazenamento da água e da urina escoada pela parte inferior do separador, 4 a saída para o biorreator anaeróbico de tratamento das fezes, 5 a peneira instalada dentro do separador responsável pela separação sólido-líquido.

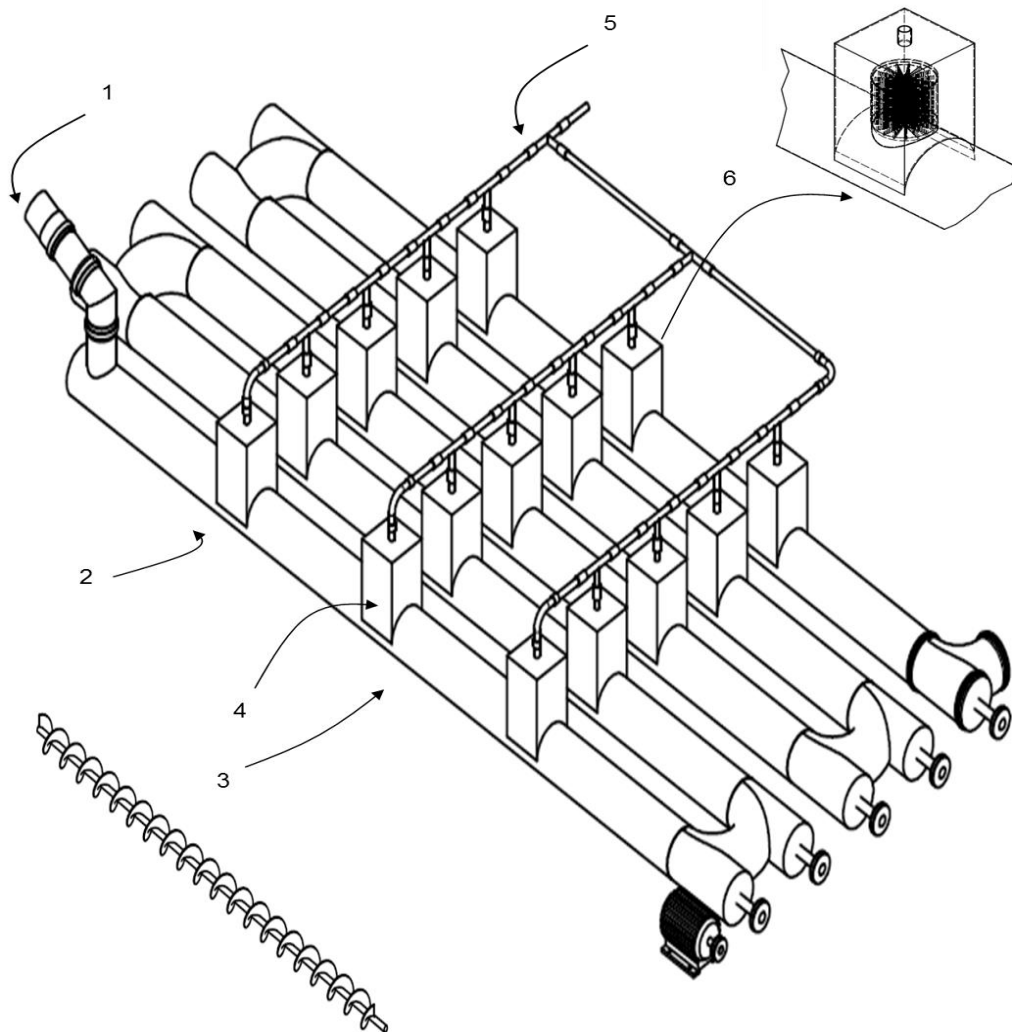
Para o tratamento dos dejetos sólidos, foi desenvolvido um biorreator anaeróbico helicoidal de formato tubular em função das características qualitativas e quantitativas das fezes. O sistema separador somado ao biorreator anaeróbico possibilitou a degradação efetiva da matéria orgânica, redução no tempo de tratamento, a não geração de odores desagradáveis resultantes do processo de decomposição dos dejetos, e evitará a contaminação do meio ambiente por se tratar de tecnologias com eficiente sistema de impermeabilização não possibilitando o contato das efluentes com o solo.



- 1- Saída do vaso sanitário;
- 2- Separador de dejetos do vaso sanitário;
- 3- unidade de armazenamento dos efluentes líquidos;
- 4- Saída dos dejetos sólidos;
- 5- Peneira instalada dentro do separador.

Figura 65. Esquema tridimensional do separador de dejetos do vaso sanitário.

Na Figura 66 apresenta-se o esquema tridimensional desenvolvido para o tratamento dos dejetos sólidos do vaso sanitário.



- 1- Entrada de alimentação do biorreator anaeróbico;
- 2 – Unidade tubular de tratamento;
- 3- Rosca helicoidal inserida dentro das unidades de tratamento;
- 4- Caixa de captação do biogás;
- 5 – Canalização de coleta do biogás;
- 6- Meio poroso instalado dentro das caixas de captação de biogás.

Figura 66. Esquema tridimensional do método desenvolvido para o tratamento dos efluentes do vaso sanitário.

Após a saída do separador as fezes são encaminhadas para um biodigestor anaeróbico helicoidal de formato tubular com unidades de tratamento conectadas entre si caracterizando um sistema contínuo com velocidade controlada. O deslocamento das fezes para a unidade de tratamento seguinte é realizado por roscas helicoidais instaladas dentro

de cada unidade do biorreator, que podem ser ligadas a um motor ou possuir operação manual. O sistema de captação e deslocamento do biogás é composto por 3 locais de saída em cada unidade de tratamento e por canalizações instaladas na parte superior do biorreator que interligam os locais de saída e as unidades de tratamento. O tempo de retenção será de 30 dias originando um resíduo completamente estabilizado e com baixa presença de patogênicos.

O componente representando pelo número 1 trata-se do cano de alimentação do sistema, 2 a unidade tubular de tratamento, 3 a rosca helicoidal de deslocamento dos dejetos instalada no interior das unidades tubulares; 4 o local de saída do biogás; 5 a canalização de coleta do biogás e 6 o interior do local de saída do biogás preenchido com pedra pomes, como pode ser observado na Figura 66.

4.4.1.2. Testes laboratoriais para avaliar a implantação das inovações incrementais ou radicais

a) Avaliação dos parâmetros operacionais inerentes à degradação de dejetos humanos por meio do uso de biorreatores anaeróbicos.

Visando definir os parâmetros do reator de degradação de dejetos humanos desenvolveu-se o módulo experimental ilustrado na Figura 67.



Figura 67. Módulo experimental desenvolvido para a definição dos parâmetros operacionais do biorreator anaeróbico.

Os resultados do experimento evidenciaram que a presença de compostos líquidos (água e urina) juntamente com os dejetos sólidos, compromete sua degradação efetiva,

exigindo maior tempo de detenção dentro do dispositivo, conforme ocorreu no reator apresentado na Figura 68. Após 30 dias do início do experimento constatou-se que parte do líquido do reator havia se deslocado para o recipiente do borbulhador (250 mL dos 500 mL adicionados) e os dejetos sólidos apresentavam as mesmas características físicas do início do experimento.



Figura 68. Reator 4 após decorridos 30 dias do início do experimento.

O reator 1, que possuía somente os dejetos *in natura*, também obteve resultados insatisfatórios em relação a degradação das fezes, os resíduos apresentaram odor desagradável característicos das fezes humanas. Observou-se também que a decomposição do dejetos contido nesse reator foi mais lenta em relação aos reatores 2 e 3, fato constatado pela análise da estrutura física das fezes, como mostra a Figura 69.



Figura 69. Reator 1 após decorridos 30 dias do início do experimento.

Os reatores 2 (dejetos humano e dejetos bovino) e 3 (dejetos humano, dejetos bovino e fibras) apresentaram resultados mais eficientes em relação aos demais, os resíduos estavam visivelmente em estágio avançado de degradação, como pode ser visualizado na Figura 70.

Ambos os resíduos não apresentaram odor característico o que confere vantagem ao sistema desenvolvido.



Figura 70. Reatores 2 e 3 após decorridos 30 dias do início do experimento.

A partir dos resultados do experimento constatou-se que a presença de compostos líquidos (água e urina) retarda o processo de decomposição dos dejetos humanos, exigindo um maior tempo de detenção dentro do reator o que implica em desvantagens na utilização de sistemas de que realizam o tratamento de forma conjunta (urina e fezes). Observou-se também, que para ocorrer à degradação mais acelerada, efetiva e sem a geração de odores desagradáveis deve-se adicionar um inóculo (dejeto bovino) junto às fezes.

A presença das fibras não influenciou o processo de estabilização dos dejetos. Comprovou-se também que a inserção de uma etapa de separação dos dejetos sólidos e dos efluentes líquidos após a saída da fonte geradora possibilita um tratamento mais eficaz e rápido.

b) Definição das condições ideais de instalação e operação do separador de efluentes do vaso sanitário

No experimento realizado para obter as condições ideais de instalação e operação do separador constatou-se que o mesmo deve estar posicionado a 30° como ângulo de repouso (Figura 71). O tamanho ideal dos orifícios da peneira para escoamento da parte líquida, localizados na parte inferior do dispositivo é de 5 mm. Tais condições operacionais possibilitam a separação efetiva dos sólidos (sabugo de milho e macarrão cozido) do meio líquido utilizados no experimento.

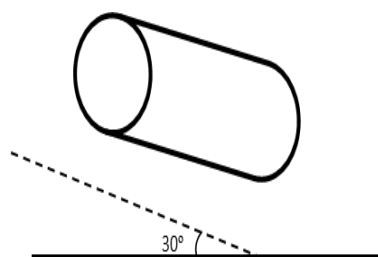


Figura 71. Ângulo de repouso utilizado para instalação do separador.

4.4.2. Projeto e desenvolvimento de uma tecnologia alternativa para o tratamento dos efluentes da pia da cozinha

A partir dos resultados da avaliação das tecnologias existentes no mercado, análise das vantagens e desvantagens das tecnologias utilizadas para tratamento de efluentes da pia da cozinha e da adaptação na tecnologia de Pizzatto (2012) inserindo-a no sistema de tratamento desenvolvido foi possível obter um novo modelo de caixa de gordura para tratamento dos efluentes provenientes da pia da cozinha das áreas rurais, conforme apresenta-se na Figura 72.

O número 1 representa o cano de alimentação do efluente no equipamento, o 2 o local de saída dos sólidos particulados, o 3 o cano de saída de óleos e gordura e o 4 a saída do efluente clarificado. O tratamento da tecnologia alternativa é baseado em aumentar o tempo de detenção do efluente dentro do equipamento devido a presença de uma chapa, estilo chicana, com formato espiral originando compartimentos, o que aumenta a trajetória pelo qual o efluente deve percorrer até a saída do dispositivo conforme metodologia desenvolvida por Pizzatto (2012).

Devido ao maior tempo de retenção na caixa, o óleo/gordura presente no efluente tende a submergir para a superfície, sendo coletado na canaleta. Por outro lado, as partículas sólidas depositam-se no fundo da caixa de gordura e são retiradas por uma rosca-sem-fim, e posteriormente coletadas em uma espécie de sacola acoplada ao cano, que pode ser retirada quando estiver com a capacidade máxima.

- 1 - Cano de alimentação;
- 2- Local de saída dos sólidos particulados;
- 3- Cano de saída de óleos e gordura;
- 4- Saída do efluente clarificado.

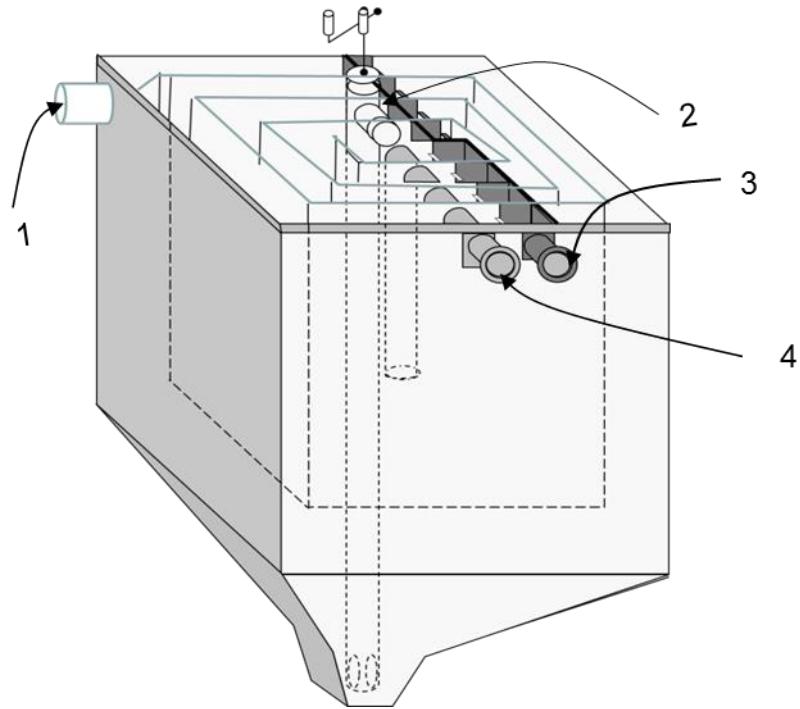


Figura 72. Esquema tridimensional da caixa para o tratamento dos efluentes domésticos da pia da cozinha.

O efluente clarificado, localizado abaixo da camada de gordura é retirado por um cano situado no centro do equipamento, na parte final da espiral em um nível intermediário, como pode ser observado na Figura 74.

4.5. CONSTRUÇÃO (PROTÓTIPO), OPERAÇÃO E MONITORAMENTO TECNOLOGIA ALTERNATIVA

Para a construção do protótipo do separador de efluentes líquidos e do material sólido foi utilizado cano de pvc com diâmetro de 100 mm, na parte inferior do dispositivo foram feitos orifícios de 5 mm de diâmetro para a saída do líquido, conforme ilustra-se na Figura 73.

O ângulo de repouso utilizado para instalação do separador é de 30°, tal inclinação promove a separação efetiva da urina e da água (que escoam através dos orifícios localizados na parte inferior do dispositivo) e o deslocamento das fezes para o biorreator anaeróbico.

A partir das informações obtidas no estudo, constatou-se que modelo mais adequado para o tratamento das fezes trata-se do biorreator helicoidal anaeróbico tubular.

O protótipo do biorreator foi construído utilizando chapa galvanizada, rosca helicoidal instalada dentro do reator responsável pelo deslocamento dos resíduos e locais de saída do biogás constituído de um compartimento instalado na parte superior do biorreator preenchido com pedra pomes a fim de evitar a saída dos dejetos pelo local, conforme apresentado na Figura 74



Figura 73. Protótipo do separador de efluentes do vaso sanitário.



Figura 74. Protótipo do biorreator tubular para tratamento das fezes humanas.

Para a definição da capacidade de operação do biorreator considera-se uma residência com 5 pessoas, estimando que cada habitante produza em média 0,5 kg dejetos

dia⁻¹, a quantidade mensal gerada será de 75 kg de dejetos por domicílio. Para o cálculo do volume do reator considerou-se a densidade das fezes igual a densidade da água (1 kg m⁻³) e o fator de segurança igual a 2 (η), sendo assim o volume do reator será de 225 kg para o tempo de retenção de 30 dias. Nesse sentido, devem ser adicionados mensalmente 22,5 kg (10% do total de dejetos gerados) de dejetos bovinos frescos como meio inoculante de bactérias. Com relação ao comprimento do reator, o valor foi calculado a partir da equação descrita abaixo.

$$V_R = A \cdot L$$

$$A = \pi \cdot D^2/4$$

$$A = 250^2 \text{ mm} \cdot \pi/4$$

$$A = 49062,5 \text{ mm} = 0,0491 \text{ m}^2$$

$$m = 2,5 \text{ kg dejetos dia}^{-1}$$

$$V_{dj} = 2,5 \text{ L dejetos dia}^{-1} = 0,0025 \text{ m}^3 \text{ dejetos dia}^{-1}$$

$$V_{dj} = A \cdot L_{dej}$$

$$L_{dej} = V_{dj}/A$$

$$L_{dej} = 0,0025 \text{ m}^3 \text{ dejetos dia}^{-1} / 0,0491 \text{ m}^2$$

$$L_{dej} = 0,051 \text{ m dejetos dia}^{-1}$$

$$L_R = (30 \text{ dia} \cdot L_{dej}) \cdot (1 + \eta)$$

$$L_R = (30 \text{ dia} \cdot 0,051 \text{ m dejetos dia}^{-1}) \cdot (1 + 2)$$

$$L_R = 4,50 \text{ m}$$

$$V_R = 0,0491 \text{ m}^2 \cdot 4,58 \text{ m}$$

$$V_R = 0,225 \text{ m}^3 = 225 \text{ kg}$$

Os resultados da caracterização química do material degradado apresentaram concentrações elevadas de N com valor de 28 g kg⁻¹, P com 27,4 g kg⁻¹ e K com 28,1 g kg⁻¹. Rebouças *et al.*, (2011) obteve concentrações de 12,9 ± 7,8 g kg⁻¹ de N para dejetos tratados em sistemas de compostagem, Lara *et al.*, (1999) apresentou valores de concentração de 25 g kg⁻¹, 9 g kg⁻¹ e 2 g kg⁻¹ para N, P e K respectivamente, em lodos anaeróbios com calagem. Observa-se que os valores de N apresentaram semelhanças, porém P e K demonstraram grandes disparidades nas concentrações constatadas, o que deve-se as diferenças nos hábitos alimentares e nos métodos de tratamento utilizados (KIRCHMANN E PETTERSON, 1995; REBOUÇAS *et al.*, 2011). Levando em

consideração a possibilidade de utilização dos dejetos estabilizados no solo, a aplicação da quantidade adequada de nutrientes no mesmo varia de acordo com uma análise específica em que são determinadas as dosagens necessárias ao tipo de solo.

As análises bacteriológicas apresentaram resultados satisfatórios na inativação de *E. coli* (<1 NMP g^{-1}) atendendo aos padrões prescritos na legislação ambiental norte-americana/EPA e na Resolução CONAMA 375/2006, ($< 10^3$ de coliformes termotolerantes). Para os coliformes totais obteve-se a concentração de 2.247 NMP g^{-1} , visando assegurar a disposição no solo pode-se utilizar cal virgem dolomítica para reduzir o número de CT (BARROS *et al.*, 2011). Nos dejetos estabilizados por meio do processo de compostagem descrito no estudo Rebouças *et al.*, (2011) foram detectadas 10^2 NMP g^{-1} de *E. coli*.

Os resultados microbiológicos obtidos foram altamente eficientes considerando que as concentrações iniciais de coliformes totais e *E. coli* no dejetos sem tratamento podem atingir valores de 10^{13} e 10^7 NMP g^{-1} respectivamente (SHONNING E STENTROM, 2004; REBOUÇAS *et al.*, 2011). Sendo que a *E. coli* é considerada pela legislação vigente, o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual existência de organismos patogênicos (CONAMA 2005; SÁ, 2012).

Não houve produção suficiente de biogás nos experimentos executados devido à baixa quantidade de resíduos utilizados, assim não foi possível à quantificação e realização das análises de gás previstas.

A tecnologia alternativa desenvolvida para tratamento dos efluentes domésticos da área rural atendeu as expectativas iniciais, apresentando resultados satisfatórios na separação de urina e fezes por meio da instalação do separador de dejetos, na degradação dos dejetos sólidos (fezes) e inativação dos microrganismos indicadores de patogênicos ressaltando a presença de <1 NMP de *E. coli* em apenas 30 dias de tratamento no biorreator anaeróbico helicoidal de formato tubular.

O desenvolvimento da tecnologia alternativa devido às inovações incrementais e aos resultados satisfatórios obtidos está em fase de registro de patente no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual. Os três dispositivos que compõe o sistema alternativo de tratamento possibilitam o tratamento efetivo dos efluentes provenientes do vaso sanitário e da pia da cozinha evitando a poluição/contaminação do meio ambiente e garantindo a qualidade de vida as populações rurais.

CAPÍTULO V - CONCLUSÃO

O cenário do saneamento rural brasileiro é preocupante, principalmente no que se refere aos sistemas de esgotamento sanitário, em que 75% dos domicílios utilizam métodos inadequados de tratamento e potencialmente poluidores do solo e dos recursos hídricos, sendo também os principais responsáveis pela disseminação de doenças relacionadas aos excretas humanos.

Nas áreas rurais do estado do Paraná são consumidos diariamente aproximadamente 326 mil m³ de água (para uso doméstico), conseqüentemente são gerados mais de 261 mil m³ dia⁻¹ de efluentes domésticos, sendo que somente 19,35% das residências possuem cobertura de redes coletoras e fossa séptica. Este cenário evidencia a carência do saneamento adequado, nas áreas rurais do Brasil e em particular do Estado do Paraná, bem como a necessidade da melhoria nas condições de vida das populações rurais.

No município de Toledo/PR constatou-se que mensalmente são consumidos 455.577 m³ de água e gerados 448.809 m³ de efluentes domésticos. O consumo de água na área urbana corresponde a 91% do valor total apresentado em todo o município, o que conseqüentemente é refletido na maior produção de efluentes domésticos. Tal fato se deve a expressiva população residente na área urbana do município, cerca de 90% total do total de habitantes.

Os resultados do experimento realizado para avaliar a eficiência das caixas de gordura convencionais na retenção de óleos, gorduras e material particulado, possibilitam a constatação de que esses equipamentos, muitas vezes, operam como simples caixas sifonadas de passagem e não como dispositivos de tratamento preliminar como proposto.

A existência de gargalos técnicos foi responsável pelo baixo desempenho apresentado pelas caixas de gordura convencionais, entre as principais limitações observadas destacam-se o tamanho e disposição inadequada dos orifícios do dispositivo de manutenção que influenciam diretamente na eficiência de retenção dos sólidos particulados e inviabilizam a limpeza periódica do equipamento; o acúmulo dos sólidos particulados, dentro da caixa, compromete o volume útil de operação até a saturação; a localização inadequada do cano de coleta do efluente tratado; e a inexistência de um coletor separado de óleo e gordura.

Com relação aos métodos convencionais de tratamento de efluentes provenientes do vaso sanitário, comumente utilizados nas áreas rurais, verificou-se que as principais limitações apresentadas foram a ineficiência na estabilização da matéria orgânica possibilitando a poluição dos recursos hídricos e do solo; ineficiência na remoção ou inativação de microrganismos patogênicos levando a contaminação do ambiente e proliferação de doenças; e a necessidade de elevado tempo de detenção dentro do reator para a completa degradação da matéria orgânica.

Baseado nas limitações identificadas nas tecnologias convencionais de tratamento dos efluentes do vaso sanitário e no experimento realizado para avaliação e definição dos parâmetros operacionais do biorreator anaeróbico utilizado para o tratamento dos dejetos humanos, verificou-se que a presença de compostos líquidos (água e urina) retarda o processo de decomposição dos excretas, demandando um período maior dentro do reator o que implica em desvantagens na utilização de sistemas que realizam o tratamento de forma conjunta (urina e fezes). Observou-se também que a adição de um inóculo (dejeito bovino) é fundamental para acelerar e tornar mais eficiente o processo de estabilização da matéria orgânica.

O tempo de retenção obtido no experimento necessário para ocorrer a completa estabilização da matéria orgânica foi de 30 dias. Posteriormente a definição das condições operacionais do biorreator, constatou-se que o modelo de dispositivo mais adequado as condições do material a ser decomposto e as características da área rural trata-se do modelo tubular dotado de uma rosca helicoidal responsável pelo deslocamento dos dejetos.

A caracterização dos resíduos tratados apresentou resultados satisfatórios com remoção efetiva de *E. coli* (<1 NMP g^{-1}) baixa presença de coliformes totais (2.247 NMP g^{-1}). Na análise química dos dejetos estabilizados obteve-se a presença dos nutrientes N P K (N com 28 $g\ kg^{-1}$, P com 27,4 $g\ kg^{-1}$ e K com 28,1 g^{-1}) em quantidades consideráveis que viabilizam a disposição no solo após a passagem do resíduo por um processo de calagem para reduzir as quantidades de CT.

A tecnologia alternativa desenvolvida para o tratamento dos efluentes provenientes do vaso sanitário e da pia da cozinha de residências da área rural apresentou resultados satisfatórios por meio da eficiência na remoção de organismos indicadores de contaminação e contaminantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

AISSE, Miguel Mansur. **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro. ABES, 2000, 192 p.

ANDREOLI, CLEVERSON VITORIO; FERNANDES, Fernando. **Aspectos Metodológicos**. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I. ; FERNANDES, F. (Orgs.) *Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções*, Curitiba. Sanepar, Finep, 1999.

ANGELINI, Ronaldo; BINI, Luis Maurício; STARLING, Fernando. Efeitos de diferentes intervenções no processo de eutrofização do lago Paranoá (Brasília - DF). **Revista Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 564-571, 2008.

APHA. **Standart Methods for the Examination of Water and Wastwater**. 21 Ed., Washinton, DC – EUA. Ed. American Public Health Association, 2005.

ARCHELA, Edison; CARRARO Adalberto; FERNANDES, Fernando; BARROS, Omar Neto Fernandes; ARCHELA, Rosely Sampaio. **Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos**. *Revista Geografia*, v. 12, n. 1, p. 517-525, Jan/Jun. 2003.

AUGUSTO, Karolina Von Zuben. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal/SP, 2007. 131 p.

BARCELLOS, Frederico; OLIVEIRA, Sonia Maria; CARVALHO; Paulo Gonzaga; GREEN, Aristides Lima. **Diagnóstico ambiental dos municípios segundo o modelo pressão-estado-impacto-resposta.** In: ENCONTRO ECO-ECO – Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 6, 2005, Brasília-DF. **Anais...** Disponível em: <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi_en/artigos/mesa3/Diagnostico_PER_para_EcoEco.pdf>. Acesso em Mar. 2013.

BARRETO, G. B. **Noções de Saneamento Rural.** 2 Ed., Campinas. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984.

BARROS, Ivaldete; ANDREOLL, Cleverson; SOUZA JUNIOR, Ivan; COSTA, Antonio. **Avaliação agrônômica de biossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho.** *Revista Brasileira e Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n. 6, p. 630-638, 2011.

BAZZARELLA, Bianca Barcellos; DIAS, Germana Bueno; MATTOS, Cinthia Alvarenga; WIGNER, Patrícia Lee; GONÇALVES, Ricardo Franci. Caracterização e tratamento de águas servidas de origem residencial (águas cinzas) com vistas para reuso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande-MS. **Anais...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-333.pdf>>. Acesso em Abr. 2013.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

BERNARDES, Ricardo Silveira; SOARES, Sergio Rodrigo Ayrimoraes. Diagnóstico de sistemas de saneamento na zona rural: estudo de caso em municípios da região amazônica. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE - 7ª Exposição de experiências municipais em saneamento, 33, 2003, Santo André-SP. **Anais...** Disponível em: <http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab_113.pdf>. Acesso em Fev. 2013.

BOLZONELLA, David; FATONE, Francesco; PAVAN, Paolo; CECHI, Franco. **Anaerobic fermentation of organic municipal solid wastes for the production of soluble organic compounds.** *Revista Industrial Engineering Chemistry Research*, v. 44, p. 3412-3418, 2005.

BRASIL - EMBRAPA. **Fossa Séptica Biodigestora.** São Carlos, 2001.

BRASIL. **Lei 11.445, de 05 janeiro de 2007:** estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Importância das atividades agropecuárias para a economia brasileira.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/noticias/2012/04/confira_participacao-de-mendes-ribeiro-filho-no-programa>. Acesso em Dez. 2012.

BUENO, Fernando Brisola de Almeida; SOUTO, Gabriel D'Arrigo de Brito; LOPES, Alexandre Colzi; CESARI, Carlos Eduardo; CAMPOS, José Roberto. Avaliação de técnicas para tratamento da urina humana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande-MS. **Anais...** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-105.pdf>>. Acesso em Abr. 2013.

CAESB – Companhia de saneamento ambiental do Distrito Federal. **Desenho esquemático das valas de infiltração, 2012.** Disponível em: <http://www.fkcomercio.com.br/dicas_de_fossa_septica.html>. Acesso em Abr. 2013.

CASALI, Carlos Alberto. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria-RS, 2008. 173 p.

CARREIRA, Renato; WAGENER, Angela Rebello; FILEMAN, Timothy; READMAN, James. **Distribuição de Coprostanol (5â(H)-Colestan-3â-OL) em Sedimentos Superficiais da Baía de Guanabara: Indicador da Poluição Recente por Esgotos Domésticos.** *Revista Química Nova*, v 24, n 1, p.37-42, 2001.

CARON, Carolina Fagundes; MESSIAS, Janilce Negrão; COUTINHO FILHO, José Soares; RUSSI, Julio Cesar Vercesi; WEBER, Marisa Isabel. **Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica.** *Tuiuti: Ciência e Cultura*, n. 42, p. 63-73, Curitiba, 2009.

CELP/CHESP/COMPESA/SAAE. **Seminário de saneamento e meio ambiente.** Recife, 1991. 51 p. Disponível em: <<http://www.urbanitarios-pe.org.br/Index/Jornal2-compesa.pdf>>. Acesso em Abr. 2013.

CENTRO DE ESTUDOS DE PROMOÇÃO EM ALTERNATIVAS DE SAÚDE – CEPAS. **Saneamento Básico, Medidas de Higiene e Parasitoses.** Serra, 2010. Disponível em: <<http://www.ufes.br/cepas/4%20-%20Texto%201%20-%20Saneamento%20e%20Parasitose.pdf>>. Acesso em Abr. 2013.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Princípios do tratamento Biológico de águas Residuárias: Reatores Anaeróbios.** Belo Horizonte. UFMG, 1997. 245 p.

CISAM – Conselho Intermunicipal de Saneamento Ambiental. **Manual de Saneamento Rural.** 2006. 94 p. Disponível em: <http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/SaneamentoAmbiental0/SemestreAtual/ManualdeSaneamentoRural.pdf>. Acesso em dez. 2013.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005:** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília-DF, 2005. 27p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em Abr. 2013.

COHIN, E.; KIPERTOK, A. Sistemas de esgotamento sanitário: conhecer o passado para moldar o futuro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte-MG, 24, 2007. **Anais...**

CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006:** Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Brasília-DF, 2006. 32 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em Abr. 2013.

DACACH, Nelson Gandur. **Saneamento Básico.** Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1979.

DBORO. **Caixa de gordura, funcionamento, limpeza e manutenção.** Disponível em: <http://dboro.com.br/enzilimp-caixa-de-gordura.php>. Acesso em dez. 2014.

DERISIO, José Carlos. **Introdução ao controle de poluição ambiental.** 2. Ed., São Paulo. Signus Editora, 2000. 224 p.

FAUSTINO, Adriana Soares. **Estudo físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo.** Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2007. 122 p.

FELIZOLA, Cristina de Souza; LEITE, Valderi Duarte; PRASAD, Shiva. **Estudo do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás.** *Agropecuária Técnica*, v.27, n. 1, p. 53–62, 2006.

FERRETE, Jackson Arlan; BORGES, Elaine Aparecida; LEMOS, Jureth Couto. Risco de contaminação ambiental por esgotos domésticos e resíduos sólidos em lotes do assentamento de Reforma agrária ezequias dos reis, município de araguari (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007. **Anais...** Disponível em:

<http://www.geografiaememoria.ig.ufu.br/downloads/VANIA_ROSOLEN3.pdf>. Acesso em Mar. 2013.

FIRME, Lilian Pittol. **Caracterização físico-química de solos de Mangue e avaliação de sua contaminação por Esgoto doméstico via traçadores fecais**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) ESALQ-USP, Piracicaba-SP, 2003. 82 p.

FITTSCHEN, Imke; HAHN, Hermann. **Characterization of the municipal wastewater parameters human urine and preliminary comparison with liquid cattle excretion**. *Water science technology*, Alemanha, v. 38, n. 6, p. 9-16, 1998.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Evolução da população urbana e rural brasileira, 2011**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/908759-urbanizacao-atinge-a-maior-taxa-da-historia-mostra-censo.shtml>>. Acesso em Mar. 2013.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. Ed. rev., Brasília, Fundação Nacional de Saúde, 2006. 406 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/eng_saneam2.pdf>. Acesso em Abr. 2012.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde. **Saneamento rural**. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/>>. Acesso em Dez de 2012.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL-FBB. **Fossas sépticas biodigestoras**. Cartilha passo a passo, Brasília, 2010. 32 p.

GANROT, Z. **Urine processing for efficient nutrient recovery and reuse in agriculture**. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Göteborg University, 2005. 170 p.

GALBIATI, Adriana Farina. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande-MS, 2009. 52 p.

GALVÃO JUNIOR, Alceu Castro. **Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil.** *Revista Panamericana de Salud Publica*, v. 25, n. 6, p. 548-556, 2009.

GNIPPER, Sergio Frederico. **Avaliação da eficiência das caixas retentoras de gordura prescritas pela NBR 8160:1999 como tanques de flotação natural.** *Revista Ambiente Construído*, v. 8, n.2, p. 119-132, 2008.

GONÇALVES, Ricardo Franci; Rebouças, Thais Cardinali; Daphner Otárola Miraval; Gabriela Bianchi; Bianca Barcelos Bazzarella. Caracterização e tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30, Punta del Este, 2006. **Anais...** Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/BR04371_Goncalves.pdf>. Acesso em Abr. 2013.

HAMODA, M. F.; AL-GHUSAIN, I.; AL-MUTAIRI, N. Z. **Sand filtration of wastewater for tertiary treatment and water reuse.** *Desalination*, v. 164, p. 203-211, 2004.

HANAEUS, Jorgen; HELLSTRÖM, Daniel; JOHANSSON, Erica. **A study of a urine separation system in an ecological village in northern Sweden.** *Water Science and Technology*, v. 35, n. 9, p. 153-160, 1997.

HENZE, M. **Waste design for households with respect to water, organics and nutrients.** *Water Science and Technology*, v. 35, n. 9, p. 113-120, 1997.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2000.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/>>. Acesso em Dez. 2012.

IBGE/PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000. Esgotamento sanitário nos municípios brasileiros. Disponível em

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2000.pdf>. Acesso em Jan. 2013.

IBGE. Perfil dos municípios brasileiros: meio ambiente 2002. Rio de Janeiro: IBGE, 2005, 394 p.

IBGE/PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Esgotamento sanitário nas áreas rurais do Brasil, Censo de 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009>>. Acesso em Dez. de 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm>. Acesso em Dez. de 2012.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Folders de bacias hidrográficas. Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=38>>. Acesso em Dez. 2012.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Saneamento no Brasil - De Olho nos Mananciais Online, 2011. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil-de-olho-nos-mananciais-online->>. Acesso em Fev. 2013.

IPARDES- Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Caderno Estatístico do estado do Paraná Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/Montapdf.php?Municipio=00019&btOk=ok>>. Acesso em Jan. 2013.

JEFFERSON, B.; LAINE, A.; PARSONS, S.; STEPHERSON, T.; JUDD, S. Technologies for domestic wastewater recycling. Urban Water, v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

JOHANSSON, Mats. Urine separation– closing the nutrient cycle. Verna Ecology, Stockholm, 2000.

JULIO, Marcelo de; ANDRADE FILHO, Alceu Gomes; WIECHETECK, Giovana Kátie Wiecheteck; BUSCH, Olivia Mara Savi; HINSCHING, Maria Aparecida de Oliveira; PILATTI, Fernando. Diagnóstico sobre a disposição do esgoto doméstico na Bacia do Manancial Alagados, Ponta Grossa/PR. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 4, 2008, Ponta Grossa-PR. **Anais...** Disponível em:<http://www.4eetcg.uepg.br/oral/37_1.pdf>. Acesso em Abr. 2013.

KIRCHMANN, H., PETTERSSON, S. (1995) Human urine - chemical composition and fertilizer use efficiency. *Fertilizer Research*, n. 40, p. 149- 154, 1995.

KRISTIANSEN, Rolv. **Sand-filter trenches for purification of septic tank effluent: II.** The fate of nitrogen. *Journal of Environmental Quality*, v.10, p .358-361, 1981.

LARA, Aderlene Ines de (org.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Sanepar/Prosab, 1999. 98 p.

LARSEN, Daniel. **Diagnóstico do saneamento rural através de metodologia participativa. Estudo de caso: bacia Contribuinte ao reservatório do rio verde, região Metropolitana de Curitiba, Pr.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2010. 182 p.

LEITE, V.D.; LOPES, W.S; BELLI FILHO, P.; PINTO, R.O.; CASTILHO JR, A.B.; SOARES, H.M.; LIBÂNIO, P.A.C. **Bioestabilização de Resíduos Sólidos Orgânicos.** In: CASSINI, S.T. (Coord.). Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás. Rio de Janeiro: PROSAB, 2003. p. 96-119.

LEITE, José Cleidimário Araújo; RUFINO, Iana Alexandra Alves. **Saneamento Ambiental Rural.** Notas de aula, UFCG, Campina Grande-PB, 2009. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/SBER3.html>>. Acesso em Abr. 2013.

LEMOS, Marcírio de. **Sistema modular para tratamento de esgoto doméstico em assentamento rural e reúso para produção de girassol ornamental.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, 2011. 172 p.

LETTINGA, G.; HULSHOF POL, L. W. ZEEMAN, G. **Biological wastewater treatment Part 1: Anaerobic wastewater treatment.** Lecture notes. Wageningen Agricultural University, ed. January, 1996.

LIND, Bo-Bertil; BAN, Zsófia; BYDÉN, Stefan. **Volume reduction and concentration of nutrients in human urine.** *Ecological Engineering*, Suécia, v. 16, n. 4, p. 561-566, 2001.

LOPES, Immaculada. **Recursos hídricos brasileiros são abundantes, mas o descaso é maior.** In: *Problemas Brasileiros*, 23, São Paulo. SESC, 1998.

MAIER, Clamarion. **Qualidade de águas superficiais e tratamento de águas residuárias por meio de zona de raízes em propriedades de agricultores familiares.** Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria -RS, 2007. 93 p.

MATÉRIA DO CURSO. **Fossa séptica, filtro anaeróbio e sumidouro: cálculos, execução, normas e dicas.** Disponível em: <<http://materiaodocurso.blogspot.com.br/2011/05/fossa-septica-filtro-anaerobico-e.html>>. Acesso em Abr. 2013.

MEHNERT, Dolores Ursula. **Reúso de efluente doméstico na agricultura e a contaminação ambiental por vírus entéricos humanos.** *Instituto Biológico*, São Paulo, v.65, n.1/2, p.19-21, jan./dez., 2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Mortalidade infantil por doenças de veiculação hídrica em 2008.** Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/portalsaude/arquivos/pdf/2013/Fev/21/saudebrasil2011_arte1_cap6.pdf>. Acesso em Abr. 2013.

MORAES, Luiz Riberto Santos. **Medidas estruturantes em saneamento com enfoque para o saneamento rural.** In: Palestra apresentada no VI SEMINÁRIO NACIONAL DE SANEAMENTO RURAL, João Pessoa-PB, 2012. Disponível em: http://www.abes-dn.org.br/eventos/saneamento-rural/palestras/PVII_Luiz_Morais.pdf. Acesso em Abr. 2013.

MOREJON, Camilo Freddy Medonza, FABRIS, Simony Camila, LAUFER, Angela. **Desenvolvimento de uma correlação para identificação do potencial de geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos da atividade doméstica.** *Revista Interagir (UERJ)*, v. 01, n. 9, p. 149-158, 2006.

NASCIMENTO FILHO, D'artagnan Gomes; CASTRO, Denise Aleluita de. Influência das fossas sépticas na contaminação do manancial subterrâneo por nitratos e os riscos para os que optam pelo autoabastecimento como alternativa dos sistemas públicos de distribuição de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005. Campo Grande-MS. **Anais...** Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-376.pdf>. Acesso em Abr. 2013.

NASS, Daniel Perdigão. **O conceito de poluição.** *Revista Eletrônica de Ciências*, São Carlos-SP, n. 13, 2002. Disponível em: http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_13/poluicao.html. Acesso em Mar. 2013.

NOVAES, Antonio Pereira de; SIMÕES, Marcelo Luiz; MARTIN-NETO, Ladislau; CRUVINEL, Paulo Estevão; SANTANA, Aleudo; NOVOTNY, Etelvino Henrique; SANTIAGO, Gilberto; NOGUEIRA, Ana Rita de Araújo. **Utilização de uma fossa séptica para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica.** *Embrapa Instrumentação Agropecuária*, Comunicado Técnico, 46, São Carlos, 2002. Disponível em: <http://www.cnpdia.embrapa.br/produtos/img/fossa.pdf>. Acesso em Abr. 2013.

NUVOLARI, Alessandro. O lançamento *in natura* e seus impactos. In: **Esgoto Sanitário.** São Paulo. Edgard Blücher, 2003.

OLIVEIRA, Rui de; MEDEIROS FILHO, Carlos Fernandes. Esgotamento sanitário em comunidades rurais. Apostila Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, 1998. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/SBER3.html>>. Acesso em Mar. 2013.

OMS – Organização Mundial de Saúde. **Geração per capita de efluentes**. Disponível em: <<http://www.who.int/gho/countries/bra.pdf>>. Acesso em Jan. 2012.

PANIKKAR, A; SHRESTHA, S; HACKNEY, P.; RILEY, S. **A residential blackwater and a municipal solid waste treatment –safety issues and municipal solid waste treatment system - safety issues and risk management**. Orbit 2003, Prathap, P., Murdoch University, Perth, Australia, 2003.

PERES, Leandro José Simoni; HUSSAR, Gilberto José; BELI, Euzebio. **Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora**. *Revista Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal-SP, v. 7, n. 1, p. 020-036, jan. /mar . 2010

PHILIPPI JR., Arlindo; MALHEIROS, Tadeu Fabricio. **Águas residuárias: visão de saúde pública e ambiental**. In: PHILIPPI JR., Arlindo. Saneamento, saúde e ambiente. Barueri. Manole, 2005. p. 181 – 219.

PIZZATTO, Gabriele. **Tecnologia alternativa para tratamento seletivo de efluentes domésticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo/PR, 2012. 114 p.

REBÊLO, Marcelle Maria Pais Silva. **Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento), Universidade Federal de Alagoas, Maceió-Al, 2011. 115 p.

REBOUÇAS, T. C. *et al.* Características físico-químicas e microbiológicas de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte-MG, 24, 2007. **Anais...**

REBOUÇAS, Thais Cardinale; LIMOEIRO, Karla Santos; FONTANA, Gabriel Hector; REBOUÇAS, Caio Cardinale; GONÇALVES, Ricardo Franci. **Estabilização de fezes humanas através de compostagem em regime de batelada.** *Revista AIDS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, v. 4, n. 2, p. 57-67, 2011.

RHEINHEIMER, Danilo dos Santos; GONÇALVES, Celso Silva; PELLEGRINI, João Batista Rossetto. **Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água.** *Revista Ciência & Ambiente*, n. 27, p. 85-96, 2003.

ROCHA, Aristides Almeida. **Controle da qualidade do solo.** In: PHILIPPI JR., A. Saneamento, saúde e ambiente. Barueri. Manole, 2005. p. 485 – 515.

ROSATO, Marina Munhoz ; LEITE, Mauricio Augusto; DURIGAN, Mariana Regina; FRANCO, Renato Momesso; HERNANDEZ, Fernando Braz Tangerino. Quantificação Dos Efluentes Domésticos Produzidos Em Uma Área Rural (Cinturão Verde, Ilha Solteira-SP). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 21, 2009, São José do Rio Preto, SP. **Anais...** Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/efluente_cinturao_cic2009.pdf>. Acesso em Abr. 2013.

ROSOLEN, Vania; HERPIN, Uwe; FRANZLE, Stefan; BREULMANN, Gerhard; CAMARGO, Plínio; PAGANINI, Wanderley; CERRI, Carlos; MELFI, Adolpho; MARKERT, Bernd. **Land application of wastewater in Brazil - A scientific challenge: chemical characterization of soil at Populina, São Paulo State.** *Journal of Soils and Sediments*, v.5, n. 2, p. 112-120, 2005

SÁ, Mariangela Facco de. **Dinâmica da população de coliformes após a aplicação de dejetos de suínos no solo e durante a sua compostagem automatizada.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2013. 82 p.

SANEPAR. **Projeto Unifamiliar – Construção, Operação e Manutenção das Fossas Sépticas**. Cartilha Técnica ao usuário, SANEPAR, Sd. 19 p.

SANTOS, D. C., ILHA, M. S. O; GONÇALVES, Orestes Marracini. **Sistema predial de esgoto sanitário**. Apostila, 10, Escola Politécnica-USP, São Paulo, 2006.

SCHOKEN-ITURRINO, Ruben Pablo; BENINCASA, Monica; LUCAS JR., Jorge; FELIS, S. D. **Biodigestores contínuos: isolamento de bactérias patogênicas no efluente**. *Revista de Engenharia Agrícola*, v. 15, p. 105-108, 1995.

SEMA – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. **Bacia do Rio Paraná III**. Disponível em: <http://www2.itaipu.gov.br/aguaboa/encontroTrinacional/documentos/Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica%20do%20Paran%C3%A1%20III.pdf>. Acesso em dez. 2014.

SEMA – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. **Bacias hidrográficas do Paraná: série histórica, 2010**. 203 p. Disponível em: http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf. Acesso em dez. 2014.

SILVA, Adriane de Andrade. **Viabilidade técnica e econômica da implantação da biodigestão anaeróbia e aplicação de biofertilizante nos atributos de solo e plantas**. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal-SP, 2009. 188 p.

SILVA, Carlos Eduardo. **Caracterização qualitativa dos esgotos domésticos. Tratamento de Resíduos e Impactos Ambientais**. UFMS, 2013. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A1.pdf>. Acesso em Jun. 2013.

SILVA, Gustavo; NOUR, Edson. **Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 268-275, 2005.

SNIS –Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Consumo de água por habitante**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/index.php> . Acesso em Dez. 2012.

SCHÖNNING, C., STENSTRÖM, T. A. Guidelines for the safe use of urine and faeces in Ecological Sanitation. Report 2004- 1, Ecosanres, SEI, Sweden, 2004.

TEIXEIRA, M. B.; MOTTA, A. L. T. S. Sanitário seco compostável, uma alternativa viável de saneamento ambiental. In: IV CONGRESSO NACIONAL EM EXCELÊNCIA EM GESTÃO, Niterói/RJ, 2008. **Anais...**

TONETTI, Adriano; CORAUCCI FILHO, Bruno; BERTONCINI, Edna; OLIVEIRA, Roberto; STEFANUTTI, Ronaldo. Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando a utilização em áreas rurais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 227–234, 2010.

VALIAS, Ana Paola Gonçalves dos Santos; ROQUETO, Marco Antonio ; HORNINK, Daniel Gerber; KOROIVAL, Elton; VIEIRAL, Flaviano Cirilo; ROSAL Giovani Mileto. Qualidade microbiológica de águas de poços rasos e de nascentes de propriedades rurais do município de São João da Boa vista - São Paulo. In: JOINT WORL CONGRESS ON GROUNDWATER, 1, 2000, Fortaleza-CE. **Anais...**

VARNIER, Claudia; HIRATA, Ricardo. **Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque Ecologico do tietê - São Paulo, Brasil**. *Revista de águas subterrâneas*, n. 16, p. 97-104, Maio 2002.

VIGNOLI FILHO, Orlando. **Avaliação da eficiência da remoção bacteriológica em unidades domiciliares de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 1988.132 p.

VILLAR, Pedro Almodovar Gvozdanovic. Saneamento Rural e a sua Contribuição para a Saúde. In: FÓRUM MULTISSETORIAL DE RESPONSABILIDADE AMBIENTAL, 2010, Fortaleza-CE. **Anais...**

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 Ed., Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005. v. 1. 452 p.

ZANCHETTA, Priscilla Garozi. **Recuperação e tratamento da urina humana para uso agrícola**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2007. 83 p.

ZAPPAROLI, Irene Domenes. Saneamento básico: um estudo para comunidades de pequeno porte. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 56, 2008, Rio Branco-Acre. **Anais...**