

Richard Eilers Smith

AVALIAÇÃO DE UM BANHEIRO SECO COM VASO
SEGREGADOR EM FLORIANÓPOLIS, SC

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Luiz Sérgio Philippi, Dr.
Coorientadora: Prof^a. Maria Elisa Magri, Dr^a.

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Smith, Richard Eilers

Avaliação de um banheiro seco com vaso segregador em Florianópolis, SC / Richard Eilers Smith ; orientador, Luiz Sérgio Philippi ; coorientadora, Maria Elisa Magri. - Florianópolis, SC, 2015.

140 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Saneamento Ecológico. 3. Banheiro Seco com Vaso Segregador. 4. Fezes. 5. Secagem. I. Philippi, Luiz Sérgio . II. Magri, Maria Elisa. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

“Avaliação de um Banheiro Seco com Vaso Segregador em Florianópolis, SC”

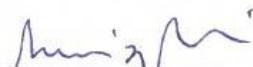
RICHARD EILERS SMITH

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na Área de Engenharia Ambiental.

Aprovado por:



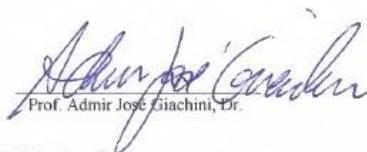
Prof. Luiz Sergio Philipp, Dr.
(Orientador)



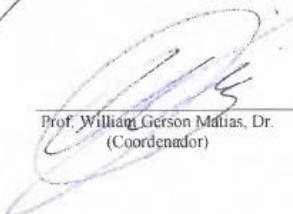
Prof. Paulo Belli Filho, Dr.



Prof. Sergio Roberto Martins, Dr.



Prof. Admir José Giachini, Dr.



Prof. William Gerson Martins, Dr.
(Coordenador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
MAIO/2015

*Aos meus pais Flavia e Mark, à minha irmã
Karen, à minha sobrinha Olívia e à toda minha
família, em especial à minha querida Zia Lia.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e minha irmã por terem sempre me apoiado incondicionalmente na realização dos meus sonhos.

Agradeço imensamente aos meus orientadores Maria Elisa Magri e Luiz Sérgio Philippi por terem acreditado e apostado nesta pesquisa. Vocês tiveram a sabedoria e o conhecimento de grandes professores, grandes "mestres", obrigado pela oportunidade! Construímos juntos o nosso caminho, vocês com muita paciência, experiência e "pé no chão", me ensinaram a pensar e agir como pesquisador. À Joceli "Tutti", uma grande amiga e parceira, sempre animando a vida de todos e ajudando a realizar inúmeras análises, coletas e outras atividades fundamentais para a realização desta e de outras pesquisas.

Aos professores e membros da banca de defesa, Prof. Sergio Roberto Martins, Prof. Paulo Belli Filho e Prof. Admir Giachini por aceitarem ler e contribuir com suas valiosas opiniões.

Sou eternamente grato à Ana Luisa Funchal por ter sido sempre parceira, carinhosa e paciente.

Agradeço ao Universo por ter me apresentado ao maior incentivador desta pesquisa, Percy Ney Silva. Seu entusiasmo, persistência, sabedoria, serenidade, ética e humildade com a causa da conservação da natureza inspira à mim e à todos! Também agradeço à queridíssima Andrea Oliveira, Deia, fiel guardiã do banheiro seco, amiga, irmã e parceira para todas as horas, com toda a sensibilidade e delicadeza de uma borboleta e a alegria de um macaco-prego, foram muitas conversas, conquistas e emoções compartilhadas, gratidão!

Ao meu parceiro de trabalho e irmão João Daniel, com quem compartilhei histórias inacreditáveis e que me levou para conhecer um lugar inesquecível, o Sítio Çarakura! Aos meus outros parceiros(as) de trabalho, de farra e de alma Rodrigo Bicudo, Ary Hauffe, Solano Silveira, Eduardo Moure, Luan Harder, Crislaine Flor. À todos os NEAmbeiros que fazem e fizeram esse Núcleo ganhar vida própria!

Aos voluntários e amigos que moram (ou moraram) no Instituto Çarakura, os quais foram os maiores contribuidores no uso e manutenção do banheiro seco, sempre me mantendo informado sobre o andamento da pesquisa e capacitando os visitantes a fazerem o uso correto da tecnologia: Gustavo, Marcão, João e Fernando, vocês também fazem parte desta pesquisa, sem vocês nada disso seria possível!

À todos amigos do GESAD e PPGA com os quais troquei ideias e alegrias! MUITO OBRIGADO À TODOS VOCÊS!!

*"As pessoas superproduzem
poluição porque elas não
estão arcando com os custos
de lidar com ela".*

Ha-joon Chang

RESUMO

Sendo a água um recurso natural cada vez mais escasso, há a necessidade do desenvolvimento de tecnologias que possam contribuir com sua conservação para um uso sustentável. Este trabalho buscou avaliar um banheiro seco com vaso segregador (BSVS) a partir de critérios técnico-científicos, sendo esta avaliação realizada através de dois experimentos principais. O primeiro experimento foi um diagnóstico comparativo, realizado com 14 banheiros secos no Brasil. Foram levantados aspectos da construção, operação e da percepção ambiental dos usuários. Entre os resultados, destaca-se que a maior dificuldade dos usuários de banheiros secos é o controle dos insetos, seguido pela falta de confiança no tratamento e aceitação da tecnologia. A maior motivação para o uso é ambiental e ecológica e o tratamento mais utilizado é a compostagem. O segundo experimento consistiu no monitoramento de um processo de tratamento de fezes em um BSVS implantado. O tratamento proposto foi realizado com o uso de um vaso segregador que separa as fezes da urina, tratando as excretas separadamente. Após cada defecação foi colocado um material em pó sobre as fezes, chamado de aditivo. A composição do aditivo utilizado foi calcário agrícola (CA), cinzas (CZ) e pequena quantidade de ureia (U) na proporção (CA:CZ:U) 1:1: 0,02. A quantidade de aditivo testada foi de 300 g ou 420 mL (sobre as fezes a cada defecação), o que corresponde a 150 % com relação à massa úmida das fezes. Foram avaliados parâmetros físico-químicos (pH, sólidos totais, fixos e voláteis, concentrações do carbono orgânico e frações nitrogenadas), microbiológicos (*salmonella sp.*, *enterococcus faecalis*, coliformes totais, *escherichia coli*, colifagos somáticos, bacteriófagos RNA Macho-específicos e adenovírus humano tipo 2 HAdV) e também sua composição para o reúso. Os resultados confirmaram a eficiência do tratamento com este aditivo por meio da secagem das fezes, elevação do pH, a hidrólise da ureia, aumento da porcentagem de sólidos fixos e também a redução dos 7 microorganismos analisados, sendo os bacteriófagos (colifagos somáticos e RNA Macho-específicos) os que apresentaram a maior resistência ao tratamento. O tempo de redução de 1 unidade logarítmica (T90) foi de 5,6 dias para os Coliformes totais, 7,9 dias para *Escherichia coli*, 11,3 dias para *Enterococcus faecalis*, 13,1 dias para o Adenovírus humano tipo 2, 17,3 dias para o Bacteriófago RNA Macho-específico e 34,8 dias para os Colifagos somáticos. Com relação ao reúso, do ponto de vista sanitário, as excretas atendem 100 % das exigências da Resolução CONAMA 375/2006 para

o lodo classificado como tipo A. Segundo os parâmetros da Instrução Normativa MAPA 25/2009, as fezes tratadas atendem a maior parte dos critérios definidos para o uso como adubo, sendo viável o uso não comercial. A partir dos resultados foi proposto um tempo de 3 a 4 meses para o tratamento das fezes com este aditivo, fechados no recipiente de armazenamento (bombona), variando conforme a exigência de tratamento do uso previsto: 3 meses para usos menos exigentes, como a recuperação de áreas degradadas, paisagismo ou culturas arbóreas (fruticultura e silvicultura) e 4 meses para usos mais exigentes como a agricultura de alimentos de consumo cru. A urina, conforme pesquisas anteriores, necessita de 6 meses em recipiente fechado para garantir um uso seguro. Esta pesquisa confirmou o potencial do banheiro seco com vaso segregador implantado e monitorado em situação real, comprovando a eficiência do tratamento das fezes, a possibilidade de um reúso seguro das excretas tratadas e contribuindo assim para a conservação dos recursos hídricos e para a fertilidade dos solos.

Palavras-chave: Saneamento ecológico; Banheiro seco com vaso segregador (BSVS); Fezes; Secagem; Ureia.

ABSTRACT

Since water is a natural resource increasingly scarce, there is a need to develop technologies that can contribute to its conservation and sustainable use. This study evaluated a Urine Diverting Dry Toilet (UDDT) using technical-scientific criteria, and this evaluation was conducted through two main experiments. The first experiment was a comparative diagnosis, carried out with 14 dry toilets in Brazil. Aspects of the construction, operation and environmental perception of the users were considered. Among the results, the greatest difficulty for users of these 14 dry toilets is the control of insects, followed by lack of confidence in the treatment and acceptance of the technology. The main motivation for use is environmental and ecological and the most common treatment is composting. The second experiment consisted in monitoring a faeces treatment process in the evaluated UDDT. The proposed treatment was conducted using a segregating vessel that separates the faeces from urine, treating excreta separately. After each defecation was added a powder material on top of the faeces called additive. The composition of the additive used was agricultural limestone (CA), ash (CZ) and a small amount of urea (U) in the proportion (CA: CZ: U) 1: 1: 0.02. The amount of additive tested was 300 g or 420 ml (after each defecation), which corresponds to 150% with respect to the wet weight of faeces. Physico-chemical parameters were evaluated (pH, total solids, fixed and volatile organic carbon concentrations and nitrogen fractions), microbiological (*Salmonella* sp., *Enterococcus faecalis*, total coliforms, *Escherichia coli*, somatic coliphages, bacteriophage RNA male-specific and adenovirus human type 2 HAdV) and also its composition to reuse. The results confirmed the treatment efficiency of this additive by drying the faeces, pH elevation, hydrolysis of urea, increasing the percentage of fixed solids and also the reduction of the 7 microorganisms analyzed, bacteriophages (somatic coliphages and RNA Male -específicos) those who had the highest resistance to treatment. The reduction of 1 log unit time (T90) was 5.6 days for total coliforms, 7.9 days for *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* 11.3 days to 13.1 days for the human adenovirus type 2, 17.3 days for the bacteriophage RNA- male specific and 34.8 days for somatic Coliphages. With regard to reuse, from the sanitary/health point of view, excreta meet 100% of the requirements of Brazilian Resolution CONAMA 375/2006 for the sludge classified as type A. According to the parameters of Normative Instruction 25/2009,

treated faeces attended most of the criteria for use as fertilizer, being viable for non-commercial use. From the results it is proposed 3 to 4 months for treating the faeces with the additive, enclosed in the storage container (bombona), varying according to the requirement of treatment intended use: 3 months for less restriction uses, such as restoration or landscape gardening and four months for more demanding uses such as agriculture of raw food. Urine, as previous research statements, needs 6 months in closed container for safe reuse. This research confirmed the urine diverting dry toilet (UDDT) model potential, proving the efficiency of the treatment of faeces, the possibility of a safe reuse of treated excreta and thus contributing to the conservation of water resources and soil fertility .

Keywords: Ecological sanitation, Urine Diverting Dry Toilet (UDDT); Faeces; Drying; Urea.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráficos da evolução dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio da ONU de 1990 a 2012. Metas de acesso à água potável e metas de acesso ao saneamento adequado.....	6
Figura 2. Crescimento no número de visitantes em Unidades de Conservação Federais de 2007 a 2014.	10
Figura 3. Fluxograma da abordagem tradicional para transferência de tecnologias de saneamento.	15
Figura 4. Abordagem inovadora no processo de transferência de tecnologias de saneamento.	16
Figura 5. Fluxograma de acompanhamento e educação sanitária para implantação de banheiros ECOSAN.	17
Figura 6. Banheiro Seco de 1880 na Suécia, Europa.	20
Figura 7. Banheiro Seco no Zimbábwe, África.	20
Figura 8. Banheiro Seco no México, América do Norte.	20
Figura 9. Banheiros Secos Compostáveis no Brasil. Vasos sanitários sem segregação de urina e fezes.....	21
Figura 10. Banheiros Secos com Vasos Segregadores (à esq. na Alemanha e à dir. Etiópia).....	21
Figura 11. Vaso sanitário segregador com tampa infantil e adulto. Detalhe da mangueira para urina na parte de baixo.	24
Figura 12. Desenho ilustrativo de banheiro seco com vaso segregador e um tanque enterrado para armazenar urina.	24
Figura 13. Banheiro seco construído com alvenaria na África do Sul. .	26
Figura 14. Banheiro seco de madeira certificada e alvenaria em Florianópolis, Brasil.	26
Figura 15. Banheiro seco construído com placas de concreto pré moldado na África do Sul.....	27
Figura 16. Banheiro seco construído com técnica de bioconstrução e reutilização de garrafas de vidro.	27
Figura 17. Vaso sanitário segregador utilizado em pesquisa na África do Sul.	28
Figura 18. Vaso sanitário segregador comercial na Finlândia.....	28
Figura 19. Banheiro seco para agachamento na Índia.	28
Figura 20. Banheiro seco para agachamento na África.	28
Figura 21. Esquema de tubulação de ventilação para o controle de odores saindo do recipiente fixo para fezes em banheiro seco na Finlândia.....	30
Figura 22. Três banheiros secos com tubulação de ventilação de odores equipada com exaustor movido à energia elétrica.....	30

Figura 23. Diferentes modelos de recipientes para as fezes do BSC. ...	30
Figura 24. Recipientes móveis (bombonas) para armazenamento das fezes em BSVS.	31
Figura 25. Recipiente fixo do tipo câmara para o armazenamento de fezes em BSC. Destaque para o dreno que evita o excesso de umidade na câmara.	31
Figura 26. Conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas frações de sólidos biodegradáveis e esgotos produzidos em residências (separados em águas cinzas, fezes e urina) na Suécia.....	40
Figura 27. Mapa de localização da sede do Instituto Çarakura.....	44
Figura 28. Vaso sanitário segregador utilizado no experimento em escala real.	45
Figura 29. Vaso sanitário segregador, similar ao utilizado no experimento.....	45
Figura 30. Crôqui do Banheiro Seco com Vaso Segregador utilizado para o experimento do tratamento das fezes em escala real.....	46
Figura 31. Área interna do BSVS com vaso sanitário segregador ao centro.	46
Figura 32. BSVS – Visão externa frontal, com porta de entrada marrom e detalhe da parte de cima da tubulação de controle de odores em cima do telhado.....	47
Figura 33. BSVS Visão externa nos fundos. Bombona para fezes de 50 litros em branco (esq.) e reservatório de urina 20 litros em azul (dir.), 3 pilares de bambu com cimento e tubulação para odores em preto à direita. Desnível do terreno, evitando escavações.....	47
Figura 34. Balde (10 litros) com caneca (450 mL) e aditivo pronto para uso ao lado do assento do vaso sanitário segregador.	48
Figura 35. Área interna do BSVS. Balde de 10 litros (verde) com aditivo e caneca. Assento com tampa fechada. Álcool gel para higienizar as mãos antes e/ou após o uso.	48
Figura 36. Joelho de 100 mm protegendo a tubulação de controle de odores da chuva.....	48
Figura 37. Tela de proteção para evitar a entrada de insetos.	48
Figura 38. Bombona vista em planta com áreas (1 a 9) a serem sorteadas para coleta com trado.	52
Figura 39 Localização dos banheiros diagnosticados em 4 estados brasileiros: SC, MG, RS e AC.	54
Figura 40 Gráfico com a porcentagem de banheiros em área rural ou urbana.....	55
Figura 41 Gráfico dos locais de implantação.....	55
Figura 42 Gráfico dos tipos de banheiros secos.....	56

Figura 43 Compostável sem segregação	56
Figura 44 Compostável com segregação.....	56
Figura 45	56
Figura 46 Gráfico dos materiais predominantes utilizados na construção.	57
Figura 47 Gráfico com o levantamento dos custos para construção (materiais e mão de obra).	58
Figura 48 Gráfico do número de banheiros secos que contam com tubulação para o controle de odores.	59
Figura 49 Gráfico com o número de usuários que utilizou alguma referência técnica para planejar a construção do banheiro seco.	59
Figura 50 Gráfico com o número de usuários que utilizam a câmara fixa ou a bombona móvel (contentor).....	60
Figura 51 Gráfico com os volumes dos recipientes (fixos e móveis) utilizados para o acúmulo e armazenamento das fezes e urina (em 3 banheiros não existe a segregação das excretas).	60
Figura 52 Gráfico com os volumes dos recipientes móveis de armazenamento da urina.....	61
Figura 53 Gráfico com o número de usuários que utilizam o banheiro seco diariamente. O banheiro n° 11 utiliza apenas aos finais de semana.	62
Figura 54 Gráfico com o número de usuários que utilizam o banheiro seco esporadicamente. Os banheiros n° 3, 5, 7 e 10 não costumam receber visitantes que usam o banheiro seco.	62
Figura 55 Gráfico com o número total (diário + esporádico) de usos por mês em cada banheiro.	63
Figura 56 Gráfico com o número de dias para realizar a manutenção ou troca do recipiente de fezes (com ou sem urina)	63
Figura 57 Gráfico com o número de banheiros que utiliza cada um dos tratamentos.	64
Figura 58 Tempo do processo de compostagem em cada banheiro seco que utiliza este tratamento.	64
Figura 59 Número de banheiros que utilizam aditivos sobre as fezes após cada uso.	65
Figura 60 Materiais utilizados como aditivo.	66
Figura 61 Gráfico com o número de banheiros que realiza análises de monitoramento do composto gerado.	67
Figura 62 Gráfico com as atividades de Reúso das excretas	68
Figura 63 Principais motivações para construir e operar o banheiro seco.	69

Figura 64 Gráfico com as dificuldades apontadas para usar e operar o banheiro seco.	71
Figura 65 Variação temporal do pH nas Bombonas 1, 2 e 3.....	74
Figura 66 Variação temporal do ST nas Bombonas 1, 2 e 3.....	75
Figura 67 Valores médios percentuais de sólidos totais, umidade, sólidos fixos e voláteis na Bombona 1.	76
Figura 68 Valores médios percentuais de sólidos totais, umidade, sólidos fixos e voláteis na Bombona 2.	76
Figura 69 Valores médios percentuais de sólidos totais, umidade, sólidos fixos e voláteis na Bombona 3.....	77
Figura 70 Variação da porcentagem de Carbono Orgânico no tempo. .	78
Figura 71 Box plot da variação do Carbono Orgânico.....	79
Figura 72 Variação da porcentagem de NO ₃ NO ₂ ao longo do tempo..	79
Figura 73 Variação da porcentagem de Amônia ao longo do tempo. ...	80
Figura 74 Box plot da variação do NH ₃	81
Figura 75 Decaimento de bactérias cultiváveis (Salmonella sp.) ao longo do período amostral do experimentoE	83
Figura 76 Decaimento de bactérias cultiváveis (Enterococcus faecalis) ao longo do período amostral do experimento.....	84
Figura 77 Decaimento de bactérias cultiváveis (Coliformes totais) ao longo do período amostral do experimento.	85
Figura 78 Decaimento de bactérias cultiváveis (Escherichia coli) ao longo do período amostral do experimento.....	85
Figura 79 Decaimento de bacteriófagos cultiváveis (Colifagos Somáticos) ao longo do período amostral do experimento.	88
Figura 80 Decaimento de bacteriófagos cultiváveis (Bacteriófagos RNA macho-específicos) ao longo do período amostral do experimento.	89
Figura 81 Decaimento de vírus cultiváveis (Adenovírus humano tipo 2) ao longo do período amostral do experimento.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dificuldades dos usuários dos BSVS e soluções propostas...	70
Tabela 2. Dados gerais das 3 bombonas analisadas no experimento de tratamento das fezes.	72
Tabela 3. Valores máximos, mínimos e médias do pH nas 3 bombonas analisadas.	73
Tabela 4. Valores máximos, mínimos e médias dos Sólidos Totais nas 3 bombonas analisadas.	74
Tabela 5. Dados das cinéticas de inativação dos microorganismos avaliados: <i>Enterococcus faecalis</i> (<i>E. faecalis</i>), Coliformes totais (CT) e <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>).	87
Tabela 6. Dados das cinéticas de inativação dos microorganismos avaliados: Colifagos Somáticos (CS), Adenovírus humano tipo 2 (HAdV) e Bacteriófagos RNA macho-específicos (ME).	92
Tabela 7. Simulação e comparação dos tempos necessários de tratamento para estar em conformidade com diferentes exigências de concentração de patógenos para o reúso.	94
Tabela 8. Comparação dos parâmetros obtidos com o tratamento proposto e os parâmetros da Resolução CONAMA 375/2006.....	118
Tabela 9. Comparação dos parâmetros obtidos com o tratamento proposto e os parâmetros da IN 25/2009 do MAPA.	119

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BSC	Banheiro Seco Compostável
BSVS	Banheiro Seco com Vaso Segregador
CETRE	Centro de Treinamento da Epagri
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CO	Carbono orgânico
Cont.	Continuação
CT	Coliformes Totais
CTer	Coliformes Termotolerantes
DP	Desvio Padrão da média
EP	Erro Padrão
<i>E.coli</i>	<i>Echerichia Coli</i>
<i>E. faecalis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
GESAD	Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IN	Instrução Normativa
K ₂ O	Óxido de Potássio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
mM	Mili molar
N ₂	Gás nitrogênio
N ₂ O	Óxido nitroso
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
N-NH ₄ ⁺	Nitrogênio Amoniacal

N-NH ₃	Nitrogênio Amoniacoal não ionizado
N-NO ₃ ⁻	Nitrogênio Nitrato
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
OSCIP	Organização da Sociedade Civil de Interesse Público
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
P-PO ₄ ⁻³	Fósforo ortofosfato dissolvido reativo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNEA	Política Nacional de Educação Ambiental
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPGEA	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
P total	Fósforo total
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
S total	Enxofre total
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
UC	Unidade de Conservação
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNEP	<i>United Nations Environmental Program</i>
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
UFF	Unidade Formadora de Foco
UFP	Unidade Formadora de Placa
USEPA	<i>Environmental Protection Agency - US</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 SANEAMENTO GLOBAL, REGIONAL, NACIONAL E LOCAL	5
3.2 INTERFACES DO AMBIENTE NATURAL, RURAL E URBANO	7
3.3 SANEAMENTO ECOLÓGICO	12
3.4 BANHEIRO SECO	20
4. METODOLOGIA	41
4.1 DIAGNÓSTICO	42
4.2 EXPERIMENTO DO TRATAMENTO DE FEZES HUMANAS	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1 DIAGNÓSTICO	54
5.2 EXPERIMENTO DO TRATAMENTO DE FEZES HUMANAS EM ESCALA REAL	72
6. CONCLUSÕES	120
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
APÊNDICES	132

1. INTRODUÇÃO

As relações da humanidade com os recursos naturais são dinâmicas e estão em constante mudança. Desde o início da Revolução Industrial no século XVIII, a degradação da biosfera vem se intensificando e causando diversos problemas ambientais, tais como a escassez de água, perda de biodiversidade, as mudanças climáticas e a erosão dos solos, com redução de sua fertilidade.

A água é um elemento fundamental para a existência da vida no planeta, desta forma este recurso necessita de tecnologias, ações e pesquisas que avancem no sentido de conservar e garantir sua existência em abundância (UNESCO, 2003). Os recursos hídricos estão no centro do desenvolvimento sustentável. Os serviços providos por esses recursos contribuem para a redução da pobreza, para o crescimento econômico e também para a sustentabilidade ambiental (UNESCO, 2015).

De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), 2,5 bilhões de pessoas não são assistidas por saneamento básico no mundo. Destas, cerca de 1 bilhão ainda defecam "a céu aberto", sendo que 9 a cada 10 nesta situação vivem em áreas rurais. A vasta maioria da população mundial sem acesso ao saneamento adequado vive em áreas rurais, em situação de pobreza (OMS/UNICEF, 2014). A diarreia, normalmente relacionada com a falta de saneamento, é uma das maiores responsáveis pela mortalidade infantil no mundo (CLARKE et al., 2005).

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB, Lei nº 11.445/2007) e a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH, Lei nº 9.433/1997) são marcos legais que fornecem diretrizes para o saneamento básico e a gestão das águas no Brasil. A primeira estabelece o princípio da universalização do acesso ao saneamento, em suas quatro dimensões: abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos. A segunda lei traz elementos para a gestão social dos recursos hídricos, definindo a água como um bem comum de domínio público, devendo-se priorizar o abastecimento para o consumo humano e a disponibilidade em quantidade e qualidade.

A Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA, Lei nº 9.795/1999) tem como um de seus fundamentos: "a concepção do meio ambiente em sua totalidade, considerando a interdependência entre o meio natural, o socioeconômico e o cultural, sob o enfoque da sustentabilidade", apresentando a necessidade de uma abordagem mais holística e pedagógica das questões ambientais. Já o Sistema Nacional

de Unidades de Conservação (SNUC, Lei nº 9.985/2000), tem como seu principal instrumento, as Unidades de Conservação (UC), as quais protegem diversos recursos naturais, entre eles as águas jurisdicionais (BRASIL, 2000).

Além de contribuírem com princípios, diretrizes e instrumentos para a conservação das águas, estas leis federais citadas têm em comum a participação e o controle social como fundamento.

O crescimento da visitação pública em Unidades de Conservação (UC), tais como os Parques Nacionais, é um fenômeno global contínuo (FUKASAWA, 2004). A ausência de banheiros com tratamento adequado nestas áreas protegidas e nas áreas rurais de entorno, pode contaminar tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas. Isto representa um risco à saúde pública, à medida que é comum estes visitantes utilizarem as águas para recreação de contato primário e para o consumo (MCDONALD et al., 2008).

Considerando que uma parte da atual degradação do ambiente, das ameaças à saúde e da escassez de água, resultam das nossas atuais práticas em saneamento, é urgente incentivar e implementar um novo paradigma, modificando o conceito como as pessoas pensam e agem frente as suas excretas (WERNER et al., 2009).

Entendendo o saneamento como uma questão complexa, não existe uma solução universal (AUSTIN, 2007), mas existem diversas formas de atuar pela sua ampliação. Nesse contexto, o saneamento descentralizado surge como alternativa ou complemento ao saneamento convencional centralizado, tratando o efluente no local ou próximo de sua geração. Diferencia-se do saneamento convencional também por atender aos usuários individuais em áreas de difícil acesso (GONÇALVES, 2009). Regiões isoladas com baixa densidade populacional podem ser servidas por sistemas descentralizados, que são mais simples e têm um custo global menor que os sistemas centralizados (USEPA, 2005).

Dentro da abordagem do saneamento descentralizado, existe a linha do saneamento ecológico, que tem como objetivo geral fechar o ciclo do saneamento com a agricultura. Reciclagem de nutrientes dos esgotos de forma segura, controle da contaminação dos recursos hídricos, redução do consumo de água e de fertilizantes químicos e contribuição com a fertilidade do solo são princípios do saneamento ecológico (WERNER et al., 2009), também chamado de saneamento focado em recursos. Essa abordagem está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas (ODM), uma vez que

busca promover a acessibilidade ao saneamento adequado às comunidades mais pobres do mundo (LANGERGRABER & MUELLEGGER, 2005).

Na linha do saneamento ecológico, uma das opções tecnológicas para tornar o manejo das fezes e da urina mais sustentável é separar as excretas na origem (LAMICHHANE & BABCOCK, 2013). A reciclagem dos nutrientes contidos nas excretas humanas está se tornando possível com o desenvolvimento de banheiros com segregação de urina, possibilitando a utilização das excretas tratadas na agricultura (KUTU et al., 2010) ou na recuperação de áreas degradadas.

Existem diferentes e promissores sistemas de saneamento ecológico, os quais podem ser apropriados para diferentes situações geográficas e socioeconômicas (LANGERGRABER & MUELLEGGER, 2005). A concepção dos banheiros e seus componentes é um aspecto crítico do saneamento ecológico (ESREY et al., 2001). O Banheiro Seco com Vaso Segregador (BSVS) é uma tecnologia que facilita a separação e o consequente tratamento e reúso seguro das excretas, desde que construído e operado de forma correta. A necessidade de produção de um material estável aliada à inativação de patógenos são os principais fatores que balizam as possibilidades de reúso das excretas humanas (MAGRI, 2013). Este estudo buscou avaliar a eficiência do tratamento das fezes de um banheiro seco implantado em situação real na Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) Instituto Çarakura, utilizando-se uma mistura de materiais em pó, colocada sobre as fezes após cada uso. Essa mistura de materiais em pó é chamada nesta pesquisa de aditivo.

Também foram levantadas experiências brasileiras com usuários da tecnologia de banheiro seco, por meio da aplicação questionários, visando identificar percepções, aspectos construtivos, operacionais, potenciais riscos sanitários e boas práticas.

Finalmente, o banheiro seco foi avaliado, considerando-se os resultados do tratamento, os aspectos construtivos e operacionais.

Esta dissertação segue a linha de pesquisa de tratamento e minimização de efluentes domésticos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental e foi realizada por meio do Projeto Higienização de subprodutos gerados em sistemas de saneamento urbanos (lodo de esgoto e fezes humanas) e sistemas de saneamento agropecuários (dejetos de suínos), aprovado no edital universal de 2012 do CNPq. Contou também com o financiamento de bolsa de pesquisa da CAPES durante 2 anos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar um Banheiro Seco com Vaso Segregador (BSVS) implantado na OSCIP Instituto Çarakura em Florianópolis, Santa Catarina.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Realizar um diagnóstico da construção, uso e operação do BSVS implantado e de outros 13 banheiros secos implantados no Brasil;
- ❖ Avaliar um processo de tratamento de fezes humanas, provenientes do Banheiro Seco com Vaso Segregador implantado, utilizando a adição de uma mistura (aditivo) de calcário agrícola, cinzas e ureia (1:1:0,02).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SANEAMENTO GLOBAL, REGIONAL, NACIONAL E LOCAL

Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) foram definidos pela ONU em 2000 com metas globais para a erradicação da fome, ampliar a educação básica, igualdade entre sexos, saúde, respeito ao meio ambiente e para o trabalho.

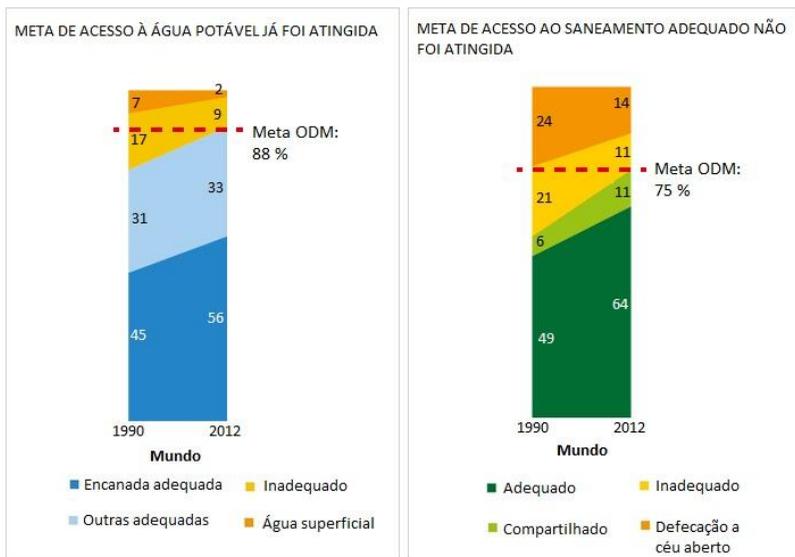
O *Joint Monitoring Programme* (JMP) é o Programa da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) responsável pelo monitoramento dos ODM da ONU, na área do saneamento básico (objetivo 7c).

Segundo o relatório de 2014, existiam 2,5 bilhões de pessoas no mundo sem acesso ao saneamento adequado em 2012. Caso as tendências atuais se confirmem, em 2015 teremos no mundo 2,4 bilhões de pessoas ainda nesta condição. Na América Latina e no Caribe são 110 milhões de pessoas nessas condições (OMS/UNICEF, 2014).

Desta forma, a meta de reduzir pela metade a população global sem acesso ao saneamento adequado até o final de 2015, muito provavelmente não será atingida dentro deste prazo. Para ser cumprida, essa meta deveria contemplar 75 % da população com acesso ao saneamento adequado, mas contempla apenas 64 % (OMS/UNICEF, 2014). Por outro lado, apesar da crescente escassez de água no mundo, a meta do acesso à água potável foi atingida já em 2010, conforme ilustra a figura 1. Estes dados ressaltam a necessidade e urgência em se avançar no acesso ao saneamento adequado.

A definição de acesso ao saneamento adequado, utilizada pela OMS e pelo JMP, inclui uma série de tecnologias de saneamento, mas não necessariamente considera o tratamento eficiente das excretas: “Saneamento adequado é aquele que separa as excretas humanas do contato com o humano de forma higiênica” (BAUM et al, 2013). Desta forma, a categorização utilizada pelo JMP para saneamento adequado não exige o tratamento eficiente do esgoto e, portanto alguns sistemas de saneamento instalados, classificados como adequados, podem não proteger a exposição de parte da população às excretas humanas (BAUM et al, 2013), aumentando ainda mais a parcela da população que não tem acesso ao esgotamento sanitário adequado.

Figura 1 Gráficos da evolução dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio da ONU de 1990 a 2012. Metas de acesso à água potável e metas de acesso ao saneamento adequado.



Fonte: Adaptado *Joint Monitoring Programme OMS/UNICEF* (2014).

Destas 2,5 bilhões de pessoas sem saneamento no mundo, 70% vivem em áreas rurais (OMS/UNICEF, 2014). No Brasil, aproximadamente 134 milhões de pessoas não tem acesso ao saneamento adequado, e destas, 8,2 milhões ainda defecam à céu aberto (SNIS, 2012). Nas áreas rurais, vivem cerca de 30 milhões de pessoas (IBGE, 2010), das quais mais de 15 milhões carecem de acesso ao saneamento adequado (OMS/UNICEF, 2014).

A total ausência de redes de esgotamento sanitário no Brasil é uma realidade para 2.495 municípios de um número total de 5.561 (IBGE, 2011). Esta situação é presente em grande parte dos municípios com menos de 50 mil habitantes, concentrando-se nos municípios rurais e com população dispersa (densidade demográfica inferior a 80 habitantes por quilômetro quadrado), o que traz maior dificuldade para ofertar serviços de coleta e tratamento de esgoto (IBGE, 2011). Em Santa Catarina cerca de 19,97 % da população é atendida com coleta de esgoto de um total de 6.727.148 habitantes (IBGE, 2014). Deste esgoto que é coletado, trata-se 97,28 % (SNIS, 2013).

3.2 INTERFACES DO AMBIENTE NATURAL, RURAL E URBANO

Para Veiga (2002), os municípios com a densidade demográfica menor de 80 hab/km² e menos de 50.000 habitantes no total, são considerados essencialmente rurais. Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), são consideradas rurais as áreas com densidade menor ou igual a 150 hab/km².

O município de São Paulo, por exemplo, que é densamente ocupado tem 7.398 hab/km² (IBGE, 2014). No outro extremo, Urubici em Santa Catarina é um município com grandes UCs e essencialmente rural, tendo uma densidade demográfica de 10 hab/km² (IBGE, 2014).

Se por um lado, a baixa densidade demográfica gera uma carga menor de poluição proveniente das excretas humanas, por outro lado, grande parte dos mananciais que abastecem a população estão nas áreas rurais e também dentro das UC, sendo a preservação destas áreas uma prioridade estratégica para garantir a disponibilidade de água de boa qualidade, a saúde pública da população e a manutenção da biodiversidade.

No Brasil, a classificação oficial de rural e urbano é baseada em lei municipal, pois esta que define as áreas, sendo a população classificada como rural ou urbana de acordo com a localização de seu domicílio. Nesta classificação temos áreas rurais e urbanas em um mesmo município (GIRARDI, 2008).

Para o IBGE são urbanas as sedes municipais (cidades) e as sedes distritais (vilas), cujos perímetros são definidos por lei municipal. Também são consideradas urbanas as áreas urbanas isoladas, igualmente definidas por lei municipal (IBGE, 2000). As áreas rurais são todas aquelas fora dos perímetros definidos como urbanos (GIRARDI, 2008).

Veiga (2002) defende a utilização da variável densidade demográfica para classificar as áreas rurais e urbanas. Segundo o pesquisador, é o indicador que melhor reflete as modificações do meio natural feitas pelo homem e afirma que:

Este indicador está no âmago do índice de pressão antrópica. Nada pode ser mais natural do que as escassas áreas de natureza intocada, e não existem ecossistemas mais alterados pela ação humana do que as manchas ocupadas por megalópoles (VEIGA, 2002).

Entretanto, mesmo nas áreas aparentemente intocadas, de natureza selvagem, a simples visita em pequenos grupos para o

ecoturismo, caminhadas em trilhas, camping ou até a contemplação da natureza, pode contaminar os recursos hídricos. Com a ausência de banheiros os patógenos das excretas chegam nos cursos d'água, principalmente das fezes, seja diretamente (defecação nos corpos d'água) ou com o escoamento da água da chuva. As unidades de conservação são áreas com características de natureza conservada.

Segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituído pela lei no 9.985 de 2000, as Unidades de Conservação são: "Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção" (BRASIL, 2000).

O SNUC define dois grandes grupos para classificar a gestão das UC: Proteção Integral (uso indireto dos recursos naturais) ou Uso Sustentável (uso direto). Segundo o artigo 49 do SNUC, as UC do Grupo de Proteção Integral são consideradas zona rural para os efeitos legais (BRASIL, 2000). Apenas duas categorias do grupo de Proteção Integral não permitem a visitação pública: as Reservas Biológicas (REBIO) e as Estações Ecológicas (EE), mas as visitas guiadas para a educação ambiental ou para a pesquisa científica são permitidas. As outras três categorias de proteção integral são o Monumento Natural (MONA), Refúgio da Vida Silvestre (RVS) e os Parques Nacionais (PARNA). Os Parques Nacionais, e também os Estaduais e Municipais, estão entre os mais visitados, à exemplo do Parque Nacional da Tijuca (RJ), o Parque Nacional do Iguaçu (PR), o Parque Estadual do Rio Vermelho (SC) e o Parque Municipal da Lagoa do Peri (SC). Parques normalmente protegem locais de grande beleza cênica, tomados para o uso público e para a manutenção de seu patrimônio paisagístico e de seus recursos naturais (biodiversidade, água, formações geológicas, solo, entre outros).

As UC do Grupo Uso Sustentável buscam compatibilizar o uso direto dos recursos com a conservação, em algumas categorias permite os assentamentos humanos dentro de suas áreas. As categorias deste grupo são as Reservas Extrativistas (RESEX), as Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS), as Florestas Nacionais (FLONA), Áreas de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), Áreas de Proteção Ambiental (APA), Reserva de Fauna (REFA) e as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN).

O termo áreas protegidas (do inglês, protected areas) é utilizado

como sinônimo de Unidade de Conservação (UC) na maior parte dos países do mundo. No Brasil, área protegida é um conceito mais amplo que engloba as UC, Terras Indígenas, Reservas da Biosfera, Sítios Ramsar, Sítios do Patrimônio Mundial Natural, Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente (MEDEIROS, 2006).

O uso público depende da categoria e do plano de manejo da UC, sendo comum as caminhadas curtas e longas (trekking), o camping, esportes de aventura (tiroleza, bicicleta, rafting, escalada, rapel), observação de aves (birdwatching), contemplação da natureza, canoagem, fotografia, arvorismo, entre outras atividades.

Estudos comprovaram relações diretas entre a contaminação das águas e a visitação de pequenos grupos no Parque Nacional New Cairngorm na Escócia, uma das regiões mais preservadas do Reino Unido, especialmente nos locais com atividades de camping com pernoite (MCDONALD et al., 2008). Esta questão da disposição inadequada de excretas humanas em áreas protegidas, com risco potencial de contaminar as águas superficiais e subterrâneas tem sido amplamente ignorada, sendo os banheiros raramente disponíveis para os visitantes. É normal o consumo de água diretamente dos rios nessas áreas (MCDONALD et al., 2008).

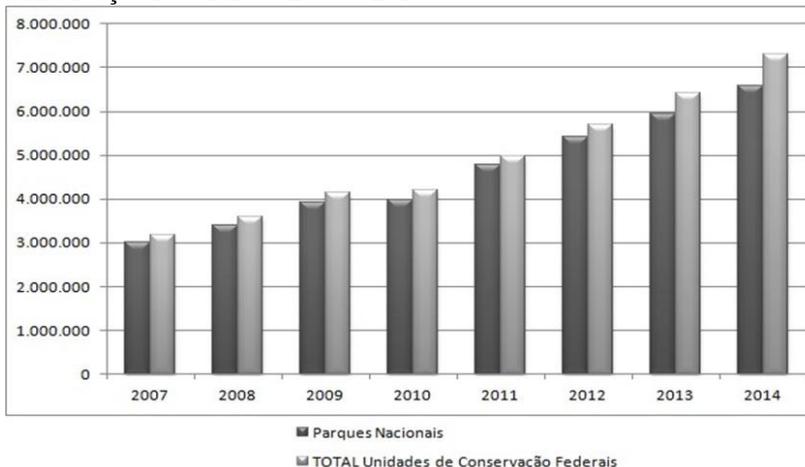
Da mesma forma, um projeto de monitoramento das águas realizado no Parque Municipal da Lagoinha do Leste em Florianópolis, durante 2 anos, constatou significativo aumento na concentração de *Escherichia Coli* (bactéria indicadora de contaminação fecal), justamente nos meses de verão, época em que ocorre considerável aumento da visitação, incluindo atividades de camping. O parâmetro Fósforo Total foi registrado acima do que permite a resolução CONAMA 357/2005, sendo provavelmente resultado do uso de detergentes e/ou sabões pelos turistas (COELHO, 2013).

A implantação de banheiros sem impactar a beleza cênica é um desafio para gestores de áreas protegidas (MCDONALD et al., 2008). A visitação destes espaços protegidos possibilita a sensibilização para preservação dos recursos naturais, a educação e interpretação ambiental e diversas formas de lazer e bem estar em contato direto com a natureza. Além disso, pode gerar renda para a gestão da UC e para a população local, com a cobrança de ingressos para entrada e a oferta de variados serviços ligados ao turismo (LEUZINGER, 2009).

Esta tendência do aumento do número de visitantes em áreas protegidas é um fenômeno global contínuo (FUKASAWA, 2004) e no Brasil, também se confirma este fenômeno. Segundo informações do

ICMBio/MMA, a visitação nas UC federais brasileiras em 2006 foi de 1,9 milhão de pessoas (brasileiros e estrangeiros) e em 2014 passou para mais de 7,3 milhões, apresentando grande crescimento (figura 2).

Figura 2 Crescimento no número de visitantes em Unidades de Conservação Federais de 2007 a 2014.



Fonte: ICMBio/MMA¹

Este balanço da visitação em 2014, mostrou que Parques Nacionais (PARNA), Áreas de Proteção Ambiental (APA) e Florestas Nacionais (FLONA) foram as três categorias mais escolhidas pelos turistas no Brasil. As UCs mais visitadas foram: o Parque Nacional da Tijuca (RJ), com 3.113.913 visitantes, o Parque Nacional do Iguaçu (PR), com 1.550.607 e o Parque Nacional de Jericoacoara (CE), com 400.400 visitantes. Entretanto, para comparação de potencial, os Estados Unidos receberam 280 milhões de visitantes em suas unidades de conservação em 2013, gerando US\$ 30 bilhões em receitas.

Segundo análise do Fórum Econômico Mundial de 2011, o Brasil ficou em 1^o lugar no quesito existência de recursos naturais (beleza cênica) para a competitividade no turismo global (BLANKE e CHIESA, 2011). Portanto, diante deste grande potencial brasileiro, a visitação nas UC deve seguir crescendo significativamente nos próximos anos, podendo aumentar a contaminação hídrica com patógenos nessas áreas,

¹ Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/planilha_e_grafico_visitantes_UC_2007_a_2014_-_dcom.pdf

caso não sejam viabilizadas estruturas de saneamento.

É importante salientar que as UC são áreas com diversas restrições ambientais, podendo abrigar ecossistemas e espécies endêmicos, extremamente frágeis e raros, ou belezas cênicas únicas, com valores estéticos e espirituais. Por isso, demandam um controle rigoroso com relação às ameaças de impacto e contaminação, tanto no interior quanto no entorno destas áreas, chamadas de áreas de amortecimento ou zonas tampão.

O saneamento rural é um componente do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), conforme determina a Lei de Saneamento Básico (Lei 11.445/2007). O Plansab tem o objetivo de planejar os recursos e as ações de promoção do saneamento básico, buscando a universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais (FUNASA, 2011).

O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) é coordenado pelo Ministério da Saúde, através da FUNASA, mas conta com a colaboração dos Ministérios das Cidades, da Integração Nacional, do Desenvolvimento Agrário, do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, da Educação, do Meio Ambiente, da Pesca e Aquicultura, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), governos estaduais e municipais, além da sociedade civil organizada.

Existem três eixos estratégicos no PNSR: (i) tecnologia; (ii) gestão, operação e manutenção dos serviços; e (iii) educação e mobilização social. No eixo tecnologia, comumente são realizadas ações para construção de banheiros convencionais com privada, tanque séptico e sumidouro (FUNASA, 2011). Esta abordagem não considera as excretas como recursos, como propõe o saneamento focado em recursos.

Os sistemas de saneamento em áreas rurais devem considerar o reúso de excretas na agricultura como uma prioridade, desenvolvendo tecnologias, a gestão, educação, operação e manutenção dos sistemas, prezando pelo aspecto sanitário e pela segurança alimentar da população. As potenciais vantagens dos sistemas de saneamento ecológico somente são concretizadas mediante o funcionamento adequado dos sistemas (ESREY et al., 1998).

3.3 SANEAMENTO ECOLÓGICO

Atualmente, predomina o modelo de saneamento centralizado e “fim de tubo”, considerando os subprodutos de nossas atividades como resíduos, o qual mantém uma lógica do afastamento e da transferência de responsabilidades (PHILIPPI et al., 2007). Descargas de água com fezes para cursos d’água ajudaram a disseminar doenças e epidemias devastadoras na Europa do século 19 (EAVANS, 1987) e também em diversos países em desenvolvimento nas últimas décadas (OTTERPOHL, 2000).

Apesar da escassez de água e de recursos para implantação dos sistemas de tratamento centralizados, estes ainda são os mais amplamente difundidos, mesmo em pequenas comunidades de países em desenvolvimento (BAKIR, 2001).

O saneamento focado em recursos ou saneamento ecológico (Ecological Sanitation – EcoSan, como é conhecido internacionalmente) é um conceito de saneamento com uma abordagem mais ecológica e econômica para o gerenciamento da água e dos fluxos de matéria e energia envolvidos. As pesquisas na linha do saneamento focado em recursos surgem como uma necessidade de mudança de comportamento frente às ações humanas de base insustentável na área do saneamento. Desta forma, o saneamento focado em recursos não representa uma única tecnologia, mas sim um modelo ou abordagem de saneamento baseado na ciclagem de nutrientes na agricultura, na redução do consumo de água e na garantia da seguridade alimentar (MAGRI, 2013).

Esta abordagem específica do saneamento ecológico pode ser resumida nas características abaixo (ESREY et al., 2001; LANGERGRABER et al., 2005; WERNER et al., 2009):

- Fechamento dos ciclos de nutrientes entre o saneamento e a agricultura de forma segura e higiênica;
- Saneamento Ecológico introduz o conceito de sustentabilidade, integrando a gestão da água e dos recursos naturais, com orientação ecossistêmica, ao saneamento;
- Preferência por sistemas descentralizados com tratamentos no local ou próximo da geração;
- Conservação dos recursos naturais (redução do consumo de água, redução do uso de fertilizantes químicos, minimização e prevenção da poluição da água superficial e subterrânea);
- Promoção da saúde, evitando a introdução de patógenos nos corpos d’água.

A abordagem do saneamento ecológico foi discutida por um grupo de pesquisadores e especialistas que reuniram-se na cidade de Bellagio de 1 a 4 de fevereiro de 2000, organizados pelo Grupo de Trabalho em Saneamento Ambiental do Conselho Colaborativo de Abastecimento de Água e Saneamento para definir os Princípios de Bellagio. Estes princípios foram elaborados para mudar a abordagem convencional em saneamento praticada no mundo, acelerando assim o progresso em direção à universalização do acesso ao saneamento ambiental. Seguem os principais pontos dos Princípios de Bellagio (HEEB et al., 2007):

- Dignidade humana, qualidade de vida e segurança ambiental devem estar no centro da nova abordagem, nas quais devem ser levadas em conta as necessidades e demandas no nível local;

- Alinhados com a boa governança, as tomadas de decisão devem considerar a participação de todos os envolvidos, especialmente os usuários e provedores dos serviços de saneamento;

- Resíduos (excretas humanas) devem ser considerados recursos;

- A abrangência das soluções em saneamento deve priorizar o mínimo tamanho viável (residencial, condomínio, bairro, cidade).

Diversos projetos com o conceito EcoSan apresentam resultados concretos na utilização do conceito de fechamento dos ciclos, garantindo a saúde pública e a segurança alimentar em diferentes países do mundo (WERNER et al., 2009).

Para ampliar estes sistemas, ainda existem dificuldades de regulamentação no setor. Um exemplo é o uso de urina como fertilizante na Alemanha, o qual não foi regulamentado e por isso, seu uso é limitado aos laboratórios e pesquisas de campo em escala real (WERNER et al., 2009).

São necessárias pesquisas mais avançadas para adquirir a experiência necessária para áreas com soluções mais complexas. Esse conhecimento gerado permitirá a implementação do conceito EcoSan em escalas maiores, comprovando a viabilidade técnica, financeira e os benefícios ecológicos. Diante do enorme potencial desta abordagem específica, deve-se reconhecer o saneamento ecológico como muito promissor e sustentável (WERNER et al., 2009).

3.3.1 Educação sanitária e ambiental

A educação sanitária e ambiental voltada para a ampliação do saneamento, deve considerar que a saúde e o ambiente saudável são um pré requisito para a produtividade humana e a produtividade determina o bem estar econômico (UNESCO, 2006). Além da saúde e higiene, outros elementos devem ser evidenciados para a população com carência em saneamento, durante os processos de educação ambiental para a implementação de tecnologias: Conveniência e conforto (limpeza, sem odores e sem moscas), privacidade e segurança, evitar situações de abuso sexual, reduzir o desconforto com visitas, dignidade e status social (UNESCO, 2006).

O saneamento ecológico tem como uma das premissas a participação dos usuários e operadores na escolha e no uso das tecnologias. Existem três aspectos fundamentais a serem estudados antes de qualquer intervenção no campo social do Ecosan: o psicológico, as questões de gênero e as crenças religiosas (HEEB, 2007).

O primeiro aspecto a ser considerado é o aspecto psicológico da comunidade com relação ao manejo das excretas humanas. É bastante comum uma rejeição inicial para lidar com as excretas sem água e manipular o material tratado para o uso na agricultura. Desta forma, é fundamental tratar desse aspecto abertamente antes de iniciar qualquer intervenção.

O segundo aspecto trata das questões de gênero na comunidade, pois normalmente homens e mulheres têm funções bem definidas com relação ao saneamento. A busca pela água e a limpeza dos banheiros normalmente são feitas pelas mulheres, mas deve-se estimular responsabilidades compartilhadas em sistemas de ciclo fechado.

O terceiro, mas tão importante quanto os outros, é a questão religiosa da comunidade. De acordo com a religião os hábitos sanitários variam bastante e devem ser considerados antes de se propor qualquer mudança de paradigma. Esse fator pode gerar grande resistência, caso não seja compreendido de que forma a crença religiosa se relaciona com os hábitos sanitários de determinada comunidade.

Todos esses aspectos são elementos que constituem a identidade cultural de uma sociedade, a qual deve ser conhecida para evitar possíveis constrangimentos e resistências com um determinado sistema, tecnologia ou procedimento (HEEB, 2007). Pesquisas demonstram que existe uma necessidade de investigar a aceitação social das tecnologias de saneamento ecológico, assim como o uso seguro das excretas e

formas de comunicar a complexidade dos impactos ambientais e suas relações socioeconômicas (BENETTO et al., 2008).

O processo tradicional de transferência de tecnologias para as comunidades tem um formato típico em quatro estágios: planejamento, seleção, implementação e avaliação (figura 3). Deve ser incentivada a participação social desde o início do processo na fase de diagnóstico, quando são mapeadas as necessidades, aspirações e as prioridades dos indivíduos ou do coletivo e também são levantadas as possibilidades financeiras, técnicas e os recursos humanos disponíveis. Todas essas etapas devem considerar a identidade cultural de forma transversal em todas as ações (DAVIES-COLLEY et al., 2012).

Figura 3. Fluxograma da abordagem tradicional para transferência de tecnologias de saneamento.



Fonte: Adaptado de DAVIES-COLLEY et al., 2012.

A partir de um estudo de caso no México, foi proposta uma nova forma inovadora para a transferência de tecnologia. O Projeto Piloto Tepoz Eco Urban Ecological Sanitation foi desenvolvido na cidade de Tepoztlán, com o objetivo de promover o saneamento das excretas da comunidade em uma região com escassez de água.

Após reuniões e oficinas com todos os atores envolvidos, ficou decidido que a tecnologia utilizada seria o ecológico toilet, equivalente ao BSVS, devido principalmente ao alto custo da água, sendo uma comunidade sem acesso ao abastecimento de água encanada. Foram construídos e operados com sucesso 30 BSVS.

A inovação no processo de transferência de tecnologia está na abordagem Relationship building ou “construindo relações”, em português (figura 4).

Figura 4. Abordagem inovadora no processo de transferência de tecnologias de saneamento.



Fonte: Adaptado de DAVIES-COLLEY et al., 2012.

O fato de o BSVS apresentar um novo paradigma sobre as excretas, no qual urina e fezes são recursos e não resíduos exige do público alvo a superação desta barreira para a efetividade da tecnologia (DAVIES-COLLEY et al., 2012).

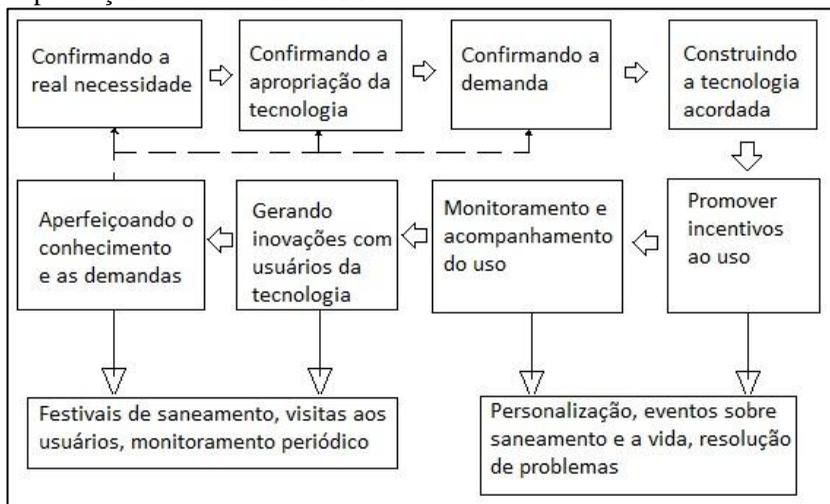
Em resumo, a abordagem inovadora acrescenta uma nova etapa ao processo tradicional – awareness ou conscientização – na qual a comunidade constrói um conhecimento mais amplo sobre a tomada de decisão, nesse caso a escolha de um sistema de saneamento e suas peculiaridades. São apresentados os argumentos, contra e a favor, de tecnologias com potencial para uma determinada realidade. Além desta nova etapa, o processo conta com uma avaliação a cada etapa do processo, evitando que a avaliação seja feita ao final do projeto, quando normalmente não existe mais tempo ou recursos para a correção de eventuais falhas de projeto, de locação ou de abordagem com a comunidade (DAVIES-COLLEY et al., 2012).

Todos esses elementos apresentados devem fazer parte da concepção pedagógica a ser utilizada na implantação de BSVS. A educação sanitária da população deve ser realizada desde a consulta prévia, quando são definidas as demandas, prioridades e tecnologias a serem implantadas, durante a construção e na fase de monitoramento e manutenção dos sistemas.

Normalmente, a educação realizada antes da construção de banheiros garante o uso apropriado. No caso de banheiros secos, é

necessário o monitoramento e acompanhamento do uso nos primeiros 18 meses, priorizando a atenção nos momentos de fechamento e abertura do recipiente contendo as fezes e a urina, sob orientação de pessoal qualificado. Durante esse período, o monitoramento inicial com construtores e usuários geram conhecimentos e adaptações para um uso mais eficiente e para futuros projetos, como ilustra a figura 5 (RAMANI et al., 2012).

Figura 5. Fluxograma de acompanhamento e educação sanitária para implantação de banheiros ECOSAN.



Fonte: Adaptado de RAMANI et al., 2012.

3.3.2 Percepção ambiental

A percepção ambiental está intimamente relacionada aos processos cognitivos, e nesta perspectiva seu estudo possibilita uma melhor compreensão da relação dos indivíduos com o ambiente, tanto no âmbito individual quanto coletivo, com suas expectativas, julgamentos e condutas (LERÍPIO et al., 2003). Resultados oriundos de percepções ambientais (julgamentos, necessidades e expectativas) de determinado grupo de pessoas, podem contribuir para uma gestão mais sustentável dos recursos naturais (SILVA, 2013). Desta forma, é válido investigar qual é a percepção que os indivíduos têm de projetos já implementados (DEL RIO et al., 1996).

Com a evolução dos estudos e pesquisas em percepção ambiental,

ampliaram-se as iniciativas com a aplicação do conceito. A UNESCO, já em 1973, criou o Projeto "Percepção da Qualidade Ambiental", destacando a importância das pesquisas em percepção ambiental para o planejamento do ambiente (RODRIGUES et al., 2012).

A aceitação do usuário para utilizar um sistema novo é chave para o sucesso na implementação de sistemas de saneamento ecológico, sendo recomendado que seja feita uma avaliação da comunidade antes de se introduzir uma nova tecnologia (LAMICHHANE, 2013).

Uma pesquisa na Suíça, realizada com grupos com focos variados, demonstrou que 80% da população aceitaria implantar um BSVS, caso não fosse cobrada nenhuma taxa por isso (PAHL-WOSTL et al., 2003). Em pesquisa recente realizada com 132 pessoas na Universidade do Havaí, 86 % das pessoas demonstraram interesse em implantar um BSVS em suas casas sem custo algum e 61 % estariam dispostas a pagar uma taxa de US\$ 50,00 pela instalação da tecnologia (LAMICHHANE, 2013).

Entretanto, além do interesse e disposição prévia da população para implementação de BSVS, é necessário o acompanhamento e monitoramento após a instalação. Segundo uma ampla pesquisa realizada na África do Sul, no município de eThekweni, da amostra válida de 15.983 usuários do BSVS, 7 % estavam muito satisfeitos, 23 % satisfeitos e 70 % manifestaram insatisfação com a tecnologia, uma década após sua instalação. Os problemas encontrados com maior frequência pelos usuários foram: forte odor (para 71 % dos usuários), falta de privacidade devido à problemas para fechar a porta (para 57 %), uso de materiais e mão de obra de baixa qualidade (para 32 %) e para 31 % problemas na conexão da tubulação da urina (ROMA et al., 2013). Nota-se que os problemas estão bastante relacionados entre si, uma vez que os problemas construtivos (materiais e mão de obra) geram problemas na privacidade e na condução e estocagem da urina, a qual acaba gerando forte odor por ser mal manejada.

Segundo pesquisa realizada na mesma região (eThekweni), imediatamente após a implantação dos BSVS, 78,4 % dos entrevistados manifestaram estarem satisfeitos com a tecnologia (HSRC, 2004), o que demonstra a necessidade de acompanhamento e manutenção, após a implantação e o uso de materiais e mão de obra de boa qualidade. Portanto, é necessário identificar, priorizar e avaliar as resistências sociais ao uso de tecnologias novas, ao introduzir o conceito do saneamento ecológico em uma área com demandas de saneamento. Para aumentar a aceitação e replicação dos BSVS, existe a necessidade da

criação de redes locais, regionais e globais para compartilhamento de experiências e lições.

Uma referência global para o trabalho em rede no saneamento é a *Sustainable Sanitation Alliance* (SuSanA). Em seu sítio na internet é possível ter acesso aos diferentes pilotos com tecnologias de saneamento ecológico, compartilhar artigos, participar de grupos de trabalho temáticos, manuais, experiências e projetos.

Isso pode ajudar a superar diversos desafios da implantação dessa tecnologia, tais como as barreiras socioeconômicas, culturais, religiosas, treinamento para uma manutenção adequada e a criação de mercados com produtos específicos para os BSVS. Segundo Uddin et al. (2014), além destes elementos citados, a questão-chave é primeiramente superar as barreiras financeiras para implantação e manutenção dos BSVS.

3.4 BANHEIRO SECO

Alguns dos benefícios dos banheiros secos, com relação aos banheiros convencionais que utilizam a água como meio de transporte são: economia de água, possibilidade de reúso das excretas tratadas como nutrientes na agricultura, baixo custo e baixa complexidade tecnológica.

Os banheiros secos já são utilizados pela humanidade há algumas centenas de anos, principalmente no oriente. O valor das fezes humanas como fertilizante é conhecido há mais de mil anos na região onde hoje fica a Síria. A urina era evaporada e as fezes secas ao sol (PEASEY, 2000).

Na Suécia, existem registros do uso de exemplares de banheiros secos (figura 6) de 1880 (AUSTIN, 2007). Países como o Zimbábue na África (figura 7) e o México na América do Norte (figura 8) também possuem experiências monitoradas em escala real. Na Alemanha existem banheiros monitorados desde 1987 em residências, creches, escritórios, restaurantes e unidades de conservação. Conforme os banheiros secos são utilizados, mudanças e aprimoramentos são necessários para um maior conforto e eficiência (BERGER, 2007).

Figura 6 Banheiro Seco de 1880 na Suécia, Europa. Figura 7 Banheiro Seco no Zimbábue, África. Figura 8 Banheiro Seco no México, América do Norte.



Fonte: AUSTIN, 2007.

No ocidente o padrão das descargas hidráulicas e da água como elemento de transporte das excretas se disseminou. Apesar do amplo predomínio de sistemas convencionais, atualmente, com o avanço das pesquisas em escala real e a comprovação das vantagens ambientais a curto e longo prazo dos banheiros secos, a tecnologia já está presente em todos os continentes, sendo utilizada em diversos países do mundo, inclusive no Brasil. Os dois principais tipos de banheiro seco são: o

Banheiro Seco Compostável (BSC), que utiliza a compostagem para tratar as excretas, também chamado de sanitário compostável (figura 9), e o Banheiro Seco com Vaso Segregador (BSVS), que normalmente utiliza o tratamento da secagem, ilustrado na figura 10.

Figura 9 Banheiros Secos Compostáveis no Brasil. Vasos sanitários sem segregação de urina e fezes.



Fontes: Arquivo André G. Martins e Arquivo pessoal.

Figura 10 Banheiros Secos com Vasos Segregadores (à esq. na Alemanha e à dir. Etiópia).



Fontes: AUSTIN, 2007 e MAGRI, 2013, respectivamente.

O BSC costuma misturar as excretas (fezes e urina) em um mesmo recipiente, enquanto que o BSVS as separa por meio de um vaso sanitário segregador. Ambos geralmente utilizam algum material para cobrir as fezes após o uso, chamado aqui de aditivo. Existem ainda banheiros secos com vaso segregador (BSVS) que utilizam a compostagem como tratamento (CEPAGRO, 2013).

3.4.1 Banheiro Seco Compostável (BSC) ou Sanitário Compostável

O BSC (ou composting toilet, como é conhecido em inglês) não requer água para o seu funcionamento, apenas para lavar as mãos após o uso. Preserva os recursos hídricos e permite a reciclagem de nutrientes (KAZAMA et al., 2011). O tratamento das excretas é realizado com base no processo de compostagem termofílica. O principal agente na inativação de patógenos é a elevação da temperatura (OMS, 2006).

A compostagem pode promover higienização com qualidade aceitável no produto final, caso a maior parte do material atinja temperaturas suficientemente altas (KJELLBERG CHRISTENSEN et al., 2002). Quanto maior a temperatura, mais curto o tempo necessário

para o tratamento (ALBIHN e VINNERAS, 2007). Os dois fatores principais que influenciam a sobrevivência de bactérias patogênicas na compostagem são: a alta temperatura se mantém ao longo do tempo e composição do material compostado (VINNERAS, 2007). É necessário o período mínimo de 1 semana com a temperatura de 50 °C em toda a leira de compostagem de forma homogênea, para que a redução de patógenos ocorra de forma eficiente (OMS, 2006 e HEEB et al., 2007). Feachem et al. (1983) sugere o período de 2 semanas com a temperatura de 55 °C.

A quantificação de “ovos viáveis de helmintos” por grama tem sido utilizada como indicador uma vez que estes apresentam alta resistência (ESREY et al., 2001; OMS, 2006). De acordo com a OMS o valor limite recomendado para o reúso de excretas tratadas é de 1 ovo viável/grama.

Em pesquisa realizada com um BSC, constatou-se a concentração de 50 ovos viáveis/grama em uma leira de compostagem estabilizada por 7 meses. Entretanto, nesta pesquisa também foi constatada a falta de acompanhamento e controle do aquecimento da leira. Desta forma, destacou-se a necessidade de um acompanhamento técnico e operacional rigoroso para o bom funcionamento da compostagem como tratamento (MARQUES, 2010).

A umidade ideal na leira para a compostagem é de 50 %, podendo variar, mantendo bom funcionamento com umidade entre 45 a 65 %. Esta serve como meio de transporte de nutrientes e também para a condução de calor para os microorganismos desejáveis (termofílicos). Quando em excesso, permite o crescimento dos microorganismos anaeróbios.

Outra questão importante para a eficiência do tratamento é o material a ser utilizado para recobrir as fezes, também chamado de aditivo. No caso dos BSC a serragem de madeira é o aditivo mais comumente usado e a condição desta também influencia no tratamento. Serragens provenientes de madeiras que passaram por tratamento com substâncias químicas, tais como inseticidas e fungicidas, devem ser evitadas. Estas podem contaminar o composto a ser reutilizado na agricultura.

Para aumentar a eficiência do tratamento com uso da serragem como aditivo, deve-se manter o material em local seco, pois uma pesquisa observou que quando a porcentagem de água na serragem excede 50 %, independente da temperatura, ocorre uma redução da eficiência da compostagem das fezes. Os autores ressaltam ainda que os

vírus costumam ser mais resistentes que as bactérias neste tipo de tratamento (KAZAMA et al., 2011). Para Bendixen (1995), é necessário manter uma temperatura constante de 30 °C durante 800 a 900 horas (equivalente à 30 a 37 dias), para atingir uma redução de 4 log no número de vírus.

Em estudo sobre possíveis tratamentos das fezes realizado por Vinnerås (2007), foram comparados a eficiência da compostagem, da adição de ureia e do simples armazenamento. A compostagem termofílica foi eficiente na redução de patógenos. Entretanto, apesar de ter atingido temperaturas acima dos 60 °C, nem todo o material foi aquecido. Desta forma, existe o risco de um novo crescimento das populações de bactérias patogênicas que sobreviveram ao processo de compostagem ou mesmo a recontaminação da matéria fecal que já passou pelo tratamento (VINNERÅS, 2007).

Durante a operação do BSC existe também o risco de transmissão de doenças para os encarregados pela manipulação do composto, uma vez que para ser efetivo o tratamento necessita de reviramento do material compostado. Recomenda-se o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) como luvas, máscara, botas e vestimenta adequada (avental), além da lavagem de mãos e rosto com água e sabão, após o reviramento da leira. Esta atividade exige considerável esforço, mesmo quando mecanizada (VINNERÅS, 2007).

A necessidade de tratamento exigido depende também das condições de saúde dos usuários e dos objetivos de uso do composto gerado após o tratamento (WINBLAD, 1996).

3.4.2 Banheiro Seco com Vaso Segregador (BSVS)

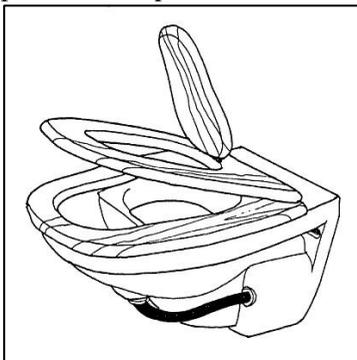
O Banheiro Seco com Vaso Segregador (BSVS) é uma tecnologia voltada para o tratamento e reúso das excretas humanas no local, ou onsite em inglês (UDDIN et al., 2014). Utiliza vasos sanitários segregadores, os quais são responsáveis por separar as fezes e a urina (MAGRI, 2013).

A técnica da segregação da urina vem sendo aplicada em diversas partes do mundo. Banheiros com segregação de urina têm sido utilizados com sucesso por muitos anos em diversos países em desenvolvimento como Vietnã, China, México, El Salvador, Equador, Guatemala, Etiópia, Zimbábue e África do Sul. Mas, a tecnologia não é restrita aos países em desenvolvimento, sendo utilizada com sucesso em países como a Suécia, Alemanha e Finlândia (AUSTIN, 2007). Esta

prática considera as diferenças dessas substâncias (fezes e urina) e abre novas possibilidades para o tratamento e reúso das excretas (ESREY et al., 2001). A separação das fezes e da urina deve ser ampliada, visando a facilitação do tratamento das fezes e o uso de urina pura como fertilizante eficiente e gratuito (HEINONEN-TANSKI et al., 2004).

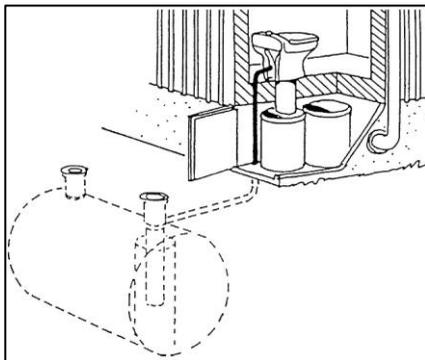
O vaso sanitário segregador, ou simplesmente vaso segregador como também é chamado, é uma tecnologia relativamente nova nos banheiros secos (figura 11). A principal diferença entre o BSC e o BSVS é o conteúdo no recipiente que armazena as fezes (AUSTIN, 2007), sendo mais úmido no sanitário compostável, pois normalmente armazena urina junto. No segundo, a urina é armazenada em outro recipiente que pode ser enterrado ou não (figura 12).

Figura 11. Vaso sanitário segregador com tampa infantil e adulto. Detalhe da mangueira para urina na parte de baixo.



Fonte: ESREY et al. (1998).

Figura 12. Desenho ilustrativo de banheiro seco com vaso segregador e um tanque enterrado para armazenar urina.



Fonte: ESREY S. et al. (1998).

Outra vantagem do vaso segregador é uma redução dos odores desagradáveis e da exposição aos patógenos. As espécies de microorganismos patogênicos presentes nas fezes variam em cada região devido às condições de saúde das populações usuárias. Tratamentos apropriados são necessários para reduzir os patógenos, ao mesmo tempo em que mantém os nutrientes disponíveis. Isso é essencial para usufruir dos benefícios do BSVS na saúde, no ambiente e na agricultura (HAQ et al., 2012).

Os BSVS não são amplamente conhecidos ou tampouco compreendidos pela população em geral. Para serem replicados deve-se

promover um claro entendimento sobre como funcionam e quais as fragilidades existentes. Itens como o vaso sanitário segregador não são familiares. Estes sistemas exigem maior apoio, fomento, educação e treinamento que os sistemas convencionais (ESREY et al., 1998).

O uso incorreto do banheiro seco ou outros problemas operacionais podem aumentar a sobrevivência de patógenos e levar a um aumento no risco de transmissão de doenças, tanto para os que manipulam o material com as excretas supostamente tratadas, quanto para consumidores de safras fertilizadas com os produtos finais dos banheiros secos (PEASEY, 2000).

A garantia de eliminação dos patógenos e a estabilização da matéria orgânica tratada devem ser prioridades nesta linha de pesquisa. Além disso, o conforto do usuário e a viabilidade operacional e logística também são determinantes para o bom funcionamento. Neste sentido, é necessária também a capacitação dos operadores e usuários, iniciando pela superação do paradigma “flush and forget” ou traduzindo, “puxar a descarga e esquecer”. Encontrar uma tecnologia apropriada é o primeiro passo, mas devemos também convencer as pessoas a aceitarem (MCMICHAEL, 1978).

Portanto, para uma reaplicação efetiva desta tecnologia deve-se considerar aspectos construtivos, aspectos da operação, os tratamentos utilizados, reúso na agricultura e a capacitação dos usuários e operadores, inseridos em determinados contextos sociais e culturais.

3.4.3 Aspectos construtivos

Os materiais utilizados e os custos para a construção da estrutura geral dos banheiros secos variam de acordo com os recursos disponíveis no nível local. Normalmente, são construídos pela comunidade com materiais locais ou são pré-fabricados (PEASEY, 2000).

A estrutura pode ser toda construída acima do nível do solo, incluindo os recipientes de armazenamento de fezes e urina, aproveitando-se o desnível do terreno (AUSTIN, 2007). Caso a área seja plana, pode ser construída uma pequena escada para elevar o nível do vaso sanitário e permitir a troca dos recipientes com fezes e urina, ou no caso das câmaras fixas realizar a raspagem do composto. Outra opção é um buraco raso com cerca de 50 cm de profundidade para evitar a necessidade da escada (AUSTIN, 2007).

A construção da estrutura geral deve assegurar resistência frente aos efeitos climáticos, durabilidade, conforto térmico (materiais

isolantes) e boa ventilação (AUSTIN, 2007). As figuras 13 a 16 ilustram algumas opções de materiais utilizados para a construção da estrutura geral: alvenaria, madeira, placas de concreto pré moldadas e bioconstrução reutilizando resíduos (garrafas de vidro e materiais locais como madeira, barro, areia e fibras de plantas).

Figura 13 Banheiro seco construído com alvenaria na África do Sul.



Fonte: AUSTIN, 2007.

Figura 14 Banheiro seco de madeira certificada e alvenaria em Florianópolis, Brasil.



Fonte: MAGRI, 2013.

Figura 15 Banheiro seco construído com placas de concreto pré moldado na África do Sul.



Fonte: AUSTIN, 2007.

Figura 16 Banheiro seco construído com técnica de bioconstrução e reutilização de garrafas de vidro.



Fonte: Instituto Arca Verde.

O vaso sanitário segregador do BSVS é o responsável por separar as excretas na origem, facilitando todo o tratamento para o posterior reúso na agricultura. Diversos modelos de vaso segregador foram desenvolvidos em diversos países, mas a principal diferença são os modelos nos quais existe um vaso sanitário com um compartimento que separa as fezes e a urina, mais comum em países ocidentais (figuras 17 e 18), e os que utilizam o agachamento "em cócoras", mais utilizados em países orientais (figuras 19 e 20).

Figura 17 Vaso sanitário segregador utilizado em pesquisa na África do Sul.



Fonte: AUSTIN, 2007.

Figura 18 Vaso sanitário segregador comercial na Finlândia.



Fonte: UE, 2007.

Figura 19 Banheiro seco para agachamento na Índia.



Fonte: Sustainable sanitation Alliance SuSanA (2008).

Figura 20 Banheiro seco para agachamento na África.



Fonte: Sustainable sanitation Alliance SuSanA (2008).

Além destes dois tipos, a variação deste componente do vaso segregador pode se dar também no material utilizado e na dimensão da

proporção do espaço para urina e para as fezes. O BSVS utilizado no experimento desta pesquisa é feito com fibra de vidro e apresenta a proporção de 60% da área do vaso para as fezes e 40% para a urina.

Tanto no BSC quanto no BSVS é comum o uso de algum material para recobrir as fezes após cada uso, chamado de aditivo. Os mais comuns são a serragem, folhas secas, cinzas, cal, calcário agrícola e concha de ostra triturada. Normalmente, o recobrimento é realizado de forma manual, utilizando-se uma caneca ou objeto semelhante e um balde que armazena o aditivo no banheiro seco. Neste caso, o aspecto construtivo resume-se a um recipiente para o armazenamento com tampa (10 a 20 litros) e uma caneca ou similar. Mas, existem também modelos que utilizam pedais de acionamento de uma "descarga de aditivo" (FIORAVANTI et al., 2015), liberando uma quantidade de material padronizada sobre as fezes no recipiente desta, evitando que o aditivo seja acidentalmente despejado no coletor de urina, por exemplo.

Outro aspecto construtivo relevante refere-se ao controle de odores e de insetos. O controle de odores dos banheiros secos é realizado de duas formas: ventilação da cabine do banheiro com janelas ou aberturas na parte superior da parede e nos recipientes de urina e de fezes, nos quais são acopladas tubulações de ventilação para os odores (figura 21). Essas tubulações devem ter 100 mm de diâmetro (AUSTIN, 2007).

Para manter os insetos afastados é fundamental o uso correto do banheiro com aditivos cobrindo as fezes. No topo da tubulação de ventilação para os odores e nas janelas é recomendado o uso de telas contra insetos e, se possível, pintar a tubulação de preto e voltar esta para o sol, induzindo a sucção por diferença de pressão no sistema. É importante evitar a entrada de água na tubulação de ventilação dos odores, assim como no recipiente das fezes. A tubulação deve ser rigidamente fixa à estrutura geral do banheiro e todos os encaixes devem ser muito bem selados (AUSTIN, 2007).

Outro mecanismo de incremento ao controle de odores é a colocação de um pequeno exaustor na tubulação de ventilação de odores, semelhante ao cooler utilizado em microcomputadores, normalmente acionado por energia elétrica (figura 22).

Figura 21 Esquema de tubulação de ventilação para o controle de odores saindo do recipiente fixo para fezes em banheiro seco na Finlândia.



Fonte: UE, 2007.

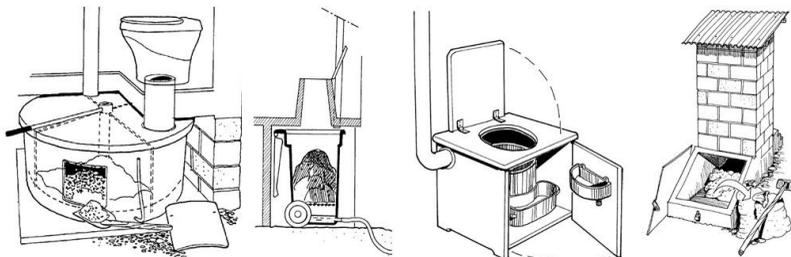
Figura 22 Três banheiros secos com tubulação de ventilação de odores equipada com exaustor movido à energia elétrica.



Fonte: Arquivo pessoal.

O armazenamento de fezes e urina dos banheiros secos pode ser feito em um mesmo recipiente ou em recipientes diferentes. Os BSC normalmente misturam estes na mesma câmara (figura 23), enquanto que BSVS utilizam recipientes separados, pois separam as fezes e a urina (SIDA, 1998). Nos dois tipos de banheiros secos existem diversos tipos e tamanhos de recipientes, variando conforme a intensidade de uso, os recursos financeiros alocados, materiais e tecnologias disponíveis.

Figura 23 Diferentes modelos de recipientes para as fezes do BSC.



Fonte: SIDA, 1998.

Os BSVS utilizam uma mangueira ou tubulação para conduzir a urina e armazenar em um recipiente adequado. Este pode ser móvel ou fixo (tanque), mas deve ser mantido fechado ou com pouca ventilação para evitar a perda de nutrientes.

A câmara das fezes fica posicionada logo abaixo do vaso sanitário segregador, podendo ser um recipiente móvel, chamado aqui de bombona (figura 24), ou uma câmara fixa (figura 25).

Figura 24 Recipientes móveis (bombonas) para armazenamento das fezes em BSVS.



Fonte: Sustainable Sanitation Alliance.

Figura 25 Recipiente fixo do tipo câmara para o armazenamento de fezes em BSC. Destaque para o dreno que evita o excesso de umidade na câmara.



Fonte: Arquivo pessoal.

Para o dimensionamento destes recipientes, da logística e da necessidade de aditivos, é importante considerar o número de usuários e as médias de "produção" de excretas por pessoa. A produção anual de fezes de uma pessoa adulta é cerca de 50 litros ou 35 kg, e de cerca de 500 litros de urina (OTTERPOHL, 2000). Segundo Magri (2013), a média anual é de 47 kg de fezes (com teor médio de água de 77 % e 23 % de sólidos) e 549 litros de urina em Florianópolis. Ainda segundo a pesquisadora, uma pessoa adulta produz em média 128 ± 67 gramas a cada defecação, sendo os homens com média de 136 gramas e as mulheres 121 gramas. A média por urinação é de 190 ± 90 mL. Por dia por dia gira em torno de $1,26 \pm 0,68$ L e $1,75 \pm 0,78$ L para mulheres e homens, respectivamente.

Para Austin (2007), uma pessoa necessita de 70 litros para acomodar as fezes produzidas em 1 ano em um BSVS, considerando também o aditivo e o papel higiênico necessário neste volume.

3.4.4 Aspectos de operação

A operação dos banheiros secos deve ser realizada de forma sistemática e organizada, para garantir a eficiência da tecnologia. É importante saber qual o tipo de uso que será realizado no banheiro seco para planejar a operação, podendo ser de uso público, uso comercial ou familiar.

Banheiros públicos devem contar com mais sinalização, orientação permanente e maior intensidade na higienização. Nos banheiros secos em ambientes comerciais fechados (escritórios) o número de usuários tende a ser menor e uma vez capacitados para o uso, estarão aptos a manter a mesma rotina das próximas vezes. Nos banheiros públicos e comerciais, normalmente o usuário não realiza a manutenção dos recipientes de armazenamento, sendo contratado um operador. Já nos familiares, o usuário realiza também a troca ou esvaziamento dos recipientes das fezes e urina armazenados, e também o reúso.

O local e o objetivo previsto para o reúso das excretas tratadas irá influenciar de forma decisiva a logística, a emissão de gases do efeito estufa e o custo da operação. Recomenda-se que o reúso seja realizado o mais próximo possível do banheiro seco. Nas áreas da UC e entorno deve-se priorizar o reúso para a restauração de áreas degradadas, potencializando a conectividade de fragmentos florestais nativos. Para as demais áreas rurais recomenda-se o reúso para a agricultura de diversas culturas.

Os dois tipos de banheiros secos já apresentados (BSC e BSVS) também diferem bastante com relação à operação. Mas, ambos devem ter o objetivo do reúso do material tratado de forma segura do ponto de vista sanitário.

Nos BSC o principal fator de eficiência no tratamento é o processo de compostagem ao qual as fezes e a urina são submetidas, normalmente misturadas. Desta forma, se o processo de compostagem das excretas for bem dimensionado e bem operado o material final estará adequado ao reúso na agricultura. Os principais fatores para a eficiência da remoção de patógenos na compostagem são a temperatura e o tempo, destacando-se também a homogeneização da temperatura no composto (STRAUB et al., 1993; VINNERÅS, 2007). Já para os BSVS, as fezes e a urina são coletados separadamente com o objetivo de reciclar os nutrientes contidos, sem misturá-los (NIWAGABA, 2009). O tratamento das fezes mais comum neste tipo de banheiro seco é a

desidratação e está mais relacionado ao conteúdo e quantidade de material utilizado como 'aditivo', colocado sobre as fezes a cada uso e também ao tempo necessário para que este material, em contato com as fezes, reduza ou elimine os microorganismos patogênicos.

A logística do aditivo deve ser pensada em termos do número de usuários, calculando a quantidade necessária para cada indivíduo multiplicado pelo número de usos recomendado para encher a bombona que armazena as fezes. É importante contar com um local seco e protegido para armazenar os materiais usadas como aditivos. No banheiro seco, pode-se armazenar o aditivo pronto para o uso em vasos com tampa de 10 a 20 litros.

O aspecto operacional das fezes deve priorizar, além da eliminação de patógenos e a estabilização do material, a coleta de forma que garanta o armazenamento seguro e seja facilmente removida para o reúso (AUSTIN, 2007).

Para a urina coletada no vaso sanitário segregador e conduzida para um recipiente, é necessário realizar a troca do recipiente quando este estiver quase cheio, caso seja móvel, ou esvaziá-lo para outro recipiente, caso seja um tanque fixo.

A higiene após o uso do banheiro seco é realizada da mesma forma que é feita em banheiros convencionais, utilizando-se papel higiênico e lavando-se as mãos com água e sabão.

O papel higiênico utilizado pode ser depositado no recipiente de armazenamento das fezes, pois este não promove diferença na secagem, mineralização e elevação do pH do material fecal de um BSVS, tratado por secagem (MAGRI, 2013). Nos BSC com a matéria fecal compostada é possível depositar o papel higiênico utilizado no recipiente de acúmulo das fezes (AUSTIN, 2007).

Recomenda-se priorizar a lavação de mãos ao invés do álcool gel, pois este tem eficácia reduzida quando comparado à primeira opção. O álcool gel pode ser utilizado como instrumento auxiliar (MORAIS et al., 2011) e para áreas com crítica escassez de água.

A limpeza do banheiro é essencial para a higiene e deve ser feita na mesma intensidade de um banheiro convencional (AUSTIN, 2007). A limpeza do vaso sanitário deve ser feita com esponjas de limpeza de banheiro ou escovas, utilizando pouca água. Caso seja utilizado algum desinfetante, é importante garantir que mínimas quantidades deste líquido entrem no recipiente das fezes, abaixo do vaso sanitário segregador (AUSTIN, 2007).

3.4.5 Tratamento de fezes e urina em BSVS

O critério mais importante a ser seguido nos sistemas de saneamento ecológico, e em todas as abordagens de saneamento, é que o sistema crie uma barreira contra a propagação de doenças, causadas por organismos patogênicos encontrados nas excretas (ESREY et al., 1998). A maior parte dos patógenos encontram-se nas fezes, enquanto que a maioria dos nutrientes estão na urina (ESREY et al., 2001).

3.4.5.1 Tratamento das fezes

Existe um consenso geral entre os promotores do saneamento seco de que existe um risco à saúde se estes sistemas não forem operados de forma correta (PEASEY, 2000). Da mesma forma, o saneamento convencional centralizado com problemas de operação ou dimensionamento equivocado, também ameaça a saúde.

Os quatro principais grupos de organismos patogênicos, encontrados nas fezes frescas são: bactérias, vírus, protozoários e helmintos (ESREY et al., 1998 e MAGRI, 2013).

Experiências com BSVS indicam que os patógenos das fezes podem ser eliminados em alguns meses com a elevação do pH, secagem e armazenamento (ESREY et al., 2001). No entanto, é importante salientar que cada microorganismo possui um comportamento diferente, e conseqüentemente, necessita de tempos diferentes para sua eliminação. Nos BSVS a urina e as fezes são coletadas separadamente, visando facilitar o tratamento e a reciclagem de seus nutrientes (NIWAGABA et al., 2009). Desta forma, é mais fácil evitar a umidade em excesso para o tratamento das fezes e a urina permanece em outro recipiente relativamente livre de organismos patogênicos, sendo seu tratamento e reúso facilitados (ESREY et al., 1998).

Segundo Magri (2013), os processos de tratamento para as fezes mais estudados são:

- Compostagem e co-compostagem com resíduos sólidos orgânicos (mais utilizada em banheiros secos, sem o vaso sanitário segregador);
- Secagem ou Desidratação;
- Incineração;
- Sanitização com amônia.

Na sanitização de excretas os principais métodos já estabelecidos baseiam-se nos fatores: pH, umidade, temperatura, tempo de armazenamento, insolação com raios UV (PEASEY, 2000) e amônia (NORDIN, 2010 e ESPINOZA et al., 2012).

Para Vinnerås (2007), na comparação da eficiência da sanitização da matéria fecal, entre a compostagem, o armazenamento e a sanitização com ureia (transformada em amônia), esta última apresentou os melhores resultados, aumentando também o potencial agrícola para o reúso. A combinação de diversos fatores (elevação de pH, desidratação e sanitização com amônia) apresentam resultados promissores (MAGRI et al., 2013 e AUSTIN et al., 2008).

A avaliação da eficiência destes processos de tratamento em escala real é possível a partir da escolha de microorganismos chamados de indicadores e modelos, os quais devem ter características similares e uma resistência igual ou superior aos potenciais organismos patogênicos. Se os organismos mais resistentes à inativação (indicadores e modelos) são eliminados, os menos resistentes e similares também podem ser considerados inativados (ESREY et al., 1998).

A partir destes são elaboradas previsões sobre o desempenho de microorganismos patogênicos frente ao fator de inativação estudado. A principal diferença entre os indicadores e os modelos é que os primeiros são sempre endógenos, sendo excretados no material de estudo (MAGRI, 2013).

A Resolução CONAMA 375/2006 orienta o reúso de lodo de esgoto na agricultura e pode ser adaptada para ser utilizada também como diretriz para o reúso de fezes tratadas provenientes de banheiros secos. No anexo II, ítem 5, que trata da determinação de indicadores microbiológicos e patógenos, estão listados os seguintes microorganismos indicadores: Coliformes termotolerantes, *Salmonella sp.*, ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos (preferencialmente os adenovírus e vírus do gênero Enterovirus).

Além destes, os gêneros *Enterococcus* da família Enterobacteriaceae são utilizados na maior parte dos estudos de bactérias patogênicas fecais. A bactéria patogênica *Salmonella sp.*, citada na Resolução CONAMA 375/2006, apresenta resistência à determinados fatores ambientais e também tem sido muito utilizada como indicadora e modelo em pesquisas (OTTONSON et al., 2008 e PARK et al., 2003).

A adição de 1% de ureia nas fezes em temperaturas variando de 14 °C a 34 °C é suficiente para produzir um fertilizante seguro em 2

meses de tratamento, com relação a *Salmonella sp.*, a qual provavelmente garante a inativação de outras bactérias entéricas (NORDIN, 2009).

Os ovos de helmintos também são muito utilizados para o monitoramento da qualidade do tratamento de fezes. Isso ocorre devido ao fato de estes ovos terem uma estrutura de membranas extremamente impermeável, agregando grande resistência. Utiliza-se amplamente os ovos de *Ascaris suum* como modelo para os ovos de *Ascaris lumbricoides* (MAGRI, 2013 e ESPINOZA et al., 2012). Segundo a Resolução CONAMA 375/2006, a presença de ovos viáveis de *Ascaris* inviabiliza o reúso de lodos de esgoto na agricultura.

O tempo de sobrevivência dos ovos de *Ascaris* pode ser bastante longo. Os fatores ambientais são determinantes no aumento da taxa de inativação, sendo o ambiente seco, com forte incidência de raios solares e o aumento da temperatura favoráveis à inativação. Locais úmidos, frescos e sombreados podem manter ovos viáveis por anos (ESREY et al., 1998).

A inativação de 100% de *Ascaris suum* das fezes, com amônia, foi possível em experimento laboratorial em recipiente fechado com baixa umidade (27,5%), temperatura mínima de 28 °C , máxima 45 °C , pH de 8,3 e adicionando 1% de ureia ao material fecal (ESPINOZA et al., 2012). Quanto maior a temperatura, mais rapidamente a inativação ocorre. A ureia não apresentou limitações para se transformar em amônia, mesmo em condições de baixa umidade no ambiente. Essa evidência reforça o potencial de uso da ureia para sanitização das fezes em banheiros secos (ESPINOZA et al., 2012). Nordin e Vinnerås (2007) também obtiveram bons resultados em um experimento em escala laboratorial de inativação de ovos de *Ascaris suum* em clima tropical (24 e 34 °C), adicionando 100 mL de cinzas para cada 100 g de fezes com 1% e 2% de ureia. Também testou-se a ureia pura e o armazenamento sem aditivo. Na temperatura de 34 °C todos os tratamentos tiveram inativação de 100% dos ovos de *Ascaris*, exceto o simples armazenamento. A adição de cinzas com 1% de ureia e a adição de 2% de ureia pura tiveram o melhor resultado com 24 °C , obtendo a inativação total em 1 mês.

O uso de aditivos sobre as fezes, após cada uso, é a melhor forma de garantir o tratamento e a eliminação dos patógenos, através da secagem, elevação do pH e sanitização do material fecal com amônia. O tipo e a quantidade de aditivo utilizado tem um papel decisivo na eliminação de patógenos dos BSVS (AUSTIN e CLOETE, 2008). Além

disso, o aditivo tem outras funções importantes, como minimizar os odores e a atração de vetores, principalmente os insetos (AUSTIN, 2007).

Evidências indicam que a adição de calcário agrícola e/ou cinzas sobre as fezes ajuda a dessecar estas, elevando seu pH e resultando em decaimento dos patógenos após alguns meses (STENSTRÖM, 1999).

Segundo Magri (2013), a mistura de cinzas (CZ) com concha de ostra triturada (CO) e ureia (U), sendo 150% de CZ e CO com relação ao peso úmido das fezes e 1% de ureia (U), aditivo resumido na fórmula 150 % CZ:CO + U, foi o tratamento mais promissor da pesquisa. Foi identificado que a alta concentração de íons carbonato CO_3^{2-} é um importante fator na inativação dos ovos de *Ascaris*.

3.4.5.2 Tratamento da urina

A urina humana é fisiologicamente uma solução composta por água, sais minerais e nutrientes. Forma-se nos rins, os quais tem a função de realizar a eliminação de produtos finais do metabolismo orgânico (ureia, ácido úrico e creatina) e também de controlar a concentração de água e de outros constituintes (por ex. sódio, cloro, potássio, fosfatos, bicarbonatos) nos 30 fluidos corpóreos (GUYTON e HALL, 2006).

Além de água, sais minerais e nutrientes a urina também é composta por metais, principalmente cobre (Cu) e zinco (Zn), mas suas concentrações são consideradas muito baixas, representando uma vantagem para o reúso (VINNERÅS, 2002). As concentrações de metais são maiores nas fezes, variando também em função da dieta alimentar. Pode apresentar também microorganismos patógenos e micropoluentes, como os resíduos de fármacos e hormônios. A concentração de patógenos é maior nas fezes, mas a de micropoluentes maior na urina (MAGRI, 2013).

O risco da presença de micropoluentes no ambiente é considerado um sério problema ambiental, principalmente no meio aquático, mas suas conseqüências ainda são pouco conhecidas (FATTA-KASSINOS et al., 2011). A necessidade de remoção de micropoluentes da urina para seu reúso depende do tipo e da concentração encontrada (MAGRI, 2013). Diversas pesquisas apontam a separação da urina dos esgotos para aplicação no solo como sendo uma barreira a mais na liberação destes micropoluentes nos recursos hídricos, pois muitos destes acabam sendo degradados no solo por processos biológicos e físicos (ESCHER

et al., 2006; HAMMER e OTTERPOHL, 2006; WINKER et al., 2009).

Existem diversos processos para o tratamento da urina sendo pesquisados e testados em escala real. Segundo Magri (2013), as principais funções desses tratamentos são:

- Higienização e Estabilização;
- Recuperação de nutrientes;
- Redução de volume;
- Remoção de micropoluentes.

Dentre estas quatro possibilidades, a Higienização com Estabilização é a opção mais adequada para o BSVS, considerando a eficiência na remoção dos patógenos, a baixa necessidade tecnológica, o baixo custo e a opção do reúso. Para realizar a higienização da urina, utiliza-se o processo de tratamento da estocagem ou armazenamento. A urina estocada na temperatura de 20^o C por ao menos 6 meses, pode ser considerada segura para o uso em qualquer cultura agrícola (HOGLUND, 2002b e OTTERPOHL, 2000).

Ao ser coletada com os objetivos de tratamento e reúso como fertilizante, a urina deve ser armazenada em um recipiente fechado com ventilação limitada, de forma que se previna os odores e a perda de nitrogênio para a atmosfera (ESREY et al., 1998). O sistema de armazenamento da urina favorece o processo de hidrólise da ureia, resultando na conversão do nitrogênio da forma orgânica para inorgânica. A tabela 1 resume as principais características da higienização, por meio do processo de estocagem ou armazenamento.

Quadro 1 Resumo das características da higienização da urina por estocagem ou armazenamento.

Função	Processo: principais características	Vantagens e desvantagens	Referências
HIGIENIZAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO	ESTOCAGEM OU ARMAZENAMENTO	VANTAGENS	HÖGLUND, 2001
	Promove a higienização em função das transformações bioquímicas que ocorrem na urina;	Baixa necessidade de tecnologia, equipamentos;	
	Os 3 fatores que interferem no processo: tempo, temperatura e pH;	Baixo custo.	UDERT et al., 2003-a
	A ureia, mediada pela enzima urease, é transformada em amônia ionizada e íons bicarbonato;	DESVANTAGENS	
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + 3\text{HCO} + \text{OH}^-$	Recomenda-se longo período de estocagem para completa sanitização, de 6 a 12 meses;	MAURER et al., 2006
	Com a elevação do pH o equilíbrio químico desloca-se no sentido NH_3 , que possui ação tóxica para os microorganismos;		
	O valor de pKa para o equilíbrio é 9,25 a 25° C	Forte odor de amônia para realizar o reúso, após o período de estocagem;	UDERT et al., 2006
	$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}$	Risco da perda de amônia para atmosfera.	HELLSTROM et al., 1999
Pode ocorrer a precipitação de fósforo, cálcio e magnésio durante a estocagem, em função da elevação do pH.			

Fonte: Adaptado de MAGRI, 2013.

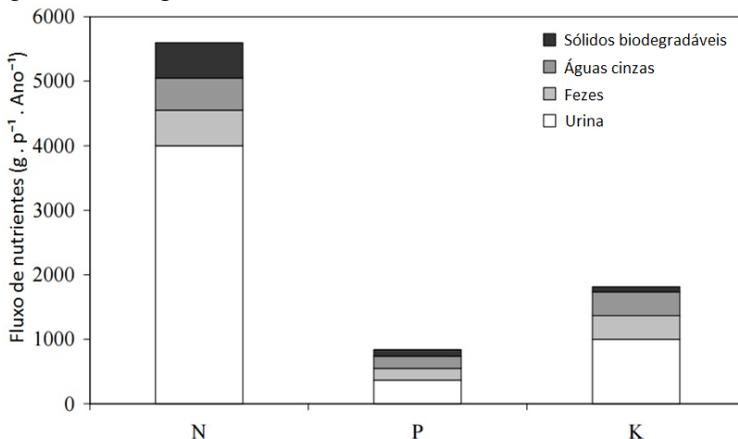
3.4.6 Reúso das excretas tratadas

A distância do transporte de urina e fezes tratados no banheiro seco, desde o local de sua "geração" no vaso sanitário segregador até o local de reúso, deve ser a menor possível para facilitar a logística, evitar a emissão de gases do efeito estufa na atmosfera e também para manter um baixo consumo energético, princípios do saneamento focado em recursos.

Um estudo comparativo de Análise de Ciclo de Vida (ACV), entre um sistema EcoSan e um convencional, para um prédio comercial com 40 pessoas em Luxemburgo na Europa, definiu que a distância percorrida para o reúso das excretas deveria ficar entre 0 a 40 km (utilizando combustíveis fósseis), para não degradar os recursos e impactar a saúde pública e as mudanças climáticas, tanto quanto em um cenário com o sistema convencional (BENETTO et al., 2009).

O potencial de reúso das excretas tratadas na agricultura é evidenciado pela grande quantidade de nutrientes presentes na urina e nas fezes e amparado pelas possibilidades de tratamento apresentadas. A figura 26 ilustra os principais macronutrientes presentes nas fezes e urina. Entretanto, esses valores podem variar conforme a dieta alimentar da população pesquisada.

Figura 26 Conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas frações de sólidos biodegradáveis e esgotos produzidos em residências (separados em águas cinzas, fezes e urina) na Suécia.



Fonte: Adaptado de VINNERAS (2002).

Segundo Magri (2013), a urina tratada por armazenamento (período de 24 meses) e as fezes tratadas por secagem (com estocagem de 12 meses), apresentam potencial de reúso como fertilizante orgânico, segundo comparação com a IN 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Os teores dos principais macronutrientes e carbono orgânico encontrados nas excretas tratadas foram: Urina - 2,5% C; 6,8/0,5/1,8/0,5% NPKS; e Fezes - 7,4% C; 0,8/2,3/1,6/0,5% NPKS. Nestes, apenas o percentual de carbono orgânico ficou abaixo do recomendado, sendo de 15 % na mesma IN, mas podendo ser complementado pela adição de outro adubo complementar.

Devido a variedade de macronutrientes primários e secundários, conforme esta mesma IN, as excretas classificam-se como fertilizantes compostos da Classe D, que são produtos de despejos sanitários, sólidos e líquidos.

Após o tratamento, destaca-se nas fezes os altos teores de fósforo, matéria orgânica, cálcio e a capacidade de trocar cátions. A urina, apresenta alto teor de nitrogênio. A presença de metais nas excretas não caracteriza um fator limitante para o reúso, sendo as concentrações encontradas consideradas baixas, pois estão em conformidade com as resoluções pertinentes (CONAMA 375/2006, US EPA 530 e ADAS UK 1263/1989). Com relação aos patógenos, também estão em conformidade com as mesmas legislações citadas para os metais.

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada com a condução de dois experimentos principais. O primeiro trata-se de um diagnóstico, realizado por meio da aplicação de questionários, elaborados para levantar a percepção ambiental, experiências, os riscos sanitários e boas práticas de usuários e operadores de banheiros secos no Brasil.

O segundo experimento consistiu no monitoramento de um processo de tratamento das fezes, provenientes do BSVS implantado em situação real no Instituto Çarakura, incluindo uma série de análises físico-químicas e microbiológicas. Para o tratamento foi utilizada uma mistura de materiais em pó (aditivo), colocada manualmente sobre as fezes após cada uso (cada defecação). A composição do aditivo foi de calcário agrícola, cinzas e ureia (1:1:0,02), respectivamente.

Com base nos resultados do diagnóstico dos 14 banheiros secos e das análises físico-químicas e microbiológicas do tratamento das fezes, foi feita a avaliação do BSVS implantado.

4.1 DIAGNÓSTICO

O diagnóstico dos banheiros secos em uso no Brasil foi realizado por meio de pesquisa do tipo quantitativo-descritivo. Consistiu em pesquisa com a finalidade de analisar as características e procedimentos adotados pelos usuários de banheiros secos, utilizando-se como ferramenta o questionário (MARCONI et al., 2003).

O primeiro passo para o levantamento das informações foi a elaboração do questionário, sendo definidos os 8 temas principais a serem abordados: Localização, construção, operação, tratamentos, motivação, dificuldades, exigências legais e controle ambiental do composto gerado.

A partir destes temas principais, foram elaborados sub-ítems com perguntas fechadas do tipo múltipla escolha. Com a primeira versão do questionário pronta foi realizada uma simulação de aplicação. Esta etapa foi fundamental para aperfeiçoar tanto o conteúdo das perguntas quanto a ordem destas. Após a simulação, foi feita uma revisão geral e ao final foram acrescentadas duas perguntas abertas, possibilitando aos usuários a manifestação de destaques e considerações finais não contempladas nas perguntas fechadas. Finalmente, foi realizada ampla pesquisa na internet e com pesquisadores da área, buscando potenciais usuários de banheiros secos para responderem ao questionário. Foi então encaminhada a versão final do questionário (APÊNDICE 4) ao público-alvo da pesquisa, via correio eletrônico.

Foram encaminhados 50 emails para usuários de banheiros secos e pesquisadores da área de saneamento ecológico no Brasil. O número de questionários preenchidos e encaminhados totalizaram 14 usuários. Este número de respostas foi satisfatório, pois com o envio de questionários de pesquisa a porcentagem esperada de respostas é de 25 % do total de enviados (MARCONI et al., 2003). Neste caso, 25 % equivale a 12,5 respostas das 50 tentativas, sendo 14 correspondente a 28 %. Outro fator é o perfil de alguns dos usuários de banheiros secos do meio rural, tendo um estilo de vida rural com pouco acesso à internet e falta de prática/motivação para preencher um questionário no computador.

A partir das respostas recebidas os dados foram compilados em planilha excel e analisadas conforme os temas de interesse da pesquisa.

4.2 EXPERIMENTO DO TRATAMENTO DE FEZES HUMANAS

O experimento iniciou-se com adequações no banheiro seco utilizado na pesquisa, incluindo a padronização do aditivo utilizado (cinzas, calcário e ureia) e das bombonas utilizadas para recolher as fezes, com capacidade para 50 Litros.

Foram realizadas vistorias semanais, acompanhando o enchimento das bombonas (recipientes de armazenamento das fezes) até que estivessem cheias o suficiente (80 a 90 %) para serem fechadas e levadas ao laboratório de microbiologia sanitária do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

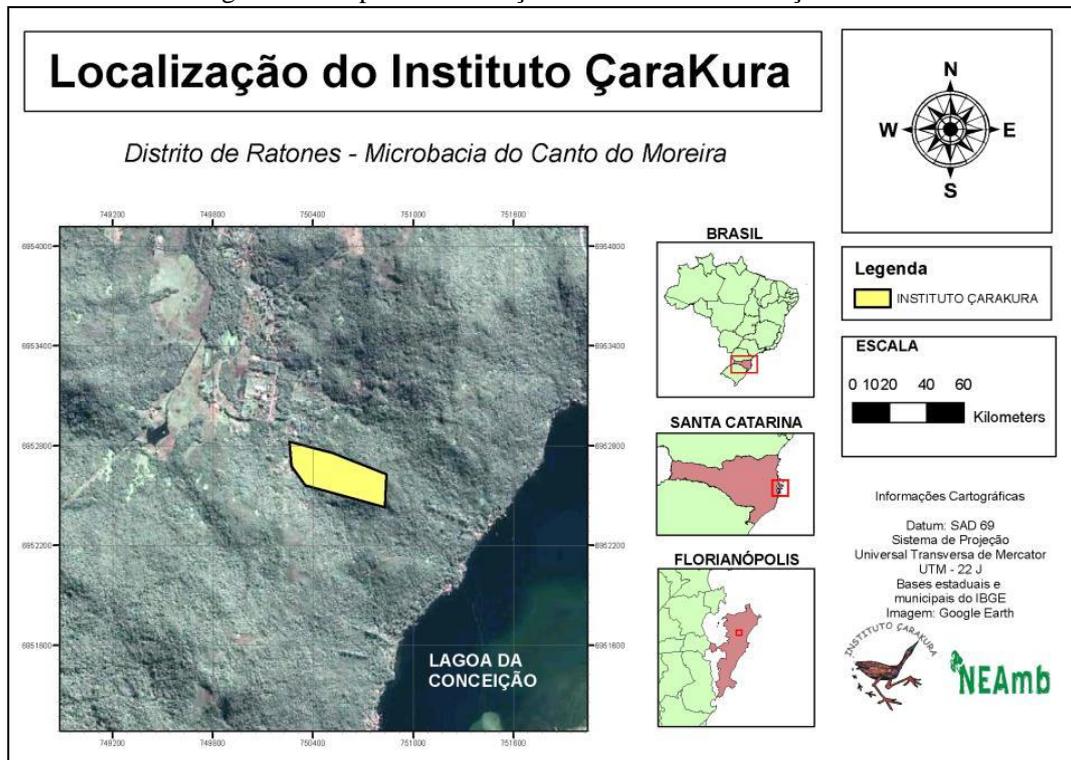
Foi utilizada uma combinação de processos para o tratamento das fezes. O primeiro é a secagem ou desidratação, separando a urina das fezes e utilizando-se aditivos sobre estas, após cada uso (cada defecação). O segundo é a elevação do pH, obtida também com a utilização de aditivos alcalinos, neste caso o calcário agrícola e as cinzas, materiais com uma característica química básica, normalmente utilizados para corrigir acidez do solo. Um terceiro processo é a sanitização com amônia, pois ao incluir pequena quantidade de ureia no aditivo (1 %), esta reage com a água, proveniente da umidade natural das fezes, formando a amônia ionizada em ambiente básico, sendo tóxica para os microorganismos.

Estes tratamentos propostos seguem as recomendações de diversas pesquisas recentes sobre o tratamento de lodo fecal e fezes em banheiros secos (STENSTROM, 1999; PEASEY, 2000; VINNERÅS, 2002; AUSTIN, 2007; HEEB et al., 2007; VINNERÅS, 2007; NORDIN et al., 2009; ESPINOZA et al., 2012; MAGRI, 2013; MAGRI et al., 2013; SOUZA, 2013; DECREY et al., 2015; FIDJELAND, 2015; MAGRI et al., 2015).

4.2.1 Localização do experimento

O BSVS avaliado na pesquisa fica localizado no município de Florianópolis, Santa Catarina, latitude 27° 35' ao sul e 35 m de altitude. Região de clima subtropical com estações bem definidas ao longo do ano. A região (bairro de Ratoles) tem características predominantemente rurais, com a presença de nascentes e afluentes da bacia hidrográfica do rio Ratoles, mais especificamente na microbacia do Canto do Moreira (figura 27).

Figura 27. Mapa de localização da sede do Instituto Çarakura.



Região com relevo montanhoso e morros preservados, com remanescentes de vegetação da Mata Atlântica (floresta ombrófila densa em estágio secundário avançado). A área da propriedade está em processo de recuperação há 35 anos, com mais de 90 % da área preservada com floresta em estágio avançado de regeneração. Na maior parte do ano a umidade do ambiente é elevada.

A propriedade rural tem 15 hectares, sede do Instituto Çarakura (IÇARA), uma Organização Não Governamental (ONG) qualificada pelo Ministério da Justiça como Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP). Recebe em média 2000 pessoas por ano, entre pesquisadores, voluntários, intercambistas, universitários e alunos de escolas públicas e particulares. O IÇARA desenvolve pesquisas em parceria com a UFSC na linha do saneamento ecológico desde 2010, focadas em banheiros secos e wetlands construídos (MARQUES, 2010; SFREDO, 2013; MAGRI, 2013).

4.2.2 Caracterização do BSVS utilizado no experimento

O Banheiro Seco com Vaso Segregador (BSVS) utilizado para o experimento (esquemas apresentados nas figuras 28 a 35) já existia anteriormente à pesquisa.

O BSVS foi construído com madeira de reflorestamento de *Pinus elliotti* e janelas de vidro que garantem uma iluminação natural. Aproveitou-se o desnível natural do terreno, evitando escavações ou a elevação com escadas.

Figura 28 Vaso sanitário segregador utilizado no experimento em escala real.



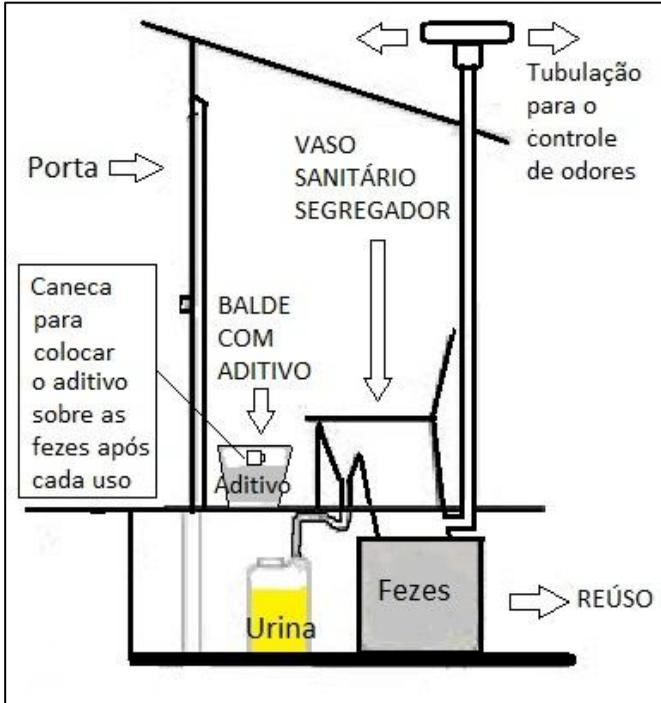
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 29 Vaso sanitário segregador, similar ao utilizado no experimento.



Fonte: Adaptado de UNEP.

Figura 30 Crôqui do Banheiro Seco com Vaso Segregador utilizado para o experimento do tratamento das fezes em escala real.



Fonte: Adaptado de UNEP.

Figura 31. Área interna do BSVS com vaso sanitário segregador ao centro.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 32. BSVS – Visão externa frontal, com porta de entrada marrom e detalhe da parte de cima da tubulação de controle de odores em cima do telhado.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 33. BSVS Visão externa nos fundos. Bombona para fezes de 50 litros em branco (esq.) e reservatório de urina 20 litros em azul (dir.), 3 pilares de bambu com cimento e tubulação para odores em preto à direita. Desnível do terreno, evitando escavações.



Fonte: Arquivo pessoal.

Os pilares foram construídos com técnica alternativa, chamada de bioconstrução, utilizando bambu colhido na propriedade, com cimento no interior dos gomos. A urina é coletada em um reservatório azul de 20 litros e as fezes em um compartimento de coleta e armazenamento, chamado de bombona, com 50 litros de capacidade (figura 33). A cada uso (defecação) as fezes foram cobertas manualmente com o aditivo, utilizando-se uma caneca de 450 mL, colocada em um balde de 10 litros ao lado do assento do vaso sanitário segregador (figuras 34 e 35).

Figura 34. Balde (10 litros) com caneca (450 mL) e aditivo pronto para uso ao lado do assento do vaso sanitário segregador.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 35. Área interna do BSVS. Balde de 10 litros (verde) com aditivo e caneca. Assento com tampa fechada. Álcool gel para higienizar as mãos antes e/ou após o uso.



Fonte: Arquivo pessoal.

Antes de iniciar a pesquisa, foram padronizados os compartimentos de acúmulo das fezes (bombonas) com capacidade para 50 litros. Na coluna de ventilação de PVC (100 mm) foi colocado um joelho de mesmo diâmetro virado para baixo para eliminar a possibilidade de entrada de água, mesmo em dias de chuvas intensas (figura 36). Além disso, foi colocada uma tela (figura 37) para evitar a entrada de insetos (vetores mecânicos).

Figura 36. Joelho de 100 mm protegendo a tubulação de controle de odores da chuva.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 37. Tela de proteção para evitar a entrada de insetos.



Fonte: Arquivo pessoal.

Para o uso correto do BSVS por parte dos usuários, foi realizada uma capacitação dos moradores da propriedade e providenciada uma sinalização na forma de cartazes informativos com orientações auto-explicativas, pois existe grande fluxo de visitantes no local. O primeiro cartaz traz informações sobre a pesquisa (APÊNDICE 1), já o segundo apresenta 4 passos para utilizar o banheiro de forma correta (APÊNDICE 2). Além dos dois cartazes, foi colocada uma prancheta na qual o usuário registra o uso, controlando assim o número de usuários de cada bombona recolhida (APÊNDICE 3).

4.2.3 Preparação do aditivo: Calcário Agrícola (CA), Cinzas (CZ) e Ureia (U)

A preparação do aditivo utilizado foi realizada com o objetivo de testar uma nova mistura, considerando misturas similares de eficiência comprovada. Segundo Magri (2013), a mistura de Cinzas (CZ) e Concha de Ostra moída (CO) com ureia (U) é promissora para o tratamento das fezes, na proporção de 150% da massa úmida das fezes e CZ:CO:U de 1:1:0,02. O calcário agrícola, assim como a concha de ostra, apresenta natureza básica e presença de carbonatos.

Ainda segundo a pesquisadora, a massa de fezes defecada por pessoa, a partir de uma amostra de 74 pessoas (42 mulheres e 31 homens) é em média 136 g para os homens e para as mulheres 121 g. A média produzida por defecação foi de 128 ± 67 gramas, com extremos ultrapassando 300 gramas (MAGRI, 2013).

Para dimensionar a quantidade de aditivo por defecação, foi considerada uma média de 200 g de massa úmida de fezes por pessoa, adotando como princípio uma margem de segurança. Apesar de alguns usuários defecarem mais de 200 gramas, a maior parte provavelmente irá defecar menos.

Os materiais definidos que constituem o aditivo utilizado neste experimento apresentam facilidade de aquisição no mercado e baixo custo. Segue uma descrição de suas características.

Calcário agrícola

O calcário agrícola utilizado no experimento foi obtido em loja de comércio agrícola, pronto para o uso em embalagens de 50 kg. É do tipo calcário dolomítico, extraído de rochas calcárias. Sua composição químico-física segue no quadro 2.

Quadro 2 Características físico-químicas do calcário agrícola

CALCÁRIO DOLOMÍTICO (AGRÍCOLA) Corretivo de acidez do solo	
CaO Óxido de Cálcio	28,5 %
MgO Óxido de Magnésio	20,0 %
Soma dos óxidos	48,5 %
Poder de neutralização PN	100,0 %
Peneira 2,00 mm	100,0 %
Peneira 0,84 mm	94,0 %
Peneira 0,30 mm	53,0 %
Umidade máxima	2,0 %
Natureza física	Pó
Matéria prima	Rocha calcária

Fonte: Adaptado de Mineração Rio do Ouro LTDA - Calcário Botuverá

Cinzas

De acordo com o Boletim Energético Nacional de 2014 do Ministério de Minas e Energia, a lenha representa 24 % da energia consumida em residências. Com relação ao consumo de energia por fonte, a lenha responde por 6,2 % da energia consumida no Brasil. Outras fontes comuns de cinzas são as caldeiras de aquecimento e usinas termelétricas, entre outras fontes de uso doméstico em menores quantidades.

As cinzas vegetais contêm cálcio, magnésio, fósforo e outros elementos que podem ter influência no crescimento das plantas. Alguns desses elementos são micronutrientes essenciais para o desenvolvimento dos vegetais como Cu, Zn, Mg e Fe (DAROLT et al., 1991). Teores de CaO variam entre 20 a 25%, já para o MgO em torno de 10% (OSAKI & DAROLT, 1991).

Ureia

Composto orgânico, apresenta aparência de micro pérolas brancas, sendo estável em condições normais (ambientais) e solúvel em água. Sua fórmula molecular é $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, obtido através da síntese de amônia e gás carbônico.

Aditivo: Calcário agrícola, Cinzas e Ureia (1:1:0,02)

Desta forma, a fórmula do aditivo (mistura de materiais) definida para o experimento foi de 150 % CA:CZ:U (1:1:0.02), sendo 300

gramas por dosagem em massa ou 420 mL em volume (1 caneca). Foi utilizada uma caneca com volume de 450 mL, sendo deixada uma margem de 30 mL, pois dificilmente o usuário enche completamente a caneca. O papel higiênico utilizado também foi colocado na bombona, juntamente com as fezes e o aditivo, conforme explicitado no cartaz (APÊNDICE 2).

Para a preparação do aditivo contendo calcário agrícola, cinzas e ureia, esses materiais foram levados até o IÇARA, sendo pesados 5 kg de calcário agrícola, 5 kg de cinzas e 100 g de ureia, na preparação de 10,1 kg de aditivo, sendo suficiente para cerca de 33 usos, durando de 7 a 15 dias, conforme a intensidade de usos no período. A mistura foi totalmente homogeneizada para então ser condicionada em um balde de 10 litros, dentro do BSVS para o uso em escala real. Como já citado, ao longo do experimento percebeu-se que o balde de aditivo era pequeno para suprir a demanda de aditivo, sendo substituído por um com 20 litros.

4.2.4 Procedimentos de amostragem

Ao completar as bombonas com cerca de 80% a 90 % de sua capacidade, estas eram hermeticamente fechadas e colocadas em um "carrinho de mão" para serem encaminhadas até um automóvel, percorrendo 20 km até o laboratório de microbiologia sanitária do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. No lugar da bombona removida foi sempre colocada uma bombona vazia para substituir a bombona cheia.

Foram coletadas diversas amostras das bombonas do BSVS para avaliação do processo de tratamento e sanitização das fezes. Foi realizado o monitoramento de três bombonas em sequência, para que a avaliação pudesse ser realizada com dados em triplicata. O tempo total do experimento foi em torno de 1 ano. Enquanto as bombonas estavam sendo preenchidas foi realizada, em cada bombona, uma coleta e análise em campo. Os contentores foram mantidos então no laboratório durante todo o período restante de tratamento e sanitização das fezes, o que ocorre mais ativamente após cessado o recebimento de fezes frescas.

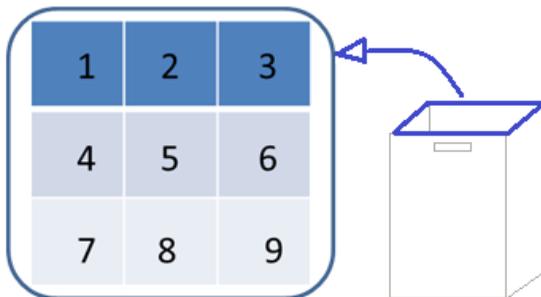
As coletas de material fecal das bombonas no laboratório foram realizadas aproximadamente a cada 15 dias durante os primeiros 100 dias, ou até alcançada a redução dos microorganismos avaliados até o limite de detecção dos respectivos métodos utilizados.

Para as coletas foi utilizado um trado de PVC esterilizado com 50 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento. Este era inserido de forma a

coletar um perfil vertical de amostra do contentor, contendo fezes, aditivos e papel higiênico.

A bombona foi dividida virtualmente em porções (área superficial horizontal), as quais foram numeradas de 1 a 9 (figura 38). Desta forma, sempre a cada coleta eram sorteados 3 números, e respectivamente 3 porções, onde era inserido o trado de PVC para realização das amostragens.

Figura 38. Bombona vista em planta com áreas (1 a 9) a serem sorteadas para coleta com trado.



O material coletado das três porções era acondicionado em um saco plástico resistente e estéril, no qual a amostra era homogeneizada manualmente. As análises eram sempre realizadas imediatamente após as coletas.

4.2.5 Análises

Para avaliar as características e a estabilização do material fecal foram realizadas as análises de Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Totais Fixos, Potencial Hidrogeniônico, Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal Total, e Nitrogênio Oxidado (Nitritos e Nitratos). Estes parâmetros foram medidos seguindo rigorosamente as metodologias do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), e Instrução Normativa 25/2009 do Ministério da Agricultura (MAPA, 2009).

Para realização das análises físico químicas foram utilizados o Laboratório Integrado de Meio Ambiente do Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC (LIMA), e o Laboratório de Análises de Solos Corretivos e Fertilizantes Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – Universidade do Extremo Sul Catarinense UNESC (para

as análises de Carbono Orgânico e Nitrogênio Oxidado).

A eficiência na sanitização do material foi avaliada pela presença e quantificação de microorganismos indicadores e patogênicos:

Salmonella;

Coliformes totais (CT);

Escherichia coli;

Enterococcus faecalis;

Colifagos somáticos (CS);

Adenovírus humano tipo 2 (HAdV);

Bacteriófagos RNA macho-específicos (ME).

Os procedimentos para detecção da *Salmonella sp.* foram realizados seguindo o método 1682 da Environmental Protection Agency (EPA) para detecção de *Salmonella* em lodo de esgoto e biosólidos (EPA, 2006). Coliformes totais, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* foram quantificados utilizando a metodologia do Número Mais Provável IDEXX®. Para a enumeração dos colifagos somáticos e dos bacteriófagos macho específicos foram usadas as metodologias ISOS 10705-2:2000 e 10705-1:1995, respectivamente. Os Adenovírus foram analisados pelo método de cultura celular em células A549, integrada com PCR (*polimerase chain reaction*) quantitativo em tempo real.

Para a realização destas análises foram utilizados o Laboratório de microbiologia sanitária, no Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS), e o Laboratório de Virologia Aplicada (para análise dos adenovírus humanos), no Depto. de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP), ambos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Ao final do período de monitoramento de uma das bombonas foi coletado 1 kg de material fecal e foi realizada a caracterização do potencial agrônômico. Esta caracterização foi realizada no mesmo laboratório citado da UNESC em Criciúma/SC.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão organizados seguindo a mesma estrutura da metodologia: iniciando-se com o diagnóstico, seguido pelo experimento do tratamento de fezes humanas do BSVS implantado.

5.1 DIAGNÓSTICO

O diagnóstico foi realizado com os 14 banheiros secos que colaboraram com a pesquisa, respondendo ao questionário e encaminhando este por email. São banheiros que estão em operação no Brasil, descrevendo a localização, aspectos da construção, operação, tratamentos, reúso, motivações, dificuldades e exigência legal.

5.1.1 Localização

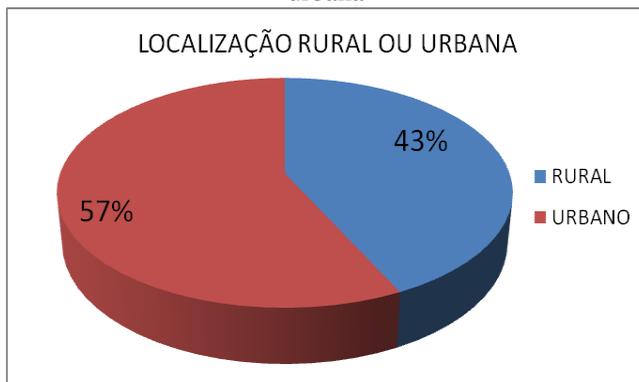
Dos 14 banheiros que responderem ao questionário, 10 estão em Santa Catarina, 2 em Minas Gerais, 1 no Rio Grande do Sul e 1 no Acre (figura 39).

Figura 39 Localização dos banheiros diagnosticados em 4 estados brasileiros: SC, MG, RS e AC.



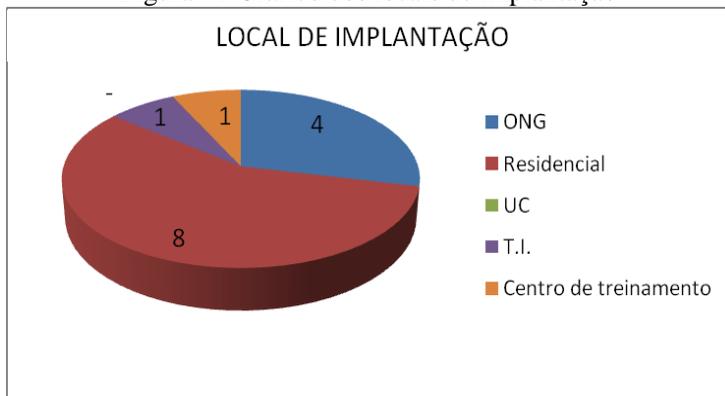
Com relação ao ambiente rural ou urbano, 57 % dos banheiros estão localizados em áreas urbanas e apenas 43 % em áreas rurais (figura 40). Este dado apresenta o potencial do banheiro seco também em áreas urbanas. Em geral, são casas com área externa (quintal) ampla o suficiente para realizar o manejo e o reúso no próprio local.

Figura 40 Gráfico com a porcentagem de banheiros em área rural ou urbana



O local de implantação mais comum é o residencial, onde a família utiliza e faz toda a operação e manutenção do banheiro seco, foram 8 banheiros dos 14. Em segundo aparecem as ONGs, sendo 4 banheiros implantados nestas organizações. As outras localidades foram um banheiro em um Centro de Treinamento de órgão de extensão rural e um em Território Indígena (figura 41). Não foi encontrado nenhum banheiro seco em unidades de conservação no Brasil.

Figura 41 Gráfico dos locais de implantação



5.1.2 Aspectos da Construção

O tipo de banheiro mais comum é o banheiro seco compostável, representando 12 dos 14 banheiros. Destes que utilizam a compostagem, 7 não utilizam a segregação de fezes e urina, mas 5 contam com a segregação. Apenas 2 são do tipo BSVS, tratando as fezes por meio da secagem, elevação do pH e amônia, com segregação de fezes e urina (figuras 42 a 45), os quais são os banheiros estudados neste e outros trabalhos (MAGRI, 2013; MAGRI et al., 2015) desenvolvidos no Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental da UFSC.

Figura 42 Gráfico dos tipos de banheiros secos.

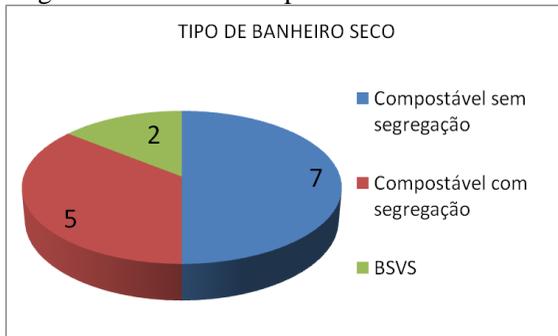


Figura 43
Compostável sem
segregação



Figura 44
Compostável com
segregação



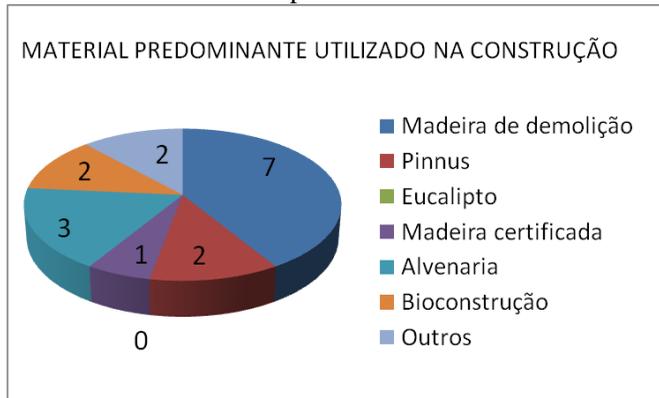
Figura 45
BSVS com Secagem



O material predominante utilizado na estrutura geral do banheiro é a madeira de demolição, sendo reutilizada por metade dos banheiros (7). Em segundo lugar a alvenaria é o material de 3 banheiros secos. Os demais são 2 feitos com bioconstrução (técnica alternativa que utiliza recursos locais como barro, madeira, pedras, garrafas de vidro, entre outros), 2 com madeira de reflorestamento, 1 com madeira

certificada e 1 "balde móvel" (figura 46).

Figura 46 Gráfico dos materiais predominantes utilizados na construção.



Seguem algumas vantagens e desvantagens sobre os materiais identificados pelos questionários.

Madeira de demolição

Vantagens: Material de baixo impacto ambiental e baixo custo;

Desvantagens: Medidas variadas, difícil obtenção de quantidade suficiente para todo o banheiro.

Madeira de reflorestamento (*pinus eliots sp.* e eucalipto)

Vantagens: Baixo custo, sob medida e grande oferta no mercado. Ambas espécies se adaptaram muito bem ao clima e solo no Brasil. Por serem exóticas invasoras, podem ser suprimidas nos ecossistemas nativos, principalmente em UCs. Pinus costuma ter um custo mais baixo.

Desvantagens: Pode ou não ser cultivada com alto impacto ambiental. O eucalipto costuma ter uma madeira mais resistente que o pinus, porém um custo maior.

Madeira certificada

Vantagens: Baixo impacto ambiental e sob medida;

Desvantagens: Alto custo.

Bioconstrução

Vantagens: Baixo impacto ambiental e sob medida;

Desvantagens: Alto custo.

Alvenaria

Vantagens: Sob medida, grande oferta no mercado;

Desvantagens: Alto custo da mão de obra para construir e alto impacto ambiental com a produção das matérias primas.

O custo dos banheiros variou entre R\$ 80,00 (valor mínimo) e R\$ 2.300,00. Apenas o banheiro seco construído especificamente para pesquisa, com laboratório e madeira certificada superou esse valor, custando em torno de R\$ 10.000,00. Metade dos banheiros custa entre R\$ 1.000,00 e R\$ 2.500,00. Seis banheiros custaram menos de R\$ 1.000,00 (figura 47).

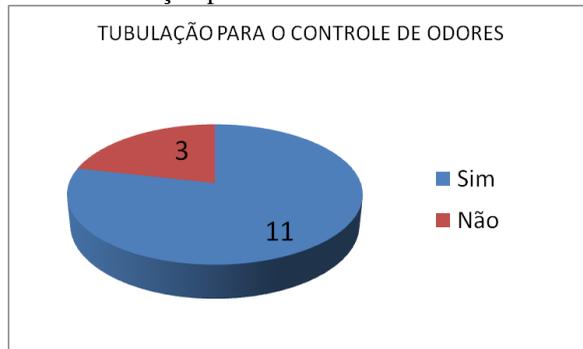
Como a maior parte dos banheiros foi construído pelos próprios usuários, o valor da mão de obra foi estimado e somado ao custo com materiais. Alguns consideraram a mão de obra gratuita, pois foram construídos no sistema de mutirão voluntário.

Figura 47 Gráfico com o levantamento dos custos para construção (materiais e mão de obra).



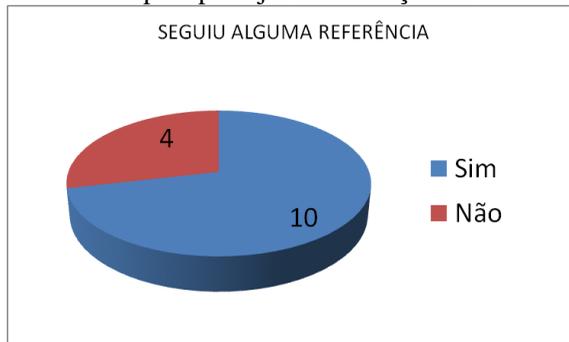
A tubulação para o controle de odores é um mecanismo fundamental para o conforto do usuário. Dos 14 banheiros, 11 contam com esse mecanismo e apenas 3 ainda não o utilizam (figura 48). Destaque para um mecanismo de controle de odores de um dos banheiros com pequeno exaustor colocado na tubulação de controle de odores, do tipo *cooler* usado em microcomputadores, ligado à rede elétrica com interruptor próprio. É um acessório para melhoria do controle de odores nos locais com acesso à energia elétrica. Como opção, placas solares ou baterias poderiam gerar a energia necessária em locais sem rede elétrica disponível.

Figura 48 Gráfico do número de banheiros secos que contam com tubulação para o controle de odores.



Para realizar a construção do banheiro, a maior parte (10 dos 14) utilizou alguma referência para orientar a obra, sendo a grande maioria de materiais disponíveis na internet, enquanto que 4 banheiros foram construídos com conselhos de conhecidos ou de forma empírica (figura 49).

Figura 49 Gráfico com o número de usuários que utilizou alguma referência técnica para planejar a construção do banheiro seco.



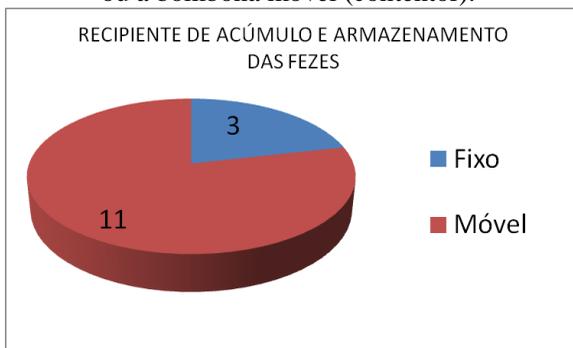
5.1.3 Aspectos da Operação

A operação dos banheiros secos pesquisados varia de acordo com o modelo (com vaso segregador ou não), o tratamento, o número de usuários e a rotina de cada usuário.

O recipiente de acúmulo das fezes pode ser fixo ou móvel. Quando fixo, exige que seja feita uma "raspagem" das fezes com o

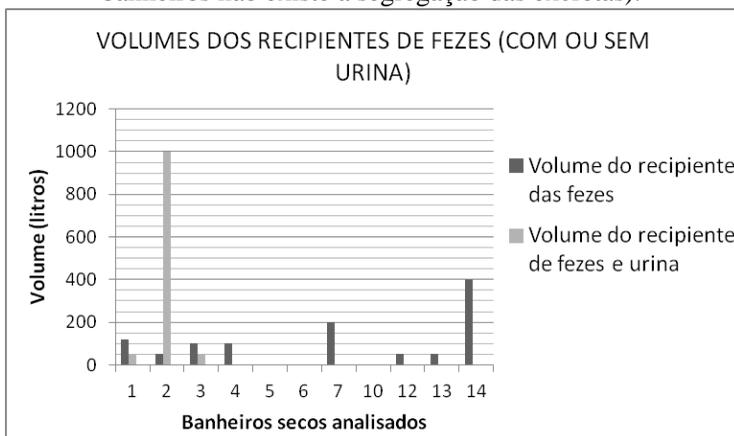
aditivo para que seja esvaziado. Os modelos móveis, são aqueles com bombonas (contentores ou recipientes) que são substituídas por uma vazia, à medida que fica cheia. São 11 banheiros com recipientes móveis e 3 deles utilizam câmaras fixas (figura 50).

Figura 50 Gráfico com o número de usuários que utilizam a câmara fixa ou a bombona móvel (contentor).



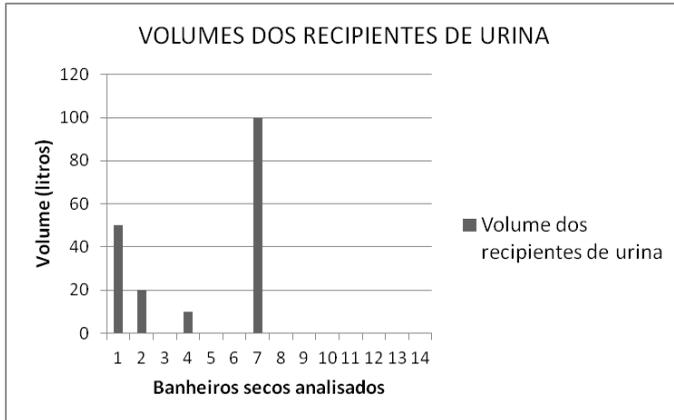
Os volumes destes recipientes (móveis e fixos) de acúmulo e armazenamento de fezes, dependendo do banheiro, podem acomodar a urina também. Os volumes variam de 50 a 1.000 litros. Nota-se que os dois maiores recipientes (400 e 1.000 litros) são do tipo câmara fixa (figura 51).

Figura 51 Gráfico com os volumes dos recipientes (fixos e móveis) utilizados para o acúmulo e armazenamento das fezes e urina (em 3 banheiros não existe a segregação das excretas).



Dos 14 banheiros, apenas 4 apresentam recipientes específicos para o armazenamento da urina. O volume destes recipientes variou de 10 a 100 litros (figura 52).

Figura 52 Gráfico com os volumes dos recipientes móveis de armazenamento da urina.



O número de usuários que utilizam o banheiro é uma informação chave para o dimensionamento dos recipientes, do número de trocas ou esvaziamento dos recipientes de fezes e urina e também para dimensionar a quantidade de aditivo necessária por dia, semana e por mês.

Observa-se que existem dois tipos bem definidos de usuários: os que fazem uso diário do banheiro (moradores) e os que fazem uso esporádico (visitantes e sítios/casas de final de semana).

Apenas 1 dos banheiros não tem usuários diários, sendo utilizado apenas aos finais de semana. Os demais 13 banheiros têm usuários diariamente, que variam entre 1 e 6 usuários diários (figura 53). Os esporádicos recebem no máximo 30 pessoas e no mínimo zero (não costumam receber usuários esporádicos) por mês, em média (figura 54).

Figura 53 Gráfico com o número de usuários que utilizam o banheiro seco diariamente. O banheiro nº 11 utiliza apenas aos finais de semana.

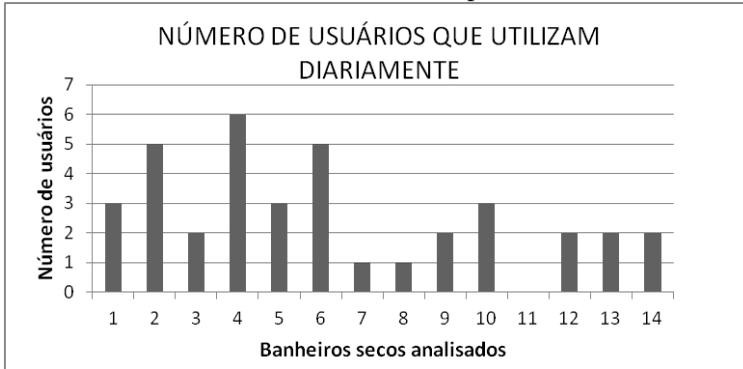
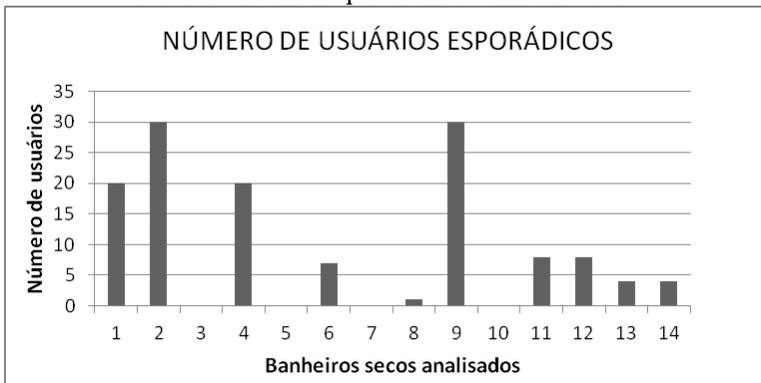
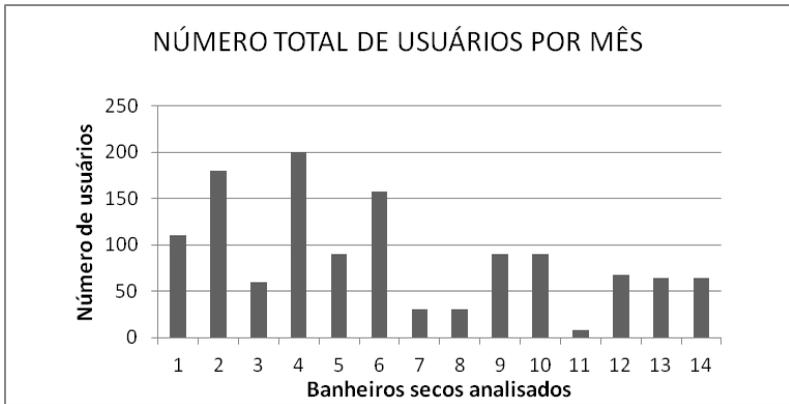


Figura 54 Gráfico com o número de usuários que utilizam o banheiro seco esporadicamente. Os banheiros nº 3, 5, 7 e 10 não costumam receber visitantes que usam o banheiro seco.



O total de usuários por mês deve ser utilizado para dimensionar o tamanho e o número de recipientes, quando móveis. Nos banheiros pesquisados o total (diário + esporádicos) máximo de usuários foi de 200/mês e o mínimo 8/mês (figura 55).

Figura 55 Gráfico com o número total (diário + esporádico) de usos por mês em cada banheiro.



O número de dias para a troca ou "raspagem" dos recipientes de fezes varia entre 10 dias no mínimo e 6 meses no máximo (figura 56). Esse tempo varia em função do tamanho do recipiente e do número de usuários. Pondera-se que um longo tempo para a troca pode implicar em grandes volumes com peso acentuado, aumentando a dificuldade de manuseio e transporte visando o reúso.

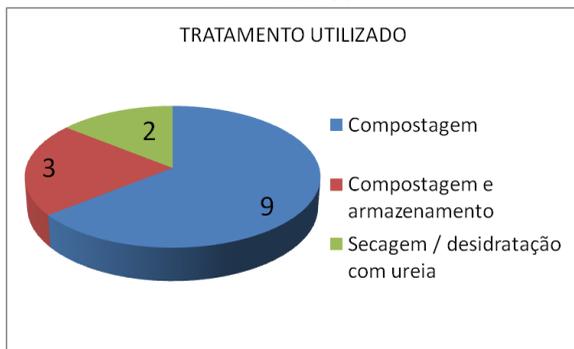
Figura 56 Gráfico com o número de dias para realizar a manutenção ou troca do recipiente de fezes (com ou sem urina)



5.1.4 Tratamento

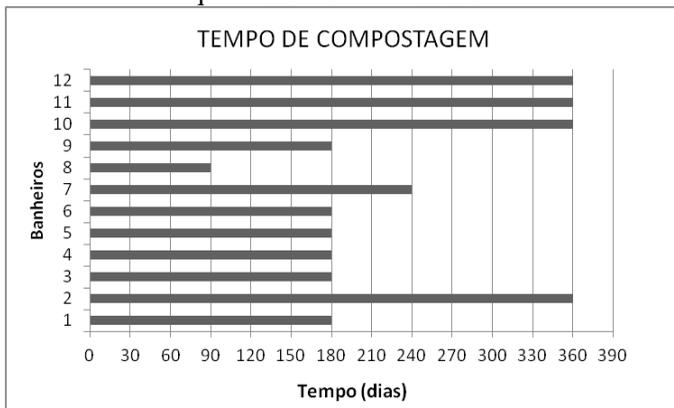
O tratamento mais utilizado é o da compostagem, sendo a opção escolhida por 12 banheiros secos. Destes 12 que compostam as fezes, 3 deles armazenam em local coberto e fechado após a compostagem. Os outros 2 banheiros fazem o tratamento da secagem ou desidratação com ureia (figura 57) (banheiros de pesquisa).

Figura 57 Gráfico com o número de banheiros que utiliza cada um dos tratamentos.



Dos 12 banheiros que utilizam o tratamento da compostagem, 1 realiza o processo de compostagem em 3 meses, 6 realizam o processo em 6 meses, 1 em 8 meses e 4 em 1 ano (figura 58).

Figura 58 Tempo do processo de compostagem em cada banheiro seco que utiliza este tratamento.

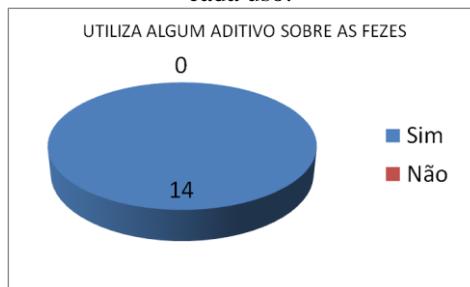


Estes tempos utilizados para a realização do processo de compostagem (figura 58) estão adequados para que o tratamento seja eficiente na inativação dos patógenos das excretas, mas apenas o tempo de compostagem não garante a inativação dos patógenos.

Para confirmar a eficiência do tratamento é necessário que a temperatura alta se mantenha ao longo do tempo e que a composição do material compostado seja adequado (VINNERAS, 2007), na proporção C/N = 30/1 e umidade da leira em torno de 50 %. Lembrando também que quanto maior a temperatura atingida, mais curto o tempo necessário para o tratamento (ALBIHN e VINNERAS, 2007). É necessário o período mínimo de 1 semana com a temperatura de 50 °C em toda a leira de compostagem de forma homogênea (OMS, 2006 e HEEB et al., 2007). Feachem et al. (1983), sugere o período de 2 semanas com a temperatura de 55 °C para eliminar todos os patógenos, também de forma homogênea em toda a leira. Para confirmar a eficiência do processo, seria necessário realizar o monitoramento da temperatura em toda a leira de compostagem ao longo do tempo ou avaliar a qualidade do composto gerado pelos banheiros secos com relação à presença de patogênicos ou de microorganismos indicadores.

A utilização de materiais (aditivos) sobre as fezes após cada uso já está bastante disseminada, sendo realizada por 100 % dos banheiros pesquisados (figura 59).

Figura 59 Número de banheiros que utilizam aditivos sobre as fezes após cada uso.

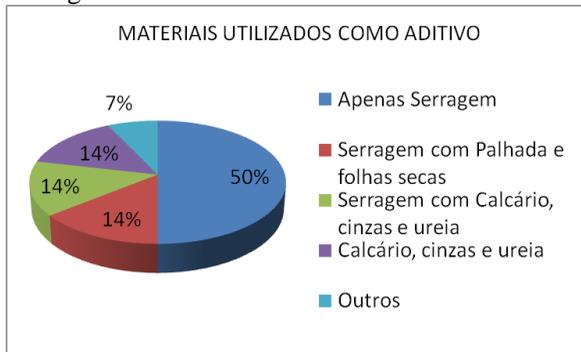


O material mais utilizado como aditivo é a serragem, utilizado por 50 % dos banheiros, seguido pela serragem com palhada e folhas secas, serragem com calcário, cinzas e ureia e calcário, cinzas e ureia, sendo este último no âmbito da pesquisa (figura 60).

O aditivo escolhido deve ser coerente com o tratamento

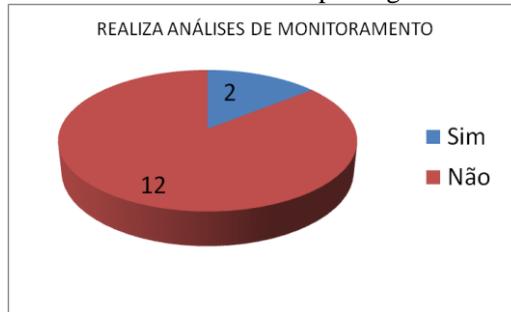
utilizado, não sendo recomendado o uso de cinzas, calcário e ureia nos banheiros compostáveis, pois estes aditivos podem dificultar o crescimento de microorganismos benéficos (bactérias termofílicas, por exemplo), que promovem a compostagem. Apenas após o processo de compostagem, na etapa de maturação, pode ser usado como um tratamento complementar.

Figura 60 Materiais utilizados como aditivo.



As análises de monitoramento são realizadas por apenas 2 banheiros secos, por estarem inseridos em pesquisa científica. Os outros 12 banheiros não realizam análises periódicas para o controle do composto gerado (figura 61). Um banheiro realizou apenas uma análise, mas os dados não estavam disponíveis.

Figura 61 Gráfico com o número de banheiros que realiza análises de monitoramento do composto gerado.



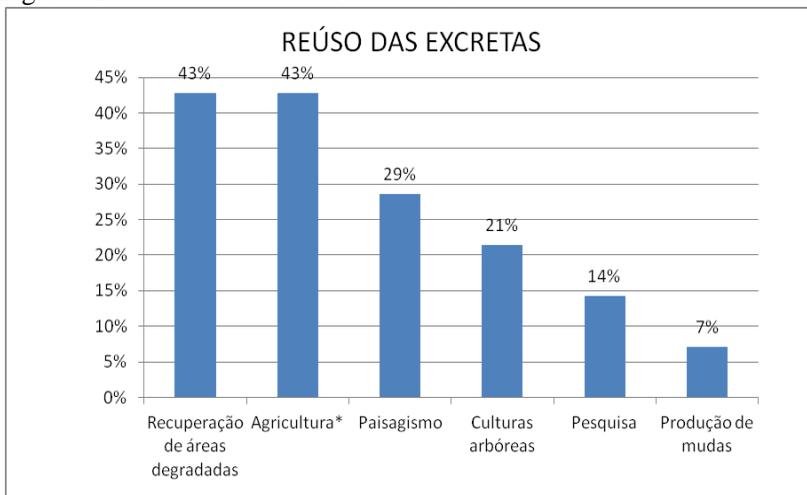
5.1.5 Reúso

O reúso das excretas é realizado por todos os banheiros secos (figura 62), normalmente mais de um tipo de reúso por banheiro. As duas principais atividades de reúso são a Recuperação de áreas degradadas e a Agricultura, realizadas por 43 %. Em segundo lugar o Paisagismo (29%) e em terceiro as Culturas arbóreas (21 %). Existe ainda a utilização para pesquisa científica (14 %) e também a produção de mudas (7 %).

Ressalta-se que o reúso na agricultura, principalmente para culturas de consumo cru, deve considerar o tratamento mais restritivo. Como discutido no capítulo 5.1.2, estudos recentes recomendam a inativação de 7,5 unidades logarítmicas para este tipo de cultura (FIDJELAND, 2015). Os demais reusos aqui apontados, podem considerar entre 3 e 5 log de inativação, dependendo do microorganismo utilizado como indicador.

Problemas técnicos com o reúso podem ser reduzidos com uma boa estratégia de sensibilização, conscientização, e capacitação para o uso e manejo correto das excretas, durante o tratamento e o reúso (ABARGHAZ et al., 2013).

Figura 62 Gráfico com as atividades de Reúso das excretas



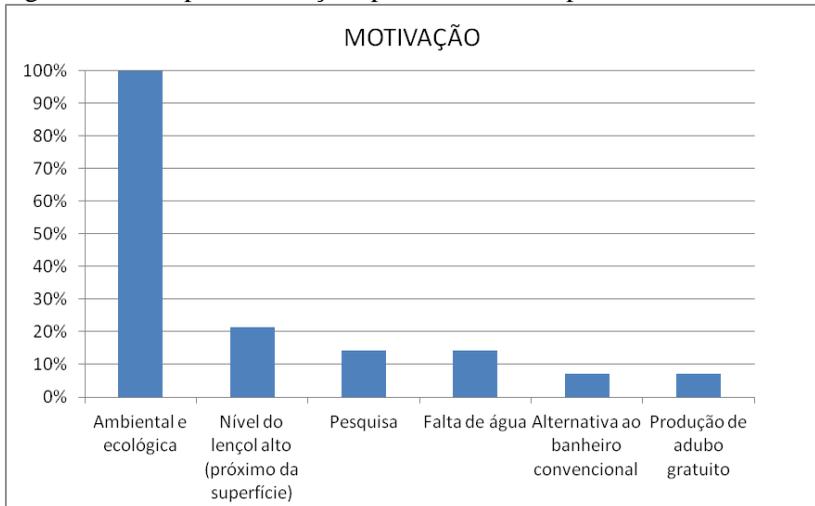
* Agricultura: hortas e Sistemas Agroflorestais com mandioca, tomates, temperos e bananeiras, predominantemente.

5.1.6 Motivação

A principal motivação para a construção e operação dos banheiros secos é ambiental e ecológica para 100 % dos operadores. Outras motivações somadas à esta (para 20 % ou menos) são o nível do lençol freático (muito próximo da superfície), a pesquisa, a falta de água, uma alternativa aos banheiros convencionais e a produção de adubo gratuito (figura 63).

Sendo a principal motivação de todos os usuários a ambiental e ecológica, a educação e sensibilização ambiental é uma importante ferramenta para aumentar a motivação das pessoas pelo uso do banheiro seco.

Figura 63 Principais motivações para construir e operar o banheiro seco.



5.1.7 Dificuldades

As dificuldades apontadas pelos usuários são extremamente relevantes para uma disseminação adequada da tecnologia. A maior dificuldade para 43 % dos operadores são os insetos (moscas, drosófilas, etc.). Em segundo lugar temos a falta de confiança/aceitação e a vergonha em utilizar o banheiro seco. Em terceiro lugar aparecem 2 dificuldades empatadas com 21 %: o manuseio (pesos e volumes dos recipientes das fezes e urina) e a mão de obra (tempo) para realizar as atividades necessárias. No quarto lugar outro empate com 7 %: mau estar (fobia) na manipulação e o entupimento do separador de urina. Destaca-se que o odor (mau cheiro) não foi citado por nenhum dos operadores (figura 64).

Segue uma proposta de solução para as dificuldades apontadas pelos usuários (tabela 1):

Tabela 1 Dificuldades dos usuários dos BSVS e soluções propostas.

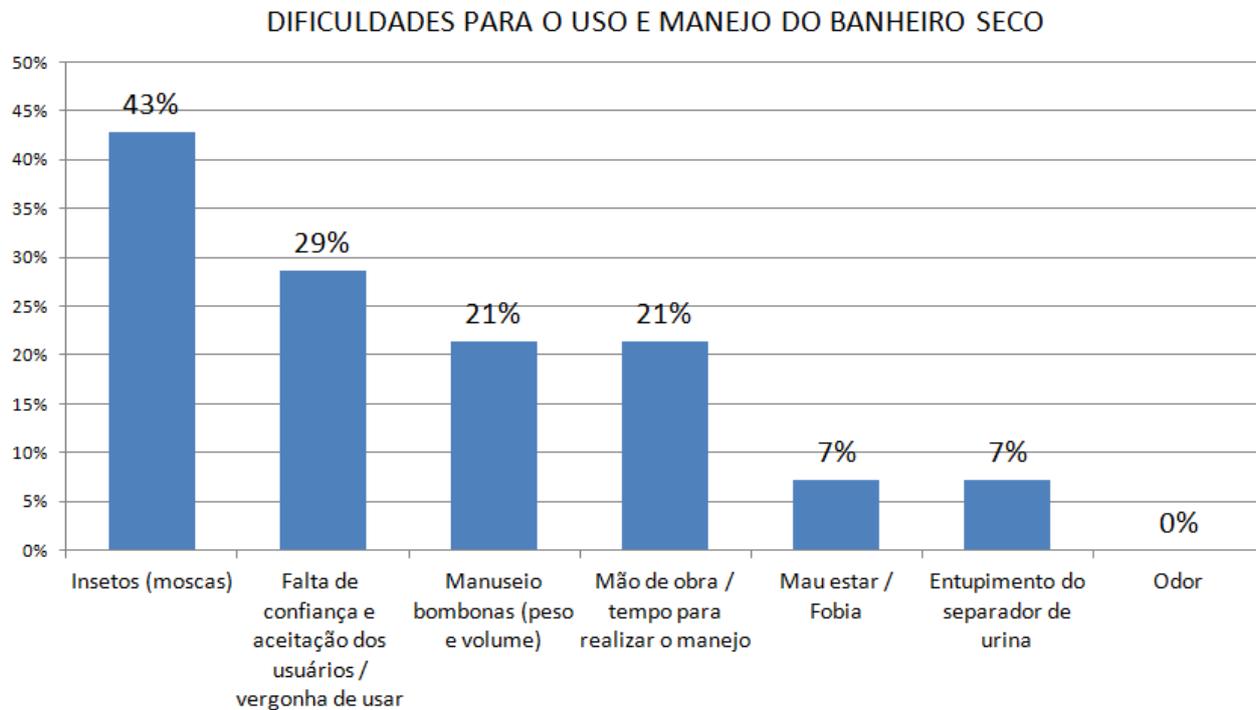
Dificuldades	Soluções propostas
Insetos (moscas e drosófilas)	Telas em todas as janelas, na ponta da tubulação de controle de odores e vedação de todas as peças do banheiro seco, inclusive paredes e porta. Utilizar o aditivo corretamente, cobrindo as fezes completamente.
Falta de confiança e aceitação dos usuários / vergonha de usar.	Educação ambiental, sinalização de fácil compreensão, capacitação e divulgação da tecnologia em campanhas;
Manuseio e praticidade (ergonomia e tempo dedicada à operação)	Facilitar ao máximo a operação e manutenção da tecnologia. Desenvolver mecanismos de diminuição do esforço físico necessário, inclusive com novas peças, exclusivas para o b. seco.
Contato com as excretas (fobia)	Aumentar o tubo de queda e utilizar tratamento que priorize o mínimo contato com a massa fecal (secagem com a armazenagem da bombona fechada).
Entupimentos na tubulação de urina	Aumentar o diâmetro da tubulação da urina e evitar curvas fechadas e tubulações sanfonadas. Evitar jogar aditivo na parte do vaso segregador destinada para a urina.

5.1.8 Exigência legal

Nenhum dos 14 banheiros passou por nenhuma exigência legal ou aprovação da vigilância sanitária para ser construído e operado.

Este resultado da pesquisa demonstra a necessidade de criação de uma norma específica para banheiros secos em parceria com as universidades que pesquisam o tema, usuários experientes e os órgãos de vigilância sanitária e órgãos de promoção do saneamento em geral (poder público federal, estadual, municipal, agências de regulação ONGs e associações).

Figura 64 Gráfico com as dificuldades apontadas para usar e operar o banheiro seco.



5.2 EXPERIMENTO DO TRATAMENTO DE FEZES HUMANAS EM ESCALA REAL

As 3 bombonas (contentores com fezes) de 50 litros cada uma (tréplica), coletaram um total de 94,9 kg de fezes com aditivo e papel higiênico, enchidas uma após a outra em sequência.

Cada bombona levou de 20 a 29 dias para ficar cheia, sendo utilizada por 72 a 76 vezes pelos usuários (tabela 2). O material fecal em tratamento da bombona 1 foi monitorado por 173 dias após o fechamento, a bombona 2 teve 122 dias e a bombona 3, 102 dias.

Tabela 2 Dados gerais das 3 bombonas analisadas no experimento de tratamento das fezes.

Bombonas	Datas de início	Datas de fechamento	Tempo para o enchimento (dias)
Bombona 1	12/09/13	11/10/13	29
Bombona 2	11/10/13	09/11/13	29
Bombona 3	09/11/13	29/11/13	20
Bombonas	Peso total (kg) = (fezes+aditivo +papel higiênico)		Nº de usos
Bombona 1	30,2		74
Bombona 2	33,7		76
Bombona 3	31,0		72

5.2.1 Análises físico-químicas

Os parâmetros físico-químicos analisados foram o pH, sólidos totais, fixos e voláteis, frações nitrogenadas e carbono orgânico. De uma forma geral, o desempenho destes parâmetros apresentou resultados satisfatórios e promissores para o tratamento e reúso das fezes. Segue uma descrição do desempenho de cada um dos parâmetros, separados por bombona.

5.2.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O desempenho do pH seguiu uma tendência bastante similar nas 3 bombonas analisadas, apresentando valores sempre acima de 8,5. Todas as bombonas tiveram uma elevação inicial acima de 10, seguida por uma suave redução e estabilização com pH entre 9 e 10. O pH médio da bombona 1 foi de 9,97, da bombona 2 foi de 10,3 e da

bombona 3 foi de 9,73. A tabela 3 apresenta estes valores máximos, mínimos e médios.

Tabela 3 Valores máximos, mínimos e médias do pH nas 3 bombonas analisadas.

Bombonas	pH		
	Mínimo	Máximo	Média
1	8,70	11,75	9,97
2	9,78	12,49	10,30
3	9,65	10,24	9,73

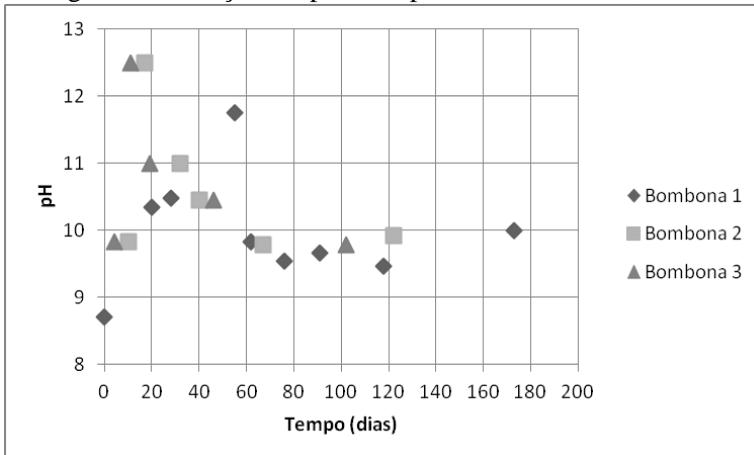
A figura 65 mostra a evolução do pH ao longo do tempo nas bombonas 1, 2 e 3. Na bombona 1 o pH inicial mensurado (imediatamente após o fechamento) foi 8,70 e chegando a 11,75 após 55 dias. A partir do dia 62 ficou estabilizado entre 9,50 e 10,00.

A medição do pH na bombona 2, indicou valores de 9,82 no dia 10, chegando a 12,49 no dia 17, sendo este o maior pH verificado no experimento. A partir do dia 60 ficou estabilizado entre 9,78 e 9,91. A bombona 3 iniciou com pH 10,24, sendo este considerado bastante alto já no quarto dia após o fechamento da bombona. A partir do dia 11 apresentou uma suave redução para 9,79 e se manteve estável entre 9,65 e 10,02.

Estes altos valores de pH foram possíveis em função de uma combinação de fatores: os materiais alcalinos adicionados (cinzas – pH em água entre 11 e 12, e calcário – pH em água entre 8,5 e 9,0); e a hidrólise da ureia, na qual ocorre a liberação de íons hidrogênio.

O pH elevado no material fecal contribui para a sanitização do mesmo (ESREY et al., 2001 e DECREY et al., 2015), e para o deslocamento do equilíbrio entre as formas de nitrogênio amoniacal formadas na hidrólise da ureia para a direita (NH_3), o que é considerado fator principal também para sanitização do material fecal (VINNERÅS, 2007). Os aspectos referentes à sanitização estão discutidos no item 5.2.2 com as análises microbiológicas.

Figura 65 Variação temporal do pH nas Bombonas 1, 2 e 3.



5.2.1.2 Sólidos totais, fixos e voláteis

As análises realizadas para o monitoramento da secagem das fezes foram feitas através da avaliação do desempenho dos sólidos totais (ST), quanto maior o valor percentual menor é a umidade. O resultado nas 3 bombonas foi bastante semelhante, apresentando valores médios variando entre 57 % e 67 %. O valor médio aparentemente mais baixo na bombona 1 explica-se pela primeira análise, única desta série realizada com fezes frescas, coletadas no mesmo dia em que a bombona foi fechada e levada ao laboratório (dia 0). Por isso, obteve o valor mínimo de ST = 30%, como mostra a tabela 4.

Tabela 4 Valores máximos, mínimos e médias dos Sólidos Totais nas 3 bombonas analisadas.

Bombonas	Sólidos Totais (%)		
	Mínimo	Máximo	Média
1	30	63	57
2	56	71	64
3	62	76	67

Verifica-se com isso que a atuação do aditivo (cinzas, calcário e ureia) para o tratamento das fezes por meio da secagem, necessita de alguns dias para reduzir a umidade das fezes. Uma análise da bombona 2 com 10 dias após o fechamento apresentou ST = 56 % e outra na

bombona 3 com 4 dias após o fechamento apresentou $ST = 65\%$. Salienta-se que a secagem pode ter pequenas variações em função da proporção de fezes/aditivo na amostra coletada.

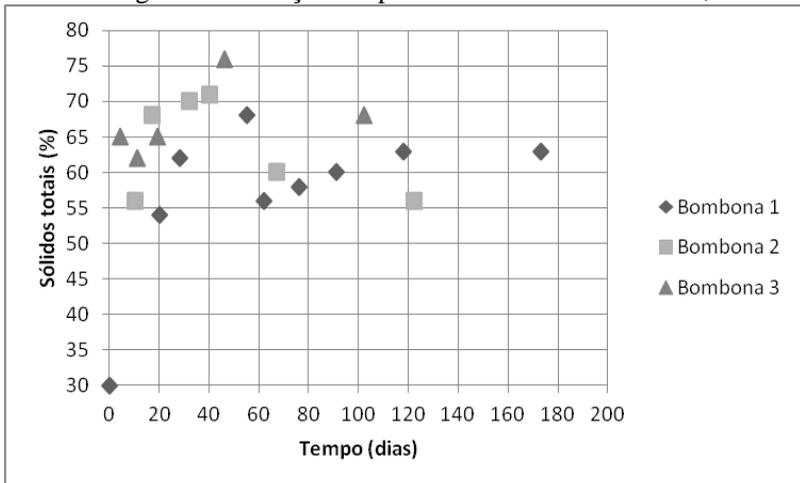
Na bombona 1 foi realizada uma série de 9 análises dos ST. Nota-se um desempenho marcado por um notável aumento até o dia 60, com leve redução e estabilização acima de 60% . Como já mencionado, foi realizada uma análise no dia do fechamento da bombona que apresentou valor de $ST = 30\%$. Observa-se que após a primeira análise, todos os valores de ST ficaram entre 54% e 68% , confirmando a secagem das fezes e mantendo-se sempre acima de 60% após 3 meses do fechamento (a partir do dia 90).

A bombona 2 apresentou desempenho bastante similar à bombona 1, apresentando valores elevados ($ST > 70\%$) entre os dias 20 a 40 e um valor de $ST = 56\%$, 122 dias após o fechamento da bombona. Para comparação, o valor do dia 118 na bombona 1 foi de $ST = 63\%$.

A bombona 3 também apresentou desempenho similar às bombonas 1 e 2, apresentando sempre valores altos ($ST > 60\%$). Com 102 dias após o fechamento da bombona $ST = 68\%$.

De uma forma geral, pode-se afirmar que o tratamento mostrou-se eficiente na secagem das fezes nas 3 bombonas analisadas (figura 66).

Figura 66 Variação temporal do ST nas Bombonas 1, 2 e 3.



Analisando o perfil médio dos sólidos totais, observa-se que nas 3 bombonas a porcentagem de sólidos fixos (SF) e voláteis (SV) também foi similar. $SF = 74\%$ na bombona 1, $SF = 77\%$ na bombona 2, $SF =$

81 % na bombona 3 e voláteis SV = 26 %, SV = 23 %, SV = 19 %, respectivamente. Os gráficos nas figuras 67 a 69 ilustram o desempenho similar nas três bombonas.

Figura 67 Valores médios percentuais de sólidos totais, umidade, sólidos fixos e voláteis na Bombona 1.

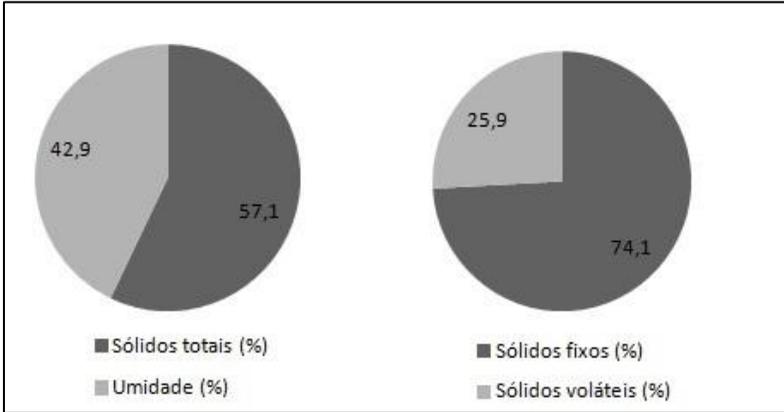


Figura 68 Valores médios percentuais de sólidos totais, umidade, sólidos fixos e voláteis na Bombona 2.

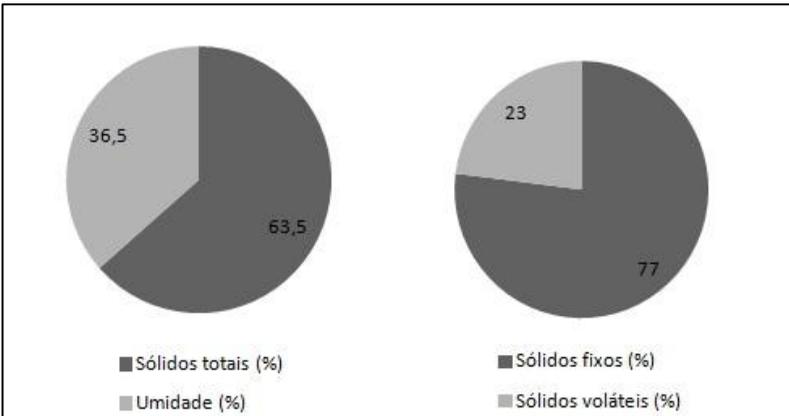
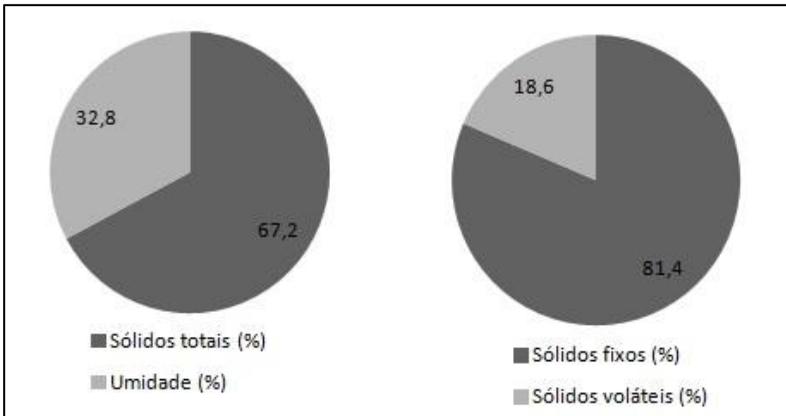


Figura 69 Valores médios percentuais de sólidos totais, umidade, sólidos fixos e voláteis na Bombona 3

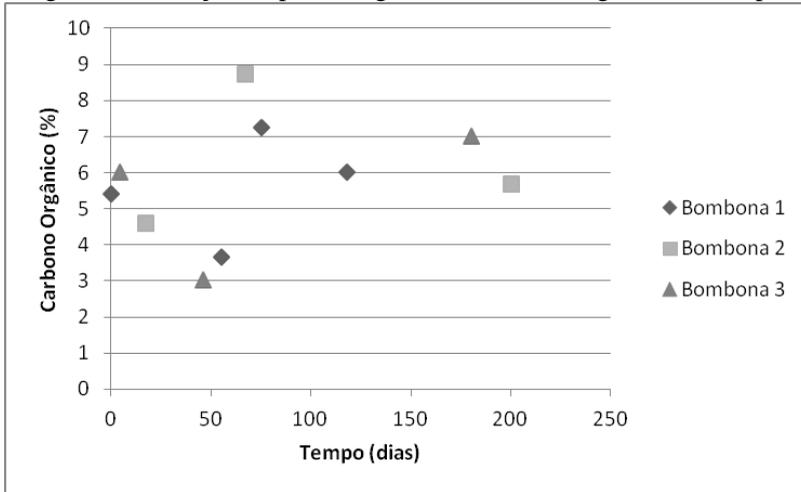


A alta porcentagem de sólidos totais e baixa porcentagem de sólidos voláteis, apresenta-se como uma vantagem do ponto de vista do reúso. A aplicação no solo é facilitada quando o material é sólido, de fácil manuseio e bem homogêneo, e, além disso, o baixo teor de material volátil diminui a probabilidade de geração de maus odores e a atração de vetores.

5.2.1.3 Degradação do Carbono Orgânico e frações nitrogenadas

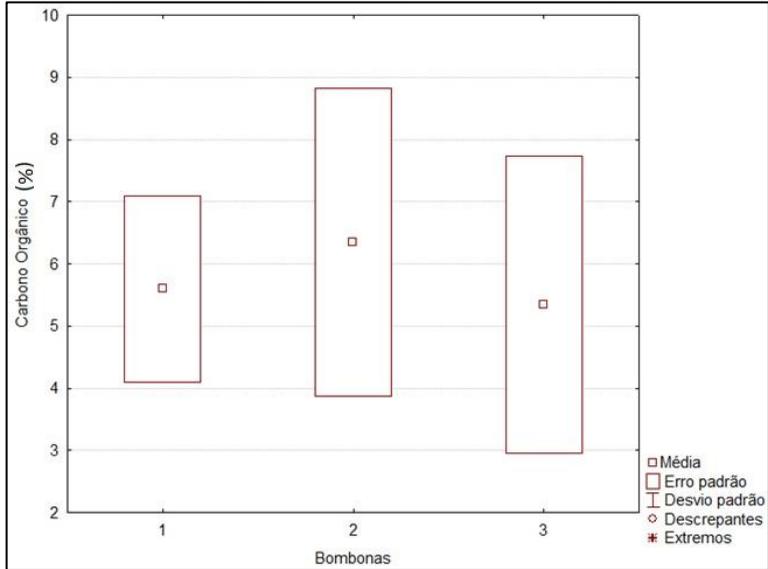
As análises do Carbono Orgânico (CO) mostram que não houve a degradação deste ao longo do tempo (figura 70). A partir destes dados pode-se inferir que houve baixa atividade biológica de degradação do carbono, comprovando o potencial de sanitização do tratamento estudado (item 5.1.2), pois como houve um elevado decaimento de microorganismos indicadores e patogênicos, houve provavelmente também um decaimento geral de atividade microbiana no material.

Figura 70 Variação da porcentagem de Carbono Orgânico no tempo.



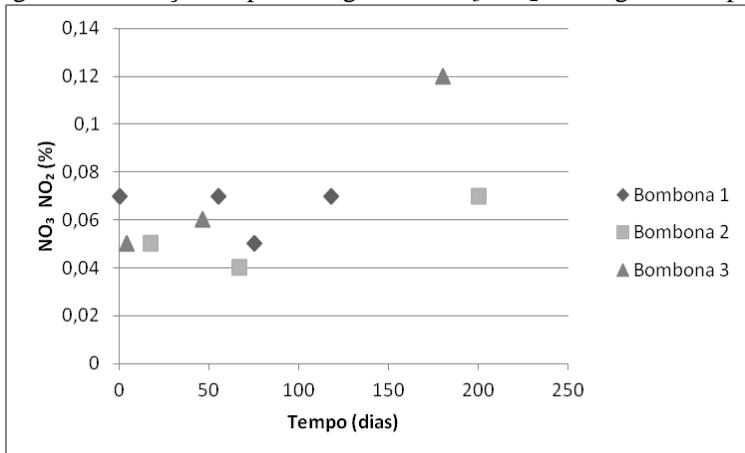
Houve pequena variação entre a média das 3 bombonas. A média do CO nas 3 bombonas foi 5,75 %. Já o valor mínimo foi CO = 3,03 % e o máximo CO = 8,74 % (figura 71).

Figura 71 Box plot da variação do Carbono Orgânico.



As diferenças entre valores obtidos nas análises ao longo do período de monitoramento são consideradas aceitáveis, tendo em vista que o material das bombonas não foi homogeneizado durante o tratamento.

Figura 72 Variação da porcentagem de NO_3 NO_2 ao longo do tempo.



As frações nitrogenadas oxidadas ($\text{NO}_2 / \text{NO}_3$) apresentaram desempenho coerente com o CO, apresentando baixas variações ao longo do tempo, evidenciando a baixa atividade biológica no material fecal, especificamente no que se refere à atividade nitrificante (figura 72).

A amônia (NH_3) apresentou aumento ao longo do tempo, indicando a hidrólise da ureia e o deslocamento do equilíbrio químico para a forma não ionizada (figura 73). Por esta elevação infere-se também que não ocorreram perdas significativas de amônia por volatilização, o que pode ocorrer tendo em vista os elevados valores de pH, se os sistemas não forem bem fechados. A figura 74 apresenta o box plot com os máximos, mínimos e médias do percentual de NH_3 .

Figura 73 Variação da porcentagem de Amônia ao longo do tempo.

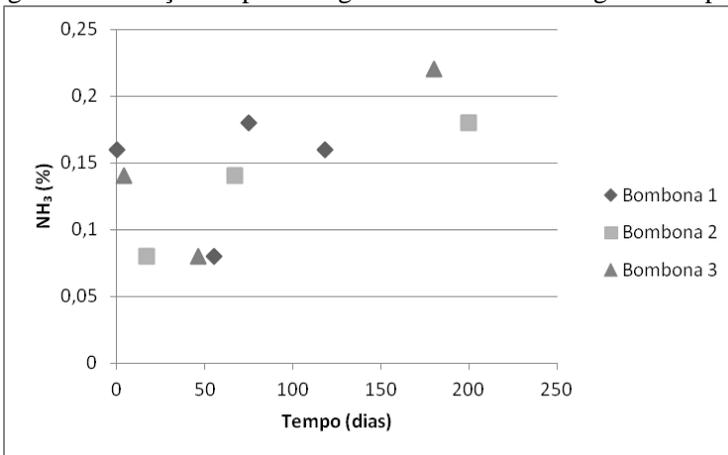
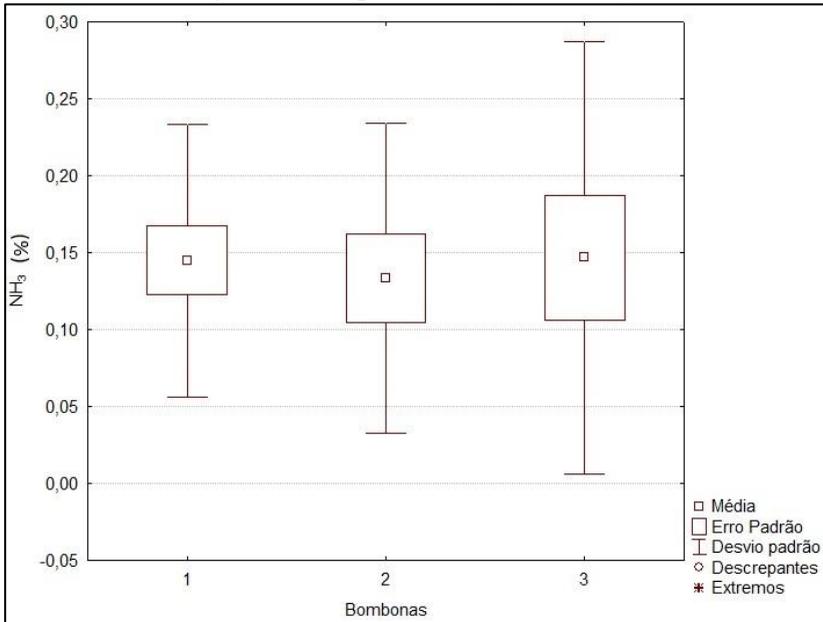


Figura 74 Box plot da variação do NH_3 .

5.2.2 Análises microbiológicas

A inativação dos microorganismos patogênicos é o principal elemento limitante para o reúso das excretas, sendo os indicadores mais importantes para medir a eficiência do tratamento proposto.

Para viabilizar as análises de decaimento de todas as populações de microorganismos patogênicos presentes nas fezes seria necessário um aparato laboratorial extremamente complexo e oneroso. Uma opção viável é a estratégia da escolha de microorganismos indicadores, pois estes representam o desempenho de uma série de microorganismos patogênicos não analisados. Caracterizam-se pela maior resistência aos fatores utilizados no tratamento, neste estudo o pH elevado, a desidratação e amônia não ionizada. A partir do monitoramento destes são elaboradas previsões sobre o desempenho dos patógenos com características similares (MAGRI, 2013; SIDHU et al., 2009). Nas análises desta pesquisa foram utilizados 2 patogênicos e 5 indicadores, todos de ocorrência natural nas fezes analisadas.

Para cada microorganismo foi definida uma Taxa de decaimento

(k) e o T90 ou DR (*Decimal Reduction*), o qual representa o tempo necessário para redução de 1 log na concentração. Quanto maior a taxa de decaimento, melhor é o tratamento e menor é o T90 ou DR, pois teremos um material seguro para o reúso em menos tempo.

5.2.2.1 *Salmonella sp.*

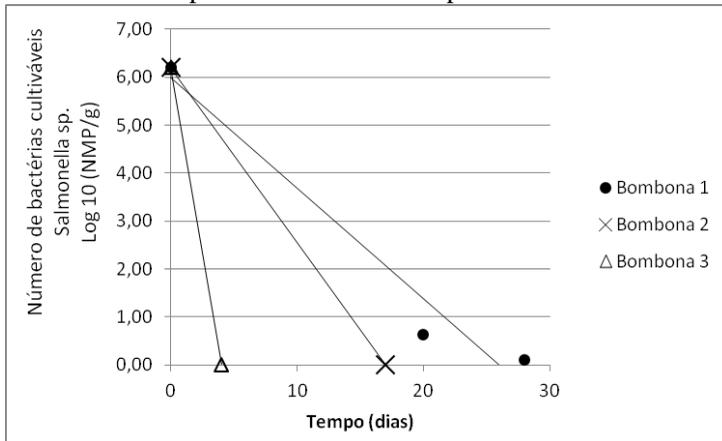
A *Salmonella sp.* é uma bactéria patogênica presente nas fezes de seres humanos contaminados. Infecções gastrointestinais desta bactéria podem causar diarreia e estão relacionadas com a contaminação dos alimentos (MEAD et al., 1999). São do tipo gram negativa, as quais costumam ter a parede celular mais fina e menos resistente quando comparadas às gram positivas.

Seu decaimento foi o mais rápido entre todos os 7 microorganismos analisados. As taxas de inativação da *Salmonella* normalmente são altas nos variados processos de tratamento (SAHLSTROM et al., 2004), mas esta pode sobreviver em pequenas concentrações (0,45 a 7,5 células/g) em biossólidos (WATANABE et al., 1997).

Como ilustrado no gráfico da figura 75, na bombona 1 a inativação ocorreu em menos de 28 dias, dentro da concentração detectável pelo método utilizado. Nas bombonas 2 e 3 a inativação, ocorreu em menos de 17 e 4 dias, respectivamente.

A partir destes resultados é possível afirmar que o aditivo utilizado tem boa eficiência na inativação da *Salmonella sp.* Em termos práticos, o T90 foi de 4,3 dias, o qual foi estimado apenas com dados da bombona 1. Sendo assim, esta bactéria não deve ser considerada como um bom indicador de eficiência do processo de tratamento, uma vez considerada sua elevada sensibilidade (MAGRI et al., 2015).

Figura 75 Decaimento de bactérias cultiváveis (*Salmonella sp.*) ao longo do período amostral do experimento E



5.2.2.2 *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), *Coliformes totais* (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*)

Os dados coletados para estes três microorganismos foram analisados em conjunto por serem bactérias indicadoras que apresentaram similaridades no desempenho durante o processo de tratamento.

Analisando os gráficos de decaimento dos 3 microorganismos (figuras 76 a 78) observa-se uma tendência clara de decaimento ao longo do tratamento, sempre confirmado pelas triplicatas em 3 bombonas, com variações relativamente pequenas.

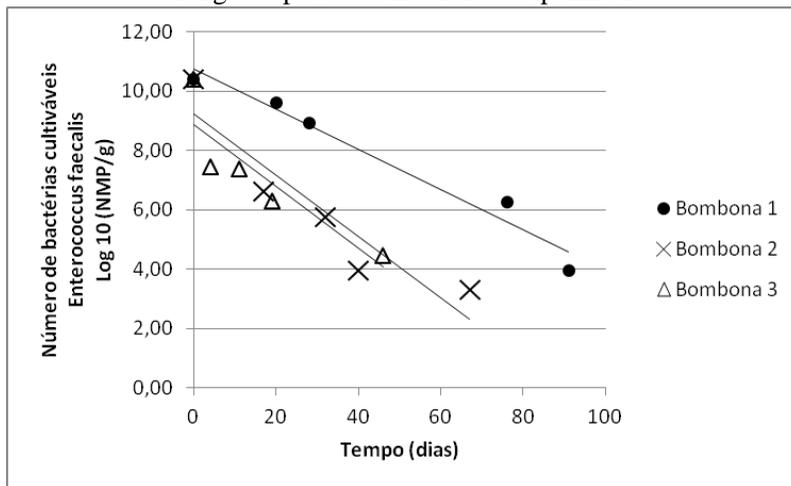
O gráfico de *E. faecalis* (figura 76) apresenta retas de decaimento similares para as 3 bombonas, sendo a bombona 1 a que teve o pior desempenho das três (reta com menor declividade), indicando uma menor velocidade na inativação. Provavelmente isto ocorreu devido à menor temperatura média (tabela 5).

As bombonas 2 e 3 tiveram retas paralelas, confirmando uma tendência de decaimento da bactéria *E. faecalis* muito semelhante ao longo do tempo nessas duas bombonas. Seus tempos de redução T90 foram igualmente similares: T90 = 9,7 na bombona 2 e T90 = 9,6 dias na bombona 3.

Outros estudos já haviam observado a redução no tempo de inativação com o aumento da temperatura para *Salmonella spp.* e *Enterococcus spp.* (NORDIN et al., 2009 e MAGRI, 2013).

A concentração média de NH_3 foi de 30,91 mM na bombona 2 e 25,52 mM na bombona 3. Estudos apontam que *E. faecalis* é bastante afetado pelo pH, mais do que pela concentração de NH_3 , quando em temperaturas até 20°C (OTTOSON et al., 2008). Segundo Magri (2013), *E. faecalis* são mais afetadas por uma combinação da elevação do pH de neutro a alcalino com a adição de ureia, o que promove uma maior concentração de amônia não ionizada.

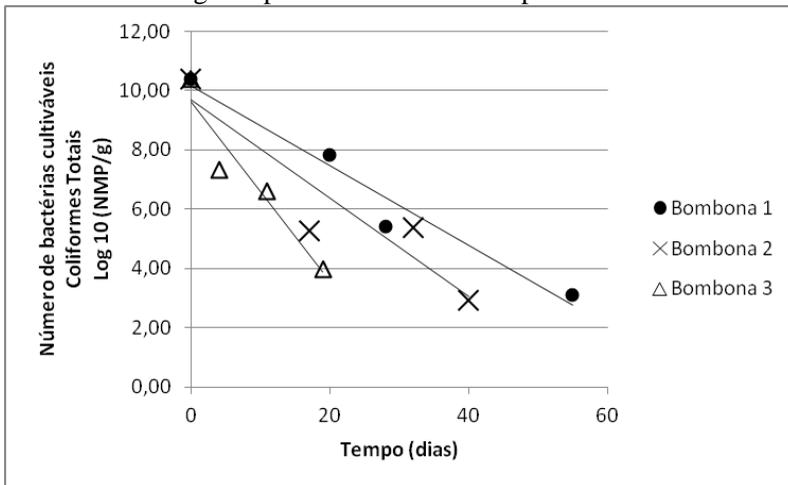
Figura 76 Decaimento de bactérias cultiváveis (*Enterococcus faecalis*) ao longo do período amostral do experimento.



Com relação aos CT as bombonas 1 e 2 tiveram retas mais similares, enquanto que a bombona 3 teve uma cinética de inativação mais rápida (figura 77). O tempo de redução de T90 na bombona 1 foi de T90 = 7,4 dias, T90 = 6,0 dias na bombona 2 e na bombona 3 T90 = 3,3 dias.

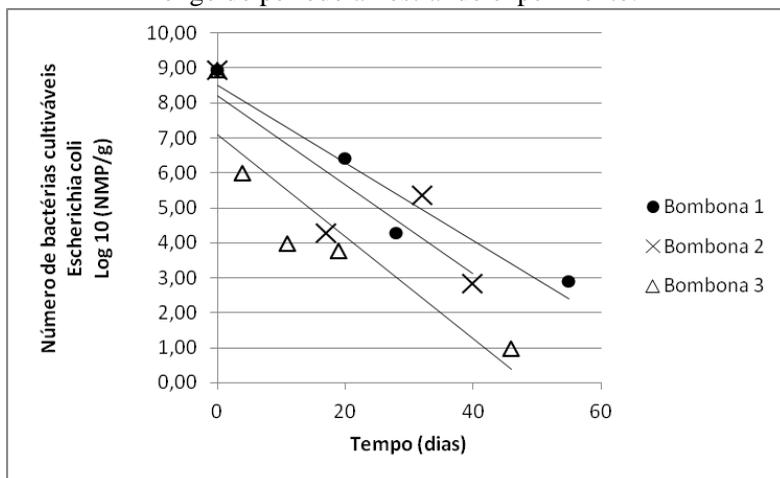
Desta forma, nota-se que a bombona 3 teve um T90 significativamente menor que as bombonas 1 e 2, reforçando que o fator temperatura foi responsável por uma maior eficiência na inativação dos CT, assim como observado para os *E. Faecalis*.

Figura 77 Decaimento de bactérias cultiváveis (Coliformes totais) ao longo do período amostral do experimento.



A cinética de inativação da bactéria *E. coli* seguiu a mesma tendência das outras aqui descritas, apresentando uma maior taxa de inativação na bombona 3. Os tempos de T90 foram: bombona 1 T90 = 9 dias, bombona 2 teve um T90 = 7,8 dias e para bombona 3 T90 = 6,9 dias (figura 78).

Figura 78 Decaimento de bactérias cultiváveis (*Escherichia coli*) ao longo do período amostral do experimento.



A inativação das bactérias indicadoras *E. faecalis*, CT e *E.coli*, utilizando-se o aditivo com cinzas, calcário agrícola e ureia na quantidade proposta foi considerada satisfatória e promissora. O tempo calculado pelos dados obtidos pela cinética de inativação de *E. faecalis*, CT e *E.coli* resultou em uma média de 11,3; 5,6 e 7,9 dias para a redução de 1 unidade logarítmica (T90), respectivamente (tabela 5).

São necessários 56,5 dias para a inativação de 5 unidades logarítmicas de *E. faecalis* (exigência de inativação de bactérias da Norma EC 208/2006 de reúso de lodo de esgoto da União Européia). Foi a bactéria mais resistente das três e, portanto a melhor entre as 4 bactérias analisadas, considerando também a *Salmonella sp.*, para monitorar a eficiência do tratamento e as possibilidades de reúso. Recomenda-se o uso de *E. faecalis* para avaliar a eficiência de tratamentos em pesquisas futuras e para o monitoramento em escala real, sendo esta uma boa indicadora das outras bactérias analisadas.

Ressalta-se também que as taxas de inativação para as 3 bactérias foi sempre mais elevada quanto mais elevada foi a temperatura ambiente, e conseqüentemente, mais elevada a temperatura das fezes no interior das bombonas.

Tabela 5 Dados das cinéticas de inativação dos microorganismos avaliados: *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), Coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*).

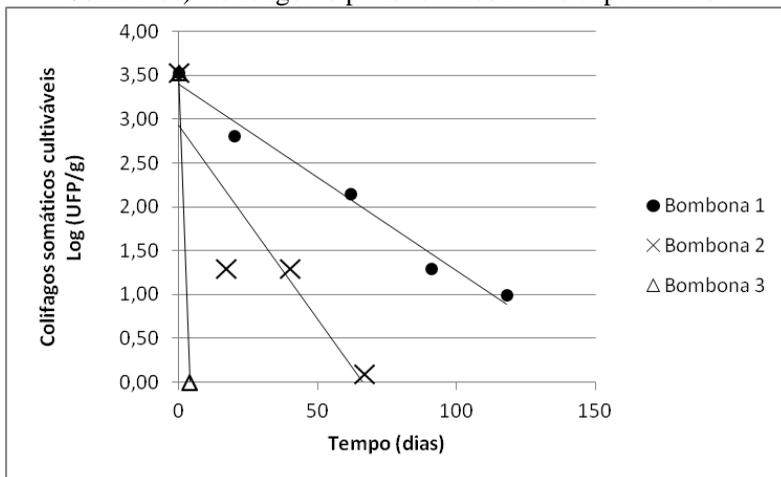
	Temperatura do ar no período (°C)			NH3 (mM)	pH	<i>Enterococcus faecalis</i>			
	Média	Máxima	Mínima	média ± DP	média ± DP	k (dia ⁻¹)	t90 (dias)	R ²	n
Bombona 1	21,9	25,6	18,7	20,2	9,97	0,068	14,7	0,96	5
Bombona 2	23,8	27,9	20,5	30,9	10,3	0,103	9,7	0,86	5
Bombona 3	24,3	28,3	21	25,5	9,73	0,105	9,6	0,79	5
	Temperatura do ar no período (°C)			NH3 (mM)	pH	Coliformes totais			
	Média	Máxima	Mínima	média ± DP	média ± DP	k (dia ⁻¹)	t90 (dias)	R ²	n
Bombona 1	21,9	25,6	18,7	20,2	9,97	0,134	7,4	0,96	4
Bombona 2	23,8	27,9	20,5	30,9	10,3	0,166	6,0	0,86	4
Bombona 3	24,3	28,3	21	25,5	9,73	0,302	3,3	0,91	4
	Temperatura do ar no período (°C)			NH3 (mM)	pH	<i>Escherichia coli</i>			
	Média	Máxima	Mínima	média ± DP	média ± DP	k (dia ⁻¹)	t90 (dias)	R ²	n
Bombona 1	21,9	25,6	18,7	20,2	9,97	0,111	9,0	0,92	4
Bombona 2	23,8	27,9	20,5	30,9	10,3	0,127	7,8	0,74	4
Bombona 3	24,3	28,3	21	25,5	9,73	0,146	6,9	0,81	5

5.2.2.3 Bacteriófagos

Os resultados dos Colifagos Somáticos apresentam dados válidos para as bombonas 1 e 2, pois na bombona 3 o decaimento foi abaixo da concentração detectável no método utilizado já na segunda análise, ficando inviável o cálculo da taxa de decaimento para esta bombona (figura 79). As bombonas 1 e 2 tiveram desempenhos semelhantes entre elas, no entanto a bombona 2 teve uma cinética de inativação mais eficiente, o que da mesma forma como já discutido no item anterior, pode ter tido relação com a temperatura mais elevada durante o período de tratamento da mesma (tabela 6). Os valores de pH e NH_3 também foram mais elevados no material fecal da bombona 2, o que provavelmente também influenciou na elevação da taxa de inativação em relação a bombona 1.

O tempo de redução de uma unidade logarítmica da bombona 1 foi $T_{90} = 46,9$ dias e $T_{90} = 22,6$ dias para a bombona 2, sendo a média $T_{90} = 34,8$ dias o maior tempo de decaimento de 1 log entre todos os microorganismos analisados neste estudo. Desta forma, ressalta-se o potencial deste bacteriófago como indicador para diversos patógenos diante da resistência aqui apresentada.

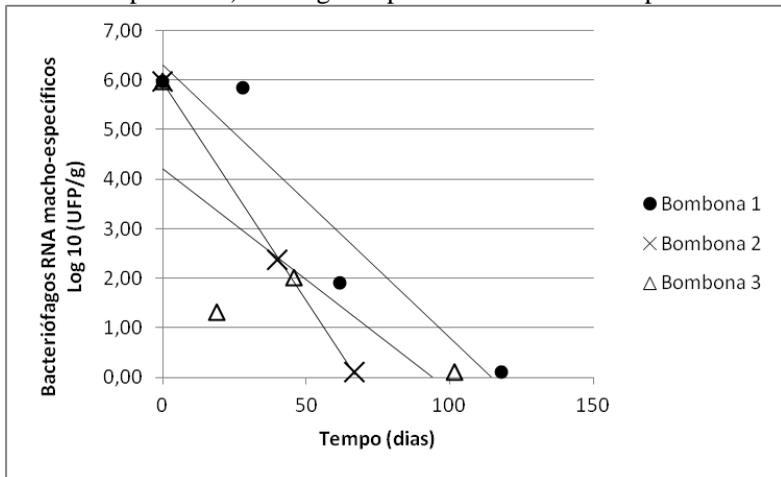
Figura 79 Decaimento de bacteriófagos cultiváveis (Colifagos Somáticos) ao longo do período amostral do experimento.



Os bacteriófagos RNA macho-específicos tiveram um T_{90} que variou entre 11,4 dias (mínimo na bombona 2), 18 dias (bombona 1) e

22,4 dias (máximo, bombona 3), sendo a média $T_{90} = 17,3$ dias. Nota-se que a temperatura não influenciou a inativação deste bacteriófago, pois a maior média de temperatura ocorreu na bombona 3 e esta teve o maior T_{90} entre as 3 bombonas analisadas, apresentando a menor taxa de inativação, representada na figura 80 pela menor inclinação da reta. A maior concentração média de NH_3 e o maior pH médio da bombona 2 possivelmente contribuíram para o bom desempenho da inativação de bacteriófagos na bombona 2, corroborando também com os resultados observados para os colifagos somáticos.

Figura 80 Decaimento de bacteriófagos cultiváveis (Bacteriófagos RNA macho-específicos) ao longo do período amostral do experimento.



Os bacteriófagos são muito utilizados como modelos para vírus humanos e animais em estudos de inativação (EMMOTH et al., 2011 e MAGRI et al., 2012), em função da facilidade analítica, quando comparado às metodologias necessárias para detecção de vírus viáveis. No entanto, tem-se levantado à questão de sua maior resistência quando comparado à vírus humanos e animais (MAGRI et al., 2015), o que foi também detectado neste trabalho.

Ressalta-se então que é válido o uso de bacteriófagos como indicadores da eficiência dos processos, no entanto, deve-se considerar que este é um indicador conservador, o que é um fator positivo do ponto de vista da segurança sanitária. Mas, pode refletir também no superdimensionamento de sistemas de tratamento, neste caso, de material fecal proveniente de banheiros secos, aumentando o tempo de

armazenamento das fezes nas bombonas e, portanto, exigindo um maior número de bombonas para realizar o manejo correto.

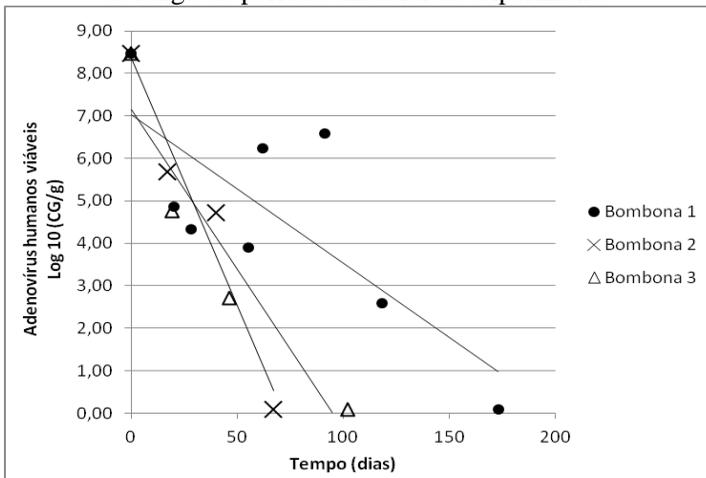
Tendo isto como premissa, quando possível recomenda-se a utilização de vírus ao invés de bactérias e bacteriófagos como indicadores da eficiência do processo de tratamento, ou ainda o uso de bactérias indicadoras, desde que somado um fator de segurança de tempo necessário à sanitização das fezes.

5.2.2.4 Adenovírus humano tipo 2 (HAdV)

Os adenovírus tiveram uma cinética de redução variada em cada uma das bombonas (figura 81). Assim como para os bacteriófagos RNA macho-específicos, não foi observada para os Adenovírus a mesma tendência das bactérias, da elevação da taxa de inativação com a elevação da temperatura, pelo menos nas pequenas variações de temperatura detectadas neste estudo.

Os valores de T90 foram variados, sendo o menor deles na bombona 2 (T90 = 8,6 dias). Na bombona 3 T90 = 13,3 dias e na bombona 1 T90 = 17,5 dias. Este resultado pode estar relacionado à concentração de amônia não ionizada, pois na bombona 2 temos $\text{NH}_3 = 30,9 \text{ mM}$, a maior concentração entre as bombonas (tabela 6).

Figura 81 Decaimento de vírus cultiváveis (Adenovírus humano tipo 2) ao longo do período amostral do experimento.



Outra característica no decaimento do adenovírus foi a variação

da concentração na bombona 1, tendo altas e baixas ao longo do tratamento. Isso justifica-se pela diferença nas coletas, podendo coletar regiões da bombona com mais ou menos fezes contaminadas na amostra. Mas, ao longo do tempo nota-se uma tendência de redução.

Tabela 6 Dados das cinéticas de inativação dos microorganismos avaliados: Colifagos Somáticos (CS), Adenovírus humano tipo 2 (HAdV) e Bacteriófagos RNA macho-específicos (ME).

	Temperatura do ar no período (°C)			NH3 (mM)	pH	Colifagos Somáticos (CS)			
	Média	Máxima	Mínima			média ± DP	média ± DP	k (dia ⁻¹)	t90 (dias)
Bombona 1	21,9	25,6	18,7	20,2	9,97	0,021	46,9	0,98	5
Bombona 2	23,8	27,9	20,5	30,9	10,3	0,044	22,6	0,81	4
Bombona 3	24,3	28,3	21,0	25,5	9,73	0,883	1,1	-	2
	Temperatura do ar no período (°C)			NH3 (mM)	pH	Adenovírus humano tipo 2 (HAdV)			
	Média	Máxima	Mínima			média ± DP	média ± DP	k (dia ⁻¹)	t90 (dias)
Bombona 1	21,9	25,6	18,7	20,2	9,97	0,057	17,5	0,89	5
Bombona 2	23,8	27,9	20,5	30,9	10,3	0,117	8,6	0,95	4
Bombona 3	24,3	28,3	21,0	25,5	9,73	0,075	13,3	0,89	4
	Temperatura do ar no período (°C)			NH3 (mM)	pH	Bacteriófagos RNA macho-específicos (ME)			
	Média	Máxima	Mínima			média ± DP	média ± DP	k (dia ⁻¹)	t90 (dias)
Bombona 1	21,9	25,6	18,7	20,2	9,97	0,055	18,2	0,91	4
Bombona 2	23,8	27,9	20,5	30,9	10,3	0,088	11,4	0,99	3
Bombona 3	24,3	28,3	21,0	25,5	9,73	0,045	22,4	0,61	4

Quando houver a presença ou risco da presença de protozoários e helmintos nas fezes coletadas em banheiros secos, deve-se considerar tempos de tratamento mais elevados, tendo em vista que estes microorganismos são reconhecidamente mais resistentes do que bactérias e vírus. Pondera-se que não foram utilizados protozoários e helmintos neste estudo pelo fato de estes não terem sido encontrados em análises iniciais, pois dependem de usuários contaminados utilizando o banheiro seco. Desta forma, quando utilizados como indicadores em pesquisas, na área da inativação de microorganismos patógenos, normalmente são inoculados.

Entretanto, neste estudo em escala real seria inviável a inoculação de grandes quantidades de ovos de helmintos e protozoários, sendo desejável a garantia de inativação destes, porém utilizando outros microorganismos como indicadores e uma margem de segurança.

Ressalta-se ainda que as concentrações de amônia não ionizada encontradas foram essenciais para a eficiência do tratamento. Este fator é comprovadamente eficiente na inativação de ovos de helmintos, tais como *Ascaris lumbricoides* e seu indicador mais utilizado em pesquisas, *Ascaris Summ* (ESPINOZA et al., 2012; NORDIN et al., 2007). Além destes, a concentração de íons carbonato CO_3^{2-} é considerado um importante fator de inativação dos ovos de *Ascaris* (MAGRI, 2013), sendo as cinzas e o calcário agrícola materiais com alta concentração de íons carbonato.

Os tempos de tratamento aqui relatados para os diferentes microorganismos foram possíveis nas condições do estudo, sendo a temperatura média entre 21 e 24°C, pH entre 9,7 e 10, e NH_3 entre 20 e 30 mM.

Foram reunidas na tabela 7 as características gerais de todos os microorganismos estudados e seus tempos de redução de T90 (1 log), 5 log para bactérias, 3 log para vírus e 7,5 log para comparação com a concentração final, após 3 meses de tratamento (tempo proposto para este aditivo específico a partir dos resultados deste trabalho).

Tabela 7 Simulação e comparação dos tempos necessários de tratamento para estar em conformidade com diferentes exigências de concentração de patógenos para o reúso.

Espécies de microorganismos	<i>Salmonella sp.</i>	Coliformes totais	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>	Adenovírus humano tipo 2	Bacteriófagos RNA ME	Colifagos somáticos (CS)
Tipo de organismo	Bactéria	Bactéria	Bactéria	Bactéria	Vírus humano	Vírus bacteriano	Vírus bacteriano
Característica de monitoramento	Patogênica	Indicadora	Indicadora	Indicadora	Patogênico	Indicador	Indicador
Unidade de contagem	NMP/g	NMP/g	NMP/g	NMP/g	CG/g	UFP/g	UFP/g
T90 médio das 3 bombonas (dias)	Não detectável	5,6	7,9	11,3	13,1	17,3	34,8
Tempo de redução 5 log* para bactérias e 3 log* para vírus (dias)	Não detectável	28	39,5	56,5	39,3	51,9	104,4
Tempo de redução 7,5 log** (dias)	Não detectável	42	59,25	84,75	98,25	129,75	261
Número de unidades logarítmicas que seriam removidas após 3 meses*** de tratamento	Não detectável	16,1	11,4	8,0	6,9	5,2	2,6

* Recomendação da Norma EC no 208/2006 da União Européia para reúso de lodo na fertilização de solos: *Animal by-products* (ABP).

** Recomendação de tratamento exigido para a fertilização de solos para o cultivo de alimentos consumidos crus (FIDJELAND, 2015).

*** Tempo sugerido para este tratamento com 150 % cinzas, calcário agrícola e ureia (1:1:0,02).

5.2.3 Análises para o reúso agrícola

As análises para a caracterização do potencial agrônômico do composto gerado com as fezes tratadas foram realizadas conforme os critérios definidos para concentração de poluentes e patógenos da Resolução CONAMA 375/2006 e para concentração de nutrientes da Instrução Normativa MAPA 25/2009, caracterizando o potencial como fertilizante.

Com relação aos poluentes (metais) e microorganismos patogênicos descritos na Res. CONAMA 375/2006, observa-se que os melhores indicadores para o controle do composto são os microorganismos patogênicos, pois pesquisas anteriores a esta já confirmaram a baixa concentração de metais nas fezes tratadas em banheiros secos e no lodo de efluentes domésticos, considerando as concentrações exigidas na Resolução citada (MAGRI, 2013 e KÄFER, 2015).

As concentrações máximas de microorganismos permitidas e a comparação com a concentração obtida com o experimento de tratamento das fezes deste estudo seguem na tabela 8.

Tabela 8 Comparação dos parâmetros obtidos com o tratamento proposto e os parâmetros da Resolução CONAMA 375/2006.

Microorganismo	Fezes tratadas com 3 meses de armazenamento	Concentração máxima permitida CONAMA 375/2006	
		A	B
Coliformes totais	0 NMP/g ¹		
<i>Escherichia coli</i>	0 NMP/g ¹	< 10 ³ CTer NMP/g	< 10 ⁶ CTer NMP / g
<i>Enterococcus faecalis</i> (NMP/g)	278 NMP/g ¹		
<i>Salmonella spp.</i>	Não detectável em 10g de ST	Não detectável em 10g de ST	-
Ovos viáveis de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Não detectado	< 0,25 ovo/g	< 10 ovo/g
Adenovírus humano tipo 2 (HAdV)	0 CG /g ¹	< 0,25 UFP ou UFF / g de ST	-

¹ Concentrações calculadas pelos modelos de regressão linear adotados

Segundo a Instrução Normativa 25/2009 do MAPA, os fertilizantes são classificados conforme a matéria prima utilizada em sua produção. O fertilizante que utilizar, em qualquer quantidade, matéria prima oriunda do tratamento de despejos sanitários é do tipo Classe "D".

A tabela 9 apresenta os parâmetros analisados no composto de uma das bombonas analisadas.

Tabela 9 Comparação dos parâmetros obtidos com o tratamento proposto e os parâmetros da IN 25/2009 do MAPA.

Parâmetros analisados / Elementos	Resultados (% m/m)	Teor total mínimo exigido (sólidos) (%)¹
Umidade (%)	37,3	70 ³
pH	10	6,0
Carbono Orgânico (CO)	5,09	15
Nitrogênio Total (N)	0,4	0,5
Nitrogênio Amoniacal (NH ₃)	0,18	-
Nitrogênio Nítrico (NO ₃ ⁻ + NO ₂ ⁻)	0,11	-
Relação C:N máxima	12,7	20
Fósforo Total (P ₂ O ₅)	1,63	-
Potássio (K ₂ O) solúvel em água	3,04	-
Enxofre Total (S)	0,27	1,0
Cálcio (Ca)	18,16	1,0
¹ Parâmetros da Instrução Normativa MAPA 25/2009		
Em conformidade com a IN 25/2009 MAPA	Em inconformidade com a IN 25/2009 MAPA	

Ressalta-se que as não conformidades apresentadas não limitam o uso das excretas como fertilizantes, exigindo o complemento dos nutrientes escassos com outros adubos ou o reúso com critérios menos exigentes, como a recuperação de áreas degradadas. O uso não comercial é permitido e indicado.

6. CONCLUSÕES

Os banheiros secos pesquisados e analisados no diagnóstico comparativo apresentam experiências e práticas relevantes, contribuindo para a avaliação do banheiro monitorado. A maior dificuldade dos usuários destes banheiros secos é o controle dos insetos, seguido pela falta de confiança no tratamento e aceitação da tecnologia. A maior motivação para o uso é ambiental e ecológica e o tratamento mais utilizado é a compostagem (6 meses e 1 ano são os tempos de tratamento mais utilizados).

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas confirmaram a eficiência do tratamento das fezes com o aditivo utilizado no experimento. A secagem das fezes, comprovada pela alta porcentagem de sólidos, a elevação do pH, a hidrólise da ureia e o aumento da porcentagem de sólidos fixos ao longo do tratamento são elementos que reforçam o potencial deste tratamento. Neste sentido, a redução na concentração dos 7 microorganismos analisados também corroboram com os resultados, sendo os bacteriófagos (colifagos somáticos e RNA Macho-específicos) os que apresentaram a maior resistência ao tratamento.

Pode-se concluir portanto, que o aditivo com calcário agrícola, cinzas e ureia (1:1:0,02), utilizado para o tratamento das fezes no BSVS, apresenta segurança sanitária e potencial para o reúso agrícola.

Foi proposto um tempo de 3 a 4 meses para o tratamento das fezes, fechadas na bombona com o aditivo, variando conforme a exigência de tratamento do uso previsto: 3 meses para usos menos exigentes, como a recuperação de áreas degradadas, paisagismo ou culturas arbóreas (fruticultura e silvicultura) e 4 meses para usos mais exigentes como a agricultura de alimentos de consumo cru. A urina, conforme pesquisas anteriores, necessita de 6 meses em recipiente fechado para garantir um uso seguro.

A partir desta avaliação, conclui-se que o banheiro seco com vaso segregador implantado e monitorado em situação real apresentou eficiência no tratamento das fezes, sendo indicado como uma tecnologia de saneamento de baixo custo, alta eficiência e segurança sanitária para o reúso das excretas como recursos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ressalta-se o grande potencial do BSVS como tecnologia social, sendo esta de baixo custo, fácil reaplicação, baixa complexidade tecnológica e eficiente no tratamento e reúso das excretas.

O desenvolvimento de uma norma para a construção, operação e monitoramento do banheiro seco no Brasil poderia ser iniciada a partir da criação e articulação de um Fórum de usuários e pesquisadores, envolvendo também órgãos públicos e demais interessados.

Um instrumento importante no sentido da disseminação da tecnologia seria a elaboração de um manual de construção e operação, o qual já se encontra em fase de produção pelo grupo de pesquisa responsável pelo desenvolvimento desta linha de pesquisa.

A obtenção da ureia a partir de matérias-primas naturais e renováveis é desejável, uma vez que os combustíveis fósseis são fontes não-renováveis de matéria-prima. Entretanto, considerando a pequena quantidade necessária e os benefícios obtidos com sua aplicação, viabilizando o reúso mais seguro das excretas, é recomendado o tratamento aqui desenvolvido.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABARGHAZ, Y.; MAHI, M.; BENDAOU, N.; FEKHAOUI, M.; WERNER, C. Lessons learnt on Ecosan in Morocco: case of the urine-diversion dehydration toilets. **Journal of Water Reuse and Desalination** 03.1, 2013.

ALBIHN, A.; VINNERÅS, B. Biosecurity and arable use of manure and biowaste - Treatment alternatives. **Livestock Science** v. 112, 2007. p. 232-239.

AUSTIN, L. M. **Design and operation criteria for urine-diversion ecological sanitation systems with particular reference to public health**. THESIS from University of Pretoria, 2007.

AUSTIN, L. M.; CLOETE, T. E. Safety Aspects of Handling and Using Fecal Material from Urine-Diversion Toilets - A Field Investigation. **Water Environment Research** v. 80(4), 2008. p. 308-315.

BAKIR, H.A., 2001. Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa. **Journal of Environmental Management**. 61, 319–328.

BAUM, R., LUH, J., BARTRAM J. Sanitation: A Global Estimate of Sewerage Connections without Treatment and the Resulting Impact on MDG Progress. **Environmental Science and Technology**. v. 47, 2013. p. 1994-2000.

BENDIXEN, H.J. **Technical Report Concerning the Veterinary Programme in Biogas Plants**, vols. 1 and 2. The Veterinary Directorate, The Ministry of Fisheries and Agriculture, Copenhagen, Denmark, 1995.

BENETTO, E., NGUYEN, D., LOHMANN T., SCHMITT B., SCHOSSELER P. Life cycle assessment of ecological sanitation system for small-scale wastewater treatment. **Science of the total environment** 407 (2009), 1506 – 1516.

BERGER, W. **Composting toilet systems in practice - examples and developments in private houses, multi-storey houses and public facilities in Germany during the last 20 years.** International Conference on Sustainable Sanitation, 2007.

BLANKE J.; CHIESA T. **The travel & tourism competitiveness report.** Beyond the Downturn. World Economic Forum, 2011.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH.

_____. **Lei nº 9.795**, de 27 de abril de 1999, que dispõe sobre a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA). Brasília, DF, 1999.

_____. **Lei nº 9.985**, de 18 de junho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. 5 ed. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, 2004.

_____. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro 2007, que dispõe sobre a Política Nacional de Saneamento Básico. Brasília, DF, 2007.

CEPAGRO **Cartilha do Banheiro Seco.** Coleção Saber na Prática, Florianópolis, 2013.

CLARKE, R.; KING, J. **Atlas da água.** Publifolha. São Paulo, SP, 2005.

COELHO, G. M. Aplicação de uma metodologia de reconhecimento do território no Parque Municipal da Lagoinha do Leste, Florianópolis. Trabalho de Conclusão de Curso UFSC, 2013.

COSTA, P. C. **Unidades de Conservação.** São Paulo: ALEPH, 2002.

DAROLT, M.R.; OSAKI, F. **Efeito da cinza de caeira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes.** 33p. In: Calagem & Adubação. Campinas,SP: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola,1991.

DAVIES-COLLEY C e SMITH W. **Implementing environmental technologies in development situations The example of ecological toilets.** 2012

DE SOUZA, R. C. **Avaliação da remoção de amoxicilina e cefalexina da urina por oxidação avançada com vistas ao saneamento ecológico.** Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

DEBETIR E. e ORTH D. **Unidades de Conservação – Gestão e conflitos.** Florianópolis, SC: Editora Insular, 2007.

DECREY, L.; KAZAMA, S.; UDERT, K. M.; KOHN, T. Ammonia as an In Situ Sanitizer: Inactivation Kinetics and Mechanisms of the ssRNA Virus MS2 by NH₃. **Environmental Science and Technology**, 2015, 49, p. 1060-1067.

DEL RIO, V.; OLIVEIRA, L. (Org.). **Percepção ambiental: a experiência brasileira.** São Carlos: UFSCAR/Studio Nobel, 1996.

DOUGLAS, M., & WILDAVSKY, A. **Risk and culture: An essay on the selection of technological and environmental dangers.** Berkeley: University of California Press, 1982.

EAVANS R. J.: **Death in Hamburg.** Society and Politics in the Cholera-Years 1830 - 1910, Oxford University Press, Oxford, 1987.

ESPINOZA L. M. C.; YEH D.; VINNERAS B.; RAJARAM L.; WHITEFORD L.; CORVIN J.; IZURIETA R. Inactivation of *Ascaris Suum* by ammonia in feces simulating the parameters of the solar toilet. **Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation.** Vol. 7, Number 3, 2012. p. 173-182.

ESREY S, GOUGH J, RAPAPORT D, SAWYER R, SIMPSON-HÉBERT M, VARGAS J and WINBLAD U. **Ecological sanitation.** Sida, Stockholm. Sweden, 1998.

EMMOTH, E.; OTTOSON, J.; ALBIHN, A.; BELÁK, S.; VINNERÅS, B. Ammonia disinfection of hatchery waste for elimination of singlestranded RNA viruses. **Applied and Environmental Microbiology** v.77, 2011. p. 3960-3966.

ESREY S. A. [*et al.*] **Closing the Loop: Ecological Sanitation for Food Security.** Water Resources no 18, SIDA. México: 2001.

FATTA-KASSINOS, D.; MERIC, S.; NIKOLAOU, A. Pharmaceutical residues in environmental waters and wastewater: current state of knowledge and future research. **Analytical and Bioanalytical Chemistry** v.399, 2011. p. 251-275.

FEACHEM, R.G., BRADLEY, D.J., GARELICK, H., MARA, D.D., 1983. **Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management.** John Wiley and Sons, Chichester, UK.

FIDJELAND, J. **Sanitisation of faecal sludge by ammonia. Treatment technology for safe reuse in agriculture.** Doctoral Thesis from Swedish University of Agricultural Sciences, 2015.

FIORAVANTI, M.; PEREIRA D. "Earth Auger", **Testing and Introducing in Latin America's Market a New Technology on Decentralized Sanitation.** 3rd International Faecal Sludge Management Conference, Hanoi, Vietnam, 2015.

FREITAS, C. M. **A produção científica sobre o ambiente na saúde coletiva.** Fundação Oswaldo Cruz *Cad. Saúde Pública* vol.21, n.3, pp. 679-701. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

FUKASAWA, K., 2004. **The management of bacterial issues in wilderness waters: A case study in the forest of Mar, Scotland.** Unpublished Ph.D Thesis, University of Leeds.

GIRARDI E. P.. **O rural e o urbano: É possível uma tipologia?** UNESP Presidente Prudente, 2008.

GONÇALVES, R. F. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** ABES. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

GONÇALVES, José E.;SARTORI, MARIA M.P.; **Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de eucalyptus grandis.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.5, p. 657-661, Paraíba, 2009.

GUYTON, A.C.; HALL, J.E. **Tratado de fisiologia medica**. 11. ed. Rio de Janeiro (RJ): Guanabara Koogan, 2006. p.1115.

HAQ G; CAMBRIDGE H. **Exploiting the co-benefits of ecological sanitation**. Current Opinion in Environmental Sustainability 2012, 4:p.431-435.

HEEB J.; JENSSEN P.; GNANAKAN K. **Management: Planning, Implementation and Operation. Agricultural Aspects**. Bangalore, India, 2007.

HEINONEN-TANSKI H; WIJK-SIJBESMA C V. Human excreta for plant production. **Bio Resource Technology** v. 96, 2004, p.403-411.

HOGLUND, C., STENSTROM, T.A., Ashbolt, N., 2002b. **Microbial risk assessment of source-separated urine used in agriculture**. Waste Management. Res. 20, 150–161.

HSRC HUMAN SCIENCES RESEARCH COUNCIL **Assessment of the effectiveness of the education programme for households receiving sanitation and water**. HSRC, Durban, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Atlas de saneamento**, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativas da População para Estados e Municípios de saneamento**, 2014.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE **Conselhos gestores de Unidades de Conservação Federais, um guia para gestores**, Brasília, 2014.

KAZAMA S.; TAMEIKE M.; NAKAGAWA N.; OTAKI M. A fate model of pathogenic viruses in a composting toilet based on coliphage inactivation. **Journal of Environmental Sciences**, v.23(7), 2011. p. 1194- 1198.

KJELLBERG CHRISTENSEN, K., CARLSBAEK, M., NORGAARD, E.,WARBERG, K.H., VENELAMPI, O., BRØGGER, M. **Supervision of the sanitary quality of composting in the Nordic countries**.

TemaNord, vol. 567. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark, 2002.

KUTU F. R.; MUCHAONYERWA P.; MNKENI P. N. S. Complementary nutrient effects of separately collected human faeces and urine on the yield and nutrient uptake of spinach (*Spinacia oleracea*). **Waste Management & Research**, v.29(5), 2010. p. 532-539.

LAMICHHANE K. M.; BABCOCK Jr R. W. Survey of attitudes and perceptions of urine-diverting toilets and human waste recycling in Hawaii. **Science of the Total Environment**. 443, 2013. p. 749-756.

LANGERGRABER, G., MUELLEGGER, E., 2005. Ecological Sanitation – a way to solve global sanitation problems? **Environment International** 31 (2005), 433 – 444.

LERÍPIO, Alexandre de Ávila; CAMPOS, Lucila Maria de Souza; SELIG, Paulo Mauricio. O papel da percepção na educação e desempenho ambiental das organizações: uma discussão sobre o tema. **Contrapontos**, v.3, n. 1, p. 119-129, Itajaí, jan./abr. 2003.

LEUZINGER, M. D. **Uso público em Unidades de Conservação**. Artigo não publicado. Curitiba, 2004.

MAGRI, M. E. **Aplicação de processos de estabilização e higienização de fezes e urina humanas em banheiros secos segregadores**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

MAGRI M. E.; PHILIPPI L. S.; VINNERAS B. Inactivation of Pathogens in Feces by Desiccation and Urea Treatment for Application in Urine-Diverting Dry Toilets. **Applied and Environmental Microbiology**. 2013, 79(7): p. 2156-2163.

MARCONI, A. M.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5^a edição. Editora Atlas. São Paulo, 2003.

MARQUES, J. L. **Estudo de caso: Diagnóstico do uso e manejo de sanitário compostável localizado em Ratonés, Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

MCDONALD, A. T.; CHAPMAN, P. J.; FUKASAWA, K. The microbial status of natural waters in a protected wilderness area. **Journal of Environmental Management** 87 (2008) p.600-608.

MCMICHAEL, J. **The double septic pin Vietnam**. Sanitation in developing countries. Editor Arnold Pacey, 1978.

MEAD, P.S., SLUTSKER, L., DIETZ, V., MCCAIG, L.F., BRESEE, J.S., SHAPIRO, C., GRIFFIN, P.M. AND TAUXE, R.V. (1999) **Food-related illness and death in the United States**. *Emerging Infectious Diseases* 5, 607–625.

MEDEIROS, R. **A proteção da natureza: das estratégias internacionais e nacionais às demandas locais** Tese de doutorado. Rio de Janeiro: IGEO/UFRJ, 2003.

MEDEIROS, R. **Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil**. *Ambiente e sociedade*. v. IX no 1, 2006.

MORAIS, G. L. A. (UFPE) ; MOREIRA, A. R. S. (UFPE) ; AMORIM, V. P. P. (UFPE) ; CARDOSO, B.A. (UFPE) ; ALBUQUERQUE, S. S. M. C. (UFPE) ; PALHA, M. A. P. F. (UFPE). **Análise da eficácia do álcool em gel na remoção de pseudomonas aeruginosa aplicada artificialmente nas mãos** (2011).

NAWAB, B.; NYBORG, I. L. P.; ESSER K. B.; JENSSEN P. D. Cultural preferences in designing ecological sanitation systems in North West Frontier Province, Pakistan. **Journal of environmental Psychology** 26 (2006) 236-246.

NIWAGABA, C.; KULABAKO, R. N.; MUGALA, P.; JONSSON, H. Comparing microbial die-off in separately collected faeces with ash and sawdust additives. **Waste Management**. 29 (2009) p. 2214-2219.

NORDIN A; OTTOSON J R; VINNERAS B., Sanitation of faeces from source-separating dry toilets using urea. **Journal of Applied Microbiology** v. 107, 2009. p. 1579-1587.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE e UNICEF. **Data Resources and Estimates of the Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation for Water.** <http://www.wssinfo.org> (acessado 8 de abril de 2014).

OSAKI, F.; DAROLT, M. R. **Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba**, fiev. Set Ciências Agrárias vol. 11, 1991.

OTTERPOHL, R. Design of highly efficient Source Control Sanitation and practical Experiences. In: **EURO-Summer School DESAR**, Wageningen, Holanda. 2000. 16p.

OTTOSON, J.; NORDIN, A.; ROSEN, D.; VINNERÅS, B. *Salmonella* reduction in manure by the addition of urea and ammonia. **Bioresource Technology** v.99, 2008. p. 1610-1615.

PAHL-WOSTL C, SCHONBORN A, WILLI N, MUNCKE J, LARSEN TA. **Investigating consumer attitudes towards the new technology of urine separation.** *Water Sci Technol* 2003;48: 57–65.

PEASEY, A. **Health Aspects of Dry Sanitation with Waste Reuse.** *Water and Environmental Health at London and Loughborough, UK*, 2000.

PHILIPPI, L.S.; OLIJNYK, D.P.; MAGRI M.E. Arranjos tecnológicos para o tratamento descentralizado de esgotos sanitários. In: **I Ecosanlac, Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: “Seguridade Alimentar e Hídrica para América Latina”**, Anais: Fortaleza, 2007. 8 p.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD) e CONVENÇÃO DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA (CDB). **Protected Areas for the 21st Century: Lessons from UNPD/GEF’s Portfolio.** New York: UNPD and Montreal: Convention on Biological Diversity, 2010.

PRONK, W.; KONÉ, D. Options for urine treatment in developing countries. **Desalination.** 248 (2009) p. 360-368.

RAMANI S; SADREGHAZI S; DUYSTERS G. **On the diffusion of toilets as bottom of the pyramid innovation: Lessons from sanitation entrepreneurs.** *Technological Forecasting & Social Change* v.79, 2012. p. 676-687.

RODRIGUES M. L.; MALHEIROS T. F.; FERNANDES, V.; DAROS, T. D. A percepção ambiental como instrumento de apoio na gestão e na formulação de Políticas Públicas ambientais. *Saúde e Sociedade São Paulo* v. 21, supl 3 p. 96-110, 2012.

SIDHU, J. P. S.; TOZE S. G. Human pathogens and their indicators in biosolids: A literature review. **Environment International** 35 (2009) p 187-201.

SILVA, M. E. M. **Gestão sustentável da orla marítima em destinos turísticos costeiros: A percepção dos atores sociais.** Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO (2012). Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>

STENSTRÖM T. A. **Health security in the re-use of human excreta from on-site sanitation.** Ecological Sanitation International Workshop - Closing the loop for food security, 17-21 October, Cuernavaca Mexico, 1999.

STRAUB, T. M., I. L. PEPPER, and C. P. GERBA. 1993. **Hazards from pathogenic microorganisms in land-disposed sewage sludge.** *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 132:55-91

STRAUSS, M. **Health Aspects of Nightsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture.** Part II. Pathogen Survival. Dubendorf, International Reference Centre for Waste Disposal. Report No. 04/85. 1985.

UDDIN, S. M. N.; MUHANDIKI, V. S.; SAKAI A.; MAMUN, A. A.; HRIDI, S. M. Socio-cultural acceptance of appropriate technology: Identifying and prioritizing barriers for widespread use of the urine diversion toilets in rural Muslim communities of Bangladesh. **Technology in Society** 38 (2014) p.32-39.

UNESCO. **Agua para todos, Agua para la vida – Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos em el mundo.** UNESCO-WWAP. França, Paris, 2003.

UNESCO. **Capacity building for Ecological Sanitation** (2006).

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2005. **Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems.** EPA/832-B-05-001. Office of Water, USA, Washington, DC, 66 pp.

USEPA. Standards for the use or disposal of sewage sludge. **EPA Part 503 Biossolids Rule.** Office of waste water management. Washington, DC, 1994.

VEIGA J. E. da. **Cidades imaginárias: O Brasil é menos urbano do que se calcula.** Campinas: Autores Associados, 2002.

VINNERÅS, B. **Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion.** (Tese). Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Biometry and Engineering, Uppsala, Suécia. 2002. 88p.

VINNERÅS, B. 2007 Comparison of composting storage and urea treatment for sanitising of faecal matter and manure. **Bioresource Technology** 98 (2007) p. 3317-3321.

WATANABE H, KITAMURA T, OCHI S, OZAKI M. Inactivation of pathogenic bacteria under mesophilic and thermophilic conditions. **Water Science Technology.** 1997; 36(6–7):25–32.

WERNER, C., PANESAR, A., RÜD, S.B., OLT, C.U. **Ecological Sanitation: principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management.** *Desalination* 248 (2009), 392 – 401.

WINBLAD, U. **Towards an ecological approach to sanitation.** Japan Toilet Association Symposium in Toyama, Japan, October 1996.

APÊNDICES

Apêndice 01. Cartaz sobre a pesquisa colocado no BSVS do experimento do tratamento de fezes em escala real




UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental PPGEA / UFSC
 Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado – GESAD

**COLABORE COM ESTA PESQUISA
 EM BANHEIRO SECO,
 O RIO RATONES AGRADECE!**

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE BANHEIRO SECO SEGREGADOR
 PARA IMPLANTAÇÃO EM ÁREAS RURAIS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

OBJETIVO:
 Desenvolver um modelo de banheiro seco segregador e avaliar diferentes aditivos para o tratamento das fezes humanas, visando a implantação da tecnologia em áreas rurais e unidades de conservação.

CONTATOS / SUGESTÕES / DÚVIDAS / PROBLEMAS ?
 RICHARD - Engenheiro Sanitarista e Ambiental (CREA/SC 107767 – 7)
 richardambiental@gmail.com (48) 9995-3136
 ORIENTADORES: DRA. MARIA ELISA MAGRI E DR. LUIZ SÉRGIO PHILIPPI


INSTITUTO CARAKURA

Apêndice 02. Cartaz sobre o uso correto do BSVS no experimento do tratamento de fezes em escala real

INSTRUÇÕES DE USO

- 1) UTILIZE O ASSENTO NORMALMENTE, O VASO SEGREGADOR IRÁ SEPARAR AS FEZES E A URINA;
- 2) O PAPEL HIGIÊNICO DEVE SER JOGADO NO VASO APÓS O USO, SEM PROBLEMAS! POR FAVOR, **NÃO JOGUE** MODES, BANDAID, ESPARADRAPO ETC.;
- 3) USE **UMA CANECA CHEIA (NEM MAIS NEM MENOS!)** COM O ADITIVO DO BALDE PARA JOGAR APÓS O USO;
- 4) REGISTRE O USO NA PRANCHETA E **NÃO SE ESQUEÇA DE LAVAR AS MÃOS!**

Apêndice 03. Controle do número de usos do BSVS no experimento do tratamento de fezes em escala real

CONTROLE DO NÚMERO DE USOS APÓS O USO, MARQUE O PRÓXIMO NÚMERO

PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

1	41	81	121	161	201	241	281	321	361
2	42	82	122	162	202	242	282	322	362
3	43	83	123	163	203	243	283	323	363
4	44	84	124	164	204	244	284	324	364
5	45	85	125	165	205	245	285	325	365
6	46	86	126	166	206	246	286	326	366
7	47	87	127	167	207	247	287	327	367
8	48	88	128	168	208	248	288	328	368
9	49	89	129	169	209	249	289	329	369
10	50	90	130	170	210	250	290	330	370
11	51	91	131	171	211	251	291	331	371
12	52	92	132	172	212	252	292	332	372
13	53	93	133	173	213	253	293	333	373
14	54	94	134	174	214	254	294	334	374
15	55	95	135	175	215	255	295	335	375
16	56	96	136	176	216	256	296	336	376
17	57	97	137	177	217	257	297	337	377
18	58	98	138	178	218	258	298	338	378
19	59	99	139	179	219	259	299	339	379
20	60	100	140	180	220	260	300	340	380
21	61	101	141	181	221	261	301	341	381
22	62	102	142	182	222	262	302	342	382
23	63	103	143	183	223	263	303	343	383
24	64	104	144	184	224	264	304	344	384
25	65	105	145	185	225	265	305	345	385
26	66	106	146	186	226	266	306	346	386
27	67	107	147	187	227	267	307	347	387
28	68	108	148	188	228	268	308	348	388
29	69	109	149	189	229	269	309	349	389
30	70	110	150	190	230	270	310	350	390
31	71	111	151	191	231	271	311	351	391
32	72	112	152	192	232	272	312	352	392
33	73	113	153	193	233	273	313	353	393
34	74	114	154	194	234	274	314	354	394
35	75	115	155	195	235	275	315	355	395
36	76	116	156	196	236	276	316	356	396
37	77	117	157	197	237	277	317	357	397
38	78	118	158	198	238	278	318	358	398
39	79	119	159	199	239	279	319	359	399
40	80	120	160	200	240	280	320	360	400

Apêndice 04. Questionário aplicado para realização do diagnóstico

PESQUISA SOBRE O BANHEIRO SECO - QUESTIONÁRIO

Responsável pelas informações:

Email e telefone para contato:

1. LOCALIZAÇÃO

- Qual a localização do banheiro seco?

() Área rural () Área urbana () U.C.

Cidade/Estado:

Endereço:

- Qual o local de implantação?

() ONG () Residencial () U.C.

() Centro de pesquisa () Outros:

Nome (opcional):

2. CONSTRUÇÃO

2.1 TIPO

- Qual o tipo de banheiro seco?

() Compostável () Vaso segregador de fezes e urina

() Outros:

2.2 MATERIAIS

- Quais os materiais (predominantes) utilizados na construção do banheiro?

Madeira: () Madeira de demolição () Pinnus

() Eucalipto

Alvenaria Bioconstrução Outros:

2.3 CUSTO

- Qual o custo total estimado (materiais + mão de obra)?

Menos de R\$1.000,00 Entre R\$1.001,00 e R\$2.500,00

Entre R\$2.501,00 e R\$5.000,00 Mais de R\$5.001,00

2.4 CONTROLE DE ODORES

- Possui tubulação de ventilação para o odor?

SIM NÃO

2.5 ADITIVO (MATERIAL USADO PARA COBRIR AS FEZES)

- Utiliza aditivo?

SIM NÃO

- Se SIM, qual?

Serragem Palhada ou folhas secas

Calcário + ureia

Concha de ostra + ureia Calcário + cinzas + ureia

Outros

- Qual a quantidade média por uso? () massa (g) () volume
(mL)

3. OPERAÇÃO

3.1 VOLUME DA CÂMARA DE ARMAZENAMENTO

p/ Compostável ou outros

> Volume ou área do recipiente de armazenamento das fezes e urina (litros):

p/ Vaso segregador

> Volume do recipiente de fezes (litros):

> Volume do recipiente de urina (litros):

3.2 RECIPIENTE

() FIXO (Câmara de armazenamento) ()

MÓVEL(bombona)

3.3 PERFIL DOS USUÁRIOS

- Uso fixo () qtas pessoas?

- Uso esporádico () recebe grupos de quantas pessoas/frequencia?

- Outros

3.4 FREQUÊNCIA DE TROCA

- Quantos usos em média por bombona ou outro recipiente fixo? ()

- Quanto tempo em média para encher o recipiente ou a bombona das fezes? ()

- Quantos usos para substituir o reservatório da urina? ()

3.5 OPERAÇÃO DAS FEZES E URINA

- Como a urina do recipiente é retirada do banheiro?

- Tem algum mecanismo de descarga de água ou material para cobrir as fezes?

- Como é feita a limpeza? Frequência?

4. TRATAMENTO

- Faz algum tratamento das fezes?
 - compostagem armazenamento/estocagem
 outros

- Já foi feita alguma análise com relação ao produto final?
 - sim não

- O que é feito com o produto final?
 - Aplicação no solo para recuperação de áreas degradadas
 - Culturas arbóreas (como fruticultura, silvicultura)
 - Paisagismo
 - Produção de mudas
 - Agricultura

- Se utilizado na agricultura, quais as culturas cultivadas com adubação de fezes e/ou urina?

5. MOTIVAÇÃO

- Qual foi a motivação para adoção deste tipo de saneamento e implantação de banheiros secos?

Ambiental e ecológica Financeira Falta de água

Outras

6. DIFICULDADES

- Quais os principais problemas e dificuldades relatados quanto ao uso dos banheiros secos?

Odor Manuseio (peso e volume) Mau estar/fobia

Outros:

7. EXIGÊNCIAS LEGAIS

- A construção do banheiro passou por aprovação em algum órgão municipal ou outro? SIM NÃO

Se sim,

Vigilância sanitária Cia. de saneamento Agên. reguladora

Outros:

Se sim, os órgão fizeram algum tipo de exigência específica?

8. CONTROLE AMBIENTAL DO COMPOSTO GERADO

- É feito algum tipo de monitoramento/análise para avaliação da qualidade do material produzido? ()SIM ()NÃO
Qual?

Responsável:

- A concepção e construção do banheiro foi realizada de acordo com algum projeto, documento, livro, manual? ()SIM ()NÃO

Se sim, especifique:

DESTAQUES:

CONSIDERAÇÕES FINAIS: