



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CIV 496–PROJETO FINAL DE CURSO II

BANHEIRO SECO: UMA ALTERNATIVA AO SANEAMENTO EM COMUNIDADES RURAIS E TRADICIONAIS

Projeto apresentado ao
Departamento de Engenharia Civil
como parte das exigências da
disciplina CIV 496 – Projeto Final de
Curso II

Estudantes:

Fernanda B. Almeida - 55953

Hugo Cesar Massari Leite - 55951

Juliana Reis Silva - 50782

Orientador:

Ana Augusta Passos Rezende
Departamento de Engenharia Civil/UFV

Viçosa, Junho de 2010

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente à nossas famílias, por todo apoio e carinho durante a nossa formação.

À professora Ana Augusta, por guiar, ensinar e acreditar neste trabalho.

Ao professor Meublis, que colaborou com seu exemplo de cidadania consciente.

Ao Simão e ao professor Matos do departamento de Engenharia Agrícola por viabilizar os procedimentos analíticos.

Aos nossos amigos, pelo companheirismo nesta etapa e em especial à Drica, ao Higor e ao Pepe, pelas dicas, auxílios e suportes.

*“Já mandamos o
homem para a lua,
transplantamos corações, mas
ainda não sabemos como lidar
com nossas fezes.”*

Índice

Lista de figuras.....	08
Lista de tabelas.....	09
1. Introdução.....	10
2. Justificativa.....	14
3. Objetivos.....	17
3.1. Objetivo Geral.....	17
3.2. Objetivos Específicos.....	17
4. Revisão Bibliográfica.....	18
4.1. Saneamento.....	18
4.1.2. Introdução e contextualização.....	18
4.1.3. Legislação e o Plano nacional de saneamento básico (PLANSAB).....	22
4.1.4. Saneamento rural e em comunidades tradicionais.....	23
4.1.4.1. Saneamento rural.....	23
4.1.4.2. Saneamento indígena.....	23
4.1.4.3. Saneamento em Comunidades Quilombolas.....	24
4.2. Banheiro seco.....	25
4.2.1. Introdução.....	25
4.2.2. Funcionamento.....	26
4.2.3. Tipos de Banheiro.....	27
4.2.3.1. Latrina ou Privada com Fossa Seca.....	27
4.2.3.2. Instalação.....	29
4.2.3.3. Manutenção.....	30
4.2.4. Latrina Externa ou Privada com Fossa Estanque	30
4.2.4.1. Instalação.....	30
4.2.4.2. Manutenção.....	30
4.2.5. Latrina com Fossa de Fermentação (Tipo Cynamon).....	30
4.2.5.1. Instalação.....	31
4.2.5.2. Manutenção.....	31
4.2.6. Banheiro de Compostagem Contínua.....	31
4.2.6.1. Instalação.....	32
4.2.6.2. Manutenção.....	33
4.2.7. Banheiro Compostável em Câmaras Múltiplas.....	34

4.2.7.1. Instalação.....	34
4.2.7.2. Manutenção.....	34
4.2.8. Banheiro com Coleta em Compartimentos Móveis.....	35
4.2.8.1. Instalação.....	35
4.2.8.2. Manutenção.....	36
4.3. Separação da Urina.....	36
4.4. Tratamento das Excretas.....	37
4.4.1. Urina.....	37
4.4.2. Fezes.....	38
4.4.2.1. Armazenamento.....	39
4.4.2.2. Tratamento com Calor.....	39
4.4.2.3. Compostagem.....	39
4.4.2.4. Tratamento Alcalino.....	39
4.4.2.5. Tratamento por Desidratação.....	40
4.5. Compostagem.....	40
4.5.1. Conceitos.....	40
4.5.2. Classificação do processo.....	41
4.5.3. Compostagem de fezes humanas.....	45
4.6. Águas Cinza.....	46
4.6.1. Definição.....	46
4.6.2. Características Quantitativas das Águas Cinza.....	46
4.6.3. Características Qualitativas das Águas Cinza.....	46
4.6.3.1. Aspectos Físicos.....	46
4.6.3.2. Aspectos Químicos.....	47
4.6.3.3. Aspectos microbiológicos.....	48
4.6.4. Tratamento das Águas Cinza.....	48
4.6.4.1. Tratamento Primário.....	49
4.6.4.2. Tratamento Secundário.....	49
4.6.4.3. Tratamento Terciário.....	49
4.6.4.4. Exemplos de Estações de Tratamento de Águas Cinza (ETACs).....	50
4.6.5. Estocagem das Águas Cinza.....	51
4.6.6. Reuso das Águas Cinza, Categorias e Limitações.....	52
4.6.7. Riscos do Reuso das Águas Cinza.....	53
4.6.8. Normas e Legislações Específicas.....	54
4.7. Wetlands.....	57

4.7.1. Definição.....	57
4.7.2. Wetlands Construídas.....	57
4.7.3. Classificação.....	58
4.7.4. Fluxos.....	58
4.7.5. Aplicações.....	58
4.7.6. Mecanismos de Remoção do Sistema de Wetland.....	59
4.7.7. Vantagens e Desvantagens da Utilização de Wetlands.....	59
4.8. Legislação Utilizada.....	60
5. Metodologia.....	61
5.1. Banheiro seco.....	61
5.2. Armazenamento da Urina.....	63
5.3. Água Cinza.....	64
5.3.1. Caracterização Quantitativa e Qualitativa.....	64
5.3.2. Caixa de gordura.....	65
5.3.3. Caixa de Passagem e Peneira.....	65
5.3.4. Wetland.....	66
5.3.4.1. Vegetação.....	67
5.3.5. Vala de Filtração seguida por Roda de Bananeira.....	68
5.4. Análise do Composto Gerado.....	69
5.4.1. Amostragem.....	69
5.4.2. Análise Microbiológica.....	69
5.4.3. Sólidos Totais, Fixos e Voláteis.....	69
5.4.4. Condutividade Elétrica e pH.....	69
5.4.5. Carbono Orgânico.....	70
5.4.6. Nutrientes.....	70
6. Resultados.....	71
6.1. Dimensionamento do Banheiro Seco.....	71
6.2. Dimensionamento do Armazenamento de Urina.....	73
6.3. Dimensionamento do Tratamento da Água Cinza.....	73
6.3.1. Dimensionamento da Caixa de Gordura.....	73
6.3.2. Dimensionamento da Caixa de Passagem e Peneira.....	75
6.3.3. Dimensionamento da Wetland.....	75
6.3.4. Dimensionamento da Vala de Filtração.....	75
6.4. Detalhamento da Unidade Sanitária.....	76
6.4.1. Descrição dos Componentes.....	76

6.4.2. Instruções.....	77
6.4.3. Sanitário Seco Pré-moldado.....	77
6.4.4. Materiais.....	77
6.4.5. Preparação da Massa.....	78
6.4.6. Confeção das placas.....	78
6.4.7. Manivela.....	80
6.4.8. Montagem do prisma.....	80
6.4.9. Assento Separador de Urina.....	81
6.4.10. Coleta da Urina.....	83
6.5. Construção da Wetland.....	84
6.5.1. Materiais.....	84
6.5.2. Instruções.....	84
6.6. Vala de Filtração.....	85
6.6.1. Materiais.....	85
6.6.2. Instruções.....	85
6.7. Estudo da Economia de Água.....	86
6.8. Orçamento.....	86
6.9. Características do composto gerado.....	88
7. Discussões.....	89
7.1. Aceitabilidade versus Implantação.....	89
7.2. Diferentes técnicas de tratamento.....	89
7.3. Cuidados com a compostagem.....	89
7.4. Manutenção dos Sistemas de Tratamento da Água.....	90
7.5. Vantagens versus Desvantagens.....	90
8. Conclusão.....	92
9. Referências Bibliográficas.....	93
10. Anexos.....	100

Lista de figuras

Figura 1. Porcentagem de cobertura mundial de saneamento básico em 2000. (OMS/UNICEF, 2000).....	18
Figura 2. Unidade sanitária Clivus multrum (adaptado de KARPE, 1980).....	26
Figura 3. Modelos de latrina com fossa seca (KARPE, 1980).....	28
Figura 4. Latrina com ventilação (adaptado de KARPE, 1980).....	28
Figura 5. Latrina com ventilação (JORDÃO & PESSÔA, 2004).....	29
Figura 6. Localização da latrina na propriedade (adaptado de KARPE, 1980).....	29
Figura 7. Latrina com fossa de fermentação (adaptado de KARPE, 1980).....	31
Figura 8. Unidade sanitária <i>Clivus multrum</i> (adaptado de WINBLAD <i>et al.</i> , 2004).....	32
Figura 9. Croqui esquemático de um bason (adaptado e van LENGEN, 2004).....	33
Figura 10. Compartimentos móveis para coleta das fezes (GTZ, 2006b).....	35
Figura 11. Assento separador de urina em porcelana (GTZ, 2006a).....	36
Figura 12. Principais resíduos orgânicos (PEREIRA NETO, 2007).....	41
Figura 13. Etapas de uma estação de tratamento de esgotos (CAMPOS, 1999).....	50
Figura 14. Fluxograma do sistema de tratamento de água cinza por wetland.....	67
Figura 15. Fluxograma do sistema de tratamento de água cinza por vala de filtração seguida de roda de bananeira.....	69
Figura 16. Dimensões das placas pré-moldadas.....	79
Figura 17. Confecção das placas pré-moldadas do banheiro seco.....	79
Figura 18. Chapa de zinco (van LENGEN, 2004).....	81
Figura 19. Esquema para o chapéu do tubo (van LENGEN, 2004).....	81
Figura 19. Confecção passo-a-passo do assento separador de urina (MORGAN, 2007).....	83

Lista de tabelas

Tabela 1. Porcentual de moradores em domicílios particulares permanentes com abastecimento de água, por tipo de abastecimento e situação do domicílio - Brasil, 1992/2008.....	19
Tabela 2. Percentual de moradores em domicílios particulares permanentes por tipo de esgotamento sanitário e situação dos domicílios - Brasil, 1992/2008.....	21
Tabela 3. Porcentual de moradores em domicílios particulares permanentes urbanos com acesso a serviços adequados de água e esgoto - Brasil, 1992/2008.....	21
Tabela 4. Armazenamento da urina.....	38
Tabela 5. Principais classificações do processo de compostagem.....	42
Tabela 6. Microrganismos aeróbios envolvidos no processo de compostagem.....	42
Tabela 7. Parâmetros para compostagem.....	45
Tabela 8. Exemplos de estações de tratamento de águas cinzas.....	51
Tabela 9. Normas internacionais para o uso de água em descarga sanitária.....	55
Tabela 10. Normas brasileira NBR 13 969/97 e padrões propostos no manual da FIESP (SAUTCHUK et al., 2005) para reuso de água em descarga sanitária.....	56
Tabela 11. Legislações que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água.....	56
Tabela 12. Geração de fezes e urina humana.....	62
Tabela 13. Caracterização das fezes, urina humana e serragem.....	62
Tabela 14. Características qualitativas das águas cinza.....	64
Tabela 15. Geração de água cinza segundo diversos autores.....	65
Tabela 16. Resíduos per capita.....	71
Tabela 17. Caracterização da serragem.....	72
Tabela 18. Orçamento do banheiro compostável.....	86
Tabela 19 Orçamento da vala de filtração.....	87
Tabela 16. Orçamento da wetland.....	87
Tabela 17. Comparação entre o composto analisado e húmus de minhoca	88

1. Introdução

A evolução da humanidade trouxe inúmeros benefícios aos homens que habitam o planeta, sendo acompanhada de inovações que marcaram a história. O conjunto de algumas destas permitiram o aumento da população e a aglomeração em centros urbanos cada vez maiores. O surgimento das indústrias e do sistema capitalista foram o marco inicial de um estilo de vida consumista e explorador dos recursos naturais. No início os impactos ambientais eram imperceptíveis e desprezados, mas com a continuidade deste modelo de desenvolvimento, ficou evidente a necessidade de intervenção a fim de preservar o meio ambiente. Atualmente, a questão ambiental é, sem dúvida, um dos assuntos mais debatidos em todo o mundo.

A degradação ambiental é parte de um ciclo que tem como base estrutural o sistema capitalista e está enraizado desde a produção de alimentos até a comercialização dos mais diversos bens de consumo. Na agricultura temos o cultivo de monoculturas em latifúndios que utilizam de grandes quantidades de adubos químicos e agrotóxicos, degradando imensas áreas, avançando cada vez mais sobre os diversos ecossistemas naturais. Os grandes produtores subsidiados pelo governo acabam por inviabilizar a agricultura familiar culminando no êxodo rural e no aumento desordenado das cidades. Os resíduos gerados nos centros urbanos são, em sua maioria, lançados no solo e nos cursos d'água sem qualquer tipo de tratamento ou ciclagem dos mesmos. Os meios de comunicação incentivam o consumo exacerbado que move as indústrias e empresas as quais exploram os recursos naturais de forma indiscriminada. Neste contexto, têm surgido problemas de saúde pública devido à disseminação de poluentes tanto no ar, como no solo e na água, além do estilo de vida desigual e competitivo ao qual a população está submetida.

O saneamento ambiental é uma das medidas que tenta então, minimizar e controlar alguns dos impactos ambientais. Entende-se por saneamento o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2006).

A importância do saneamento e sua associação à saúde humana remontam às mais antigas culturas. O saneamento ambiental deve focalizar a integração mundial para o

desenvolvimento sustentável, garantindo a sobrevivência da biodiversidade e questões prioritárias como o bem-estar da população e a preservação ambiental. A utilização do saneamento como instrumento de promoção da saúde pressupõe a superação dos entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que têm dificultado a extensão dos benefícios aos residentes em áreas rurais, municípios e localidades de pequeno porte.

Os recursos hídricos estão diretamente ligados ao saneamento, e a água constitui um elemento essencial à vida. O homem necessita de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atender suas necessidades, para proteção de sua saúde e para propiciar o desenvolvimento econômico. A água abrange quase quatro quintos da superfície terrestre; desse total, 97,0% referem-se aos mares e os 3% restantes às águas doces. Entre as águas doces, 90,0% são formadas por geleiras, vapor de água e lençóis existentes em grandes profundidades (mais de 800m), não sendo economicamente viável seu aproveitamento para o consumo humano. Em consequência, constata-se que somente 10,0% do volume total de água doce do planeta pode ser aproveitado para nosso consumo, sendo 3,0% deste volume encontrado em fontes de superfície (rios, lagos) e o restante, ou seja, 97,0%, em fontes subterrâneas (poços e nascentes). Sendo que grande parte destes já está poluída e contaminada (FUNASA, 2006).

A maioria dos sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto presente nas cidades utiliza grande quantidade de água para transportar os dejetos até um centro de tratamento no final da rede coletora. Visto a escassez e o modo de utilização deste recurso, alguns autores têm apostado em tecnologias inovadoras e simplificadas de tratamento próximo a fonte geradora dos resíduos.

O banheiro seco é uma tecnologia já consagrada em diversos países do mundo e, basicamente, utiliza processos para tratar e sanitizar os dejetos humanos que reduzem consideravelmente, ou totalmente, o uso de água para o transporte, armazenamento e tratamento destes resíduos (ALVES, 2009). Em outras palavras, estes projetos estão relacionados a dois princípios básicos do tratamento dos resíduos: (1) lidar com o problema o mais próximo possível da fonte e (2) evitar efluentes diluídos, isto é, em um lugar onde seja possível manter o material nitrogenado em uma forma suficientemente sólida ou concentrada para ser subsequentemente utilizada em alguma atividade humana apropriada, como a agricultura (DAVISON *et al.*, 2006 citado por ALVES, 2009).

As águas cinza são aquelas provenientes dos lavatórios, chuveiros, tanques e máquinas de lavar roupa e louça. Porém, quanto ao conceito de água cinza, observa-se que não há um

consenso internacional (FIORI, 2006). As águas cinza contêm componentes decorrentes do uso de sabão ou de outros produtos para lavagem do corpo, de roupas ou de limpeza geral. Os estudos realizados no Brasil e no exterior indicam que as águas cinza contêm elevados teores de matéria orgânica, de sulfatos, além de turbidez e de moderada contaminação fecal (GONÇALVES, 2006).

Reuso da água é a reutilização desta, que, após sofrer tratamento adequado, destina-se a diferentes propósitos, com o objetivo de se preservar os recursos hídricos existentes e garantir a sustentabilidade. É a utilização dessa substância, por duas ou mais vezes, após tratamento, para minimizar os impactos causados pelo lançamento de esgotos sem tratamento nos rios, reaproveitamento que também ocorre espontaneamente na natureza através do “ciclo da água” (FIORI, 2006).

As tecnologias de saneamento convencionais excluem grande parte da população, como aquelas de baixa renda ou residentes em locais afastados dos centros urbanos. Contudo, as sociedades indígenas, grupos rurais, quilombolas e assentamentos, assim como comunidades pertencentes às metrópoles, cidades médias e pequenas, têm suas lógicas internas próprias, vinculadas à visão de mundo, aos mitos, às tradições e à estrutura familiar. Essas realidades culturais próprias podem parecer estranhas para aqueles que não participam desses grupos sociais, mas por outro lado, são muito importantes na promoção da saúde e do saneamento, pois sustentam conceitos importantes para esses campos, como o de saúde/saneamento, sujo/limpo, salubridade, entre outros (RECESA, 2009).

Comunidades tradicionais são grupos culturalmente diferenciados e que se reconhecem como tais, que possuem formas próprias de organização social, que ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas geradas e transmitidas pela tradição (RECESA, 2009).

Os modos de vida de um determinado grupo, ou sociedade podem ser percebidos em suas ações, na forma de organização social e do trabalho, na forma de se relacionar com o meio ou mesmo em aspectos mais visíveis, como na forma de vestir, por exemplo. São particularidades que terminam por identificar ou diferenciar um dado povo de outro.

As comunidades tradicionais e rurais são aquelas menos atendidas pelos sistemas convencionais de saneamento. Sabendo que estes locais apresentam uma diversidade cultural e costumes diferenciados, é necessário o estudo de tecnologias populares de baixo custo que respeitem a tradição do povo em questão.

O presente trabalho foca-se então, no planejamento de uma unidade sanitária, voltada para as comunidades não atendidas ou com precários sistemas de saneamento. Buscando a economia de água, o reaproveitamento dos dejetos humanos (como composto orgânico na agricultura), a reutilização das águas cinza e principalmente, a manutenção da qualidade hídrica, evitando a contaminação dos mananciais próximos, uma vez que estes são fonte direta de uso, por parte das comunidades, para os mais variados fins (lazer, abastecimento, irrigação).

2. Justificativa

A maioria dos problemas sanitários que afetam a população mundial está diretamente relacionada ao meio ambiente. Como é o caso da diarreia que atinge mais de quatro bilhões de pessoas por ano. Entre as causas dessa doença destacam-se as condições inadequadas de saneamento (FUNASA, 2006).

Atualmente, cerca de 90% da população urbana brasileira é atendida com água potável e 60% com redes coletoras de esgotos. O déficit, ainda existente, está localizado, basicamente, nos bolsões de pobreza, ou seja, nas favelas, nas periferias das cidades, na zona rural e no interior (FUNASA, 2006).

Desde a Grécia antiga o homem já transportava suas excretas para longe das residências ou as enterravam na tentativa de se livrar delas. Esta maneira de lidar com os dejetos humanos, recolhendo-os em um lugar longe dos aglomerados de pessoas, gerou a concepção de tratamento centralizado do esgoto. Esta idéia equivocada de que a excreta humana é desperdiçada sem nenhum propósito resultou em sistemas de tratamento de “fim de rede”. Isto é, sistemas onde o esforço para o tratamento dos dejetos é concentrado no fim da rede de coleta dos mesmos. Nestes sistemas a matéria é vista através de um olhar linear ao invés de ser tratada como na natureza, em ciclos (WERNER, 2004 citado por ALVES, 2009).

No mundo hoje, estima-se que são investidos anualmente, para criar e modernizar os sistemas de rede de esgoto, aproximadamente US\$30 bilhões e que até o ano de 2025 estes sistemas irão custar anualmente em torno de US\$75 bilhões (excluindo os custos de manutenção). Levar as excretas para longe vem se tornando cada vez mais caro e menos aplicável para os países pobres (ESREY *et al.*, 2001). Além disso, são produzidos 50L de fezes e 500L de urina por ano por pessoa. Um banheiro de descarga a base de água convencional usa um adicional de 15.000L de água potável por pessoa por ano. Com isto, estima-se que 20 a 40% do consumo de água em cidades que utilizam o sistema centralizado de esgoto seja devido à água do banheiro (GARDNER, 1997 citado por ALVES, 2009). Fazendo com que o sistema descentralizado seja insustentável para lugares onde a água é um recurso escasso.

Os sistemas convencionais de tratamento de esgoto se baseiam na percepção de que as fezes são repulsivas e não devem ser manuseadas (STENSTROM, 1997) além de serem vistas apenas como rejeitos, devendo ser descartadas (ESREY *et al.*, 2001). Tais sistemas misturam pequenas quantidades de substâncias potencialmente danosas com grandes quantidades de água, multiplicando a magnitude do problema. Somado a isso, tanto a construção quanto a

manutenção e operação de tais sistemas são extremamente caros. Mesmo em países desenvolvidos, tais sistemas são fortemente subsidiados, com chances realmente pequenas de se tornarem economicamente sustentáveis algum dia (HAUFF & LENS, 2001). Estes problemas afetam diretamente o setor agrícola, uma vez que os nutrientes produzidos no campo (na forma de comida) são transportados para as cidades (em um fluxo de mão única) e depois descartados como resíduos. Atualmente, a contínua perda de nutrientes nos campos é compensada pela utilização de fertilizantes minerais de origem fóssil (VINNERÅS *et al.*, 2004).

De acordo com JÖNSSON (2001), todo o nitrogênio, fósforo e potássio presentes nas fezes e urina podem ser reciclados para uso agrícola, economizando grande quantidade de energia, visto que os fertilizantes químicos podem ser substituídos pelas excretas. Além disso, estima-se que as reservas de fósforo (passíveis de extração) se encontrarão extinguidas nos próximos 100 anos (STEEN, 1998) e as de enxofre (necessárias para a produção de adubos nitrogenados), em menos de 30 anos (ECOSANRES, 2003).

Segundo LIMA (1995), na maioria das culturas, a fertilização do solo considera apenas a reposição da fração inorgânica (nitrogênio, fósforo e potássio), enquanto os outros componentes, como a fração orgânica, os micronutrientes, o poder quelante, a capacidade de troca catiônica e o poder de tamponamento, presentes no composto orgânico, não são levados a termo.

Ao longo do tempo, as práticas agrícolas de ciclagem de nutrientes, geralmente utilizadas por pequenos agricultores foram substituídas pelas técnicas de produção em larga escala e modificaram os costumes locais.

Cada povo desenvolve sua forma própria de se relacionar com o meio, de produzir conhecimentos e suas tecnologias. Os materiais para construir, utilizados pelas comunidades indígenas, quilombolas, ribeirinhas e comunidades rurais, pressupõem uma relação com a natureza (RECESA, 2009).

Temos visto grandes registros de transformações pelas quais passam os costumes, principalmente pelos conflitos estabelecidos quando, acreditando-se que “uma” determinada cultura é mais avançada, busca-se submeter a “outra” a um estado de subordinação, especialmente se aquela domina a “tecnologia”. Problemas oriundos do encontro e conflitos entre culturas são antigos e tem sido enfrentados e resolvidos, geralmente, valendo-se de perspectivas etnocêntricas, que pretendem impor o próprio ponto de vista como o único válido (RECESA, 2009).

Assim, sistemas ecológicos de saneamento são apropriados para evitar os problemas dos sistemas convencionais, reconhecendo as excretas humanas como recursos (não mais como resíduo), os quais são passíveis de reutilização (WERNER *et al.*, 2004). Além de possibilitar a adequação das tecnologias aos diferentes contextos e permitir maior participação e autonomia popular nos locais de implantação e manutenção.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Geral

Abordagem de uma unidade sanitária que utilize como tecnologias o banheiro compostável e o reuso das águas cinza, visando implantação em comunidades rurais e tradicionais.

3.2. Objetivos Específicos

- Aliar o conhecimento científico à formação de uma visão holística da problemática ambiental.
- Divulgar o banheiro seco como uma tecnologia viável no saneamento.
- Estudar a economia de água no processo.
- Estudar a viabilidade do composto como fertilizante orgânico, através de análises químicas e microbiológicas.
- Fazer uma comparação entre os diversos tipos de banheiros.
- Dimensionar e orçar a unidade sanitária proposta de forma que apresente menor custo.
- Levantar e dimensionar a destinação adequada para a água cinza da residência.
- Confeccionar uma cartilha informativa sobre práticas de construção, manutenção e utilização da unidade sanitária.

4. Revisão Bibliográfica

4.1. Saneamento

4.1.2. Introdução e contextualização

De acordo com a FUNASA (2006), saneamento ambiental é o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural.

O problema da água e do saneamento é o centro não somente dos problemas relacionados à segurança ambiental, mas também à segurança alimentar e saúde. Hoje, estima-se que 41% da população global, ou seja, 2,6 bilhões de pessoas, não possuam acesso ao saneamento básico e 42.000 pessoas morrem toda semana por consumirem água poluída por material fecal (RAMANI, 2008 citado por ALVES, 2009). Cerca de 90% do esgoto no mundo é despejado no meio ambiente com pouco ou nenhum tratamento (ESREY *et al.*, 2001). A figura 1 ilustra a situação sanitária para cada país no mundo.

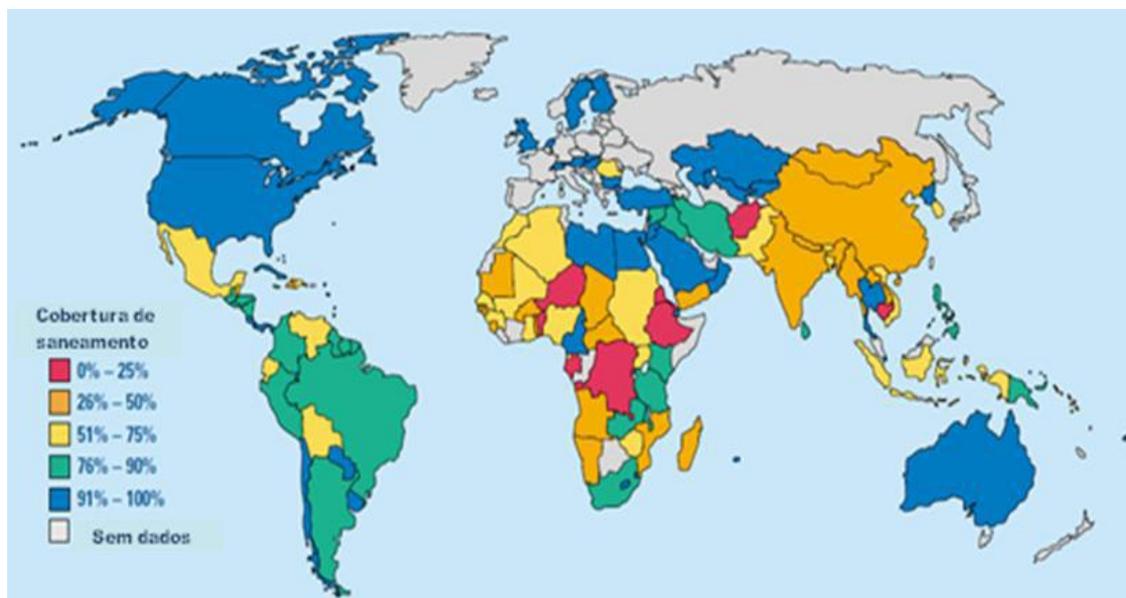


Figura 20. Porcentagem de cobertura mundial de saneamento básico em 2000. (OMS/UNICEF, 2000)

Segundo o Relatório de Acompanhamento do Brasil nos Objetivos do Milênio (2010), o Brasil tem dado importantes passos para a melhoria das condições de saneamento ambiental no país nos últimos anos. O percentual da população urbana com abastecimento de água com canalização interna proveniente de rede geral passou de 82,3%, em 1992, para 91,6%, em

2008. Nesse sentido, nas áreas urbanas o Brasil já teria alcançado a meta referente à água potável no ano de 2007, considerando-se o conjunto do país. Contudo, quando desagregamos os dados por unidades da federação e para a zona rural, vemos que ainda há muito espaço para a melhoria dos indicadores e o alcance dessa meta ainda não é uma realidade considerando todos os recortes geográficos e socioeconômicos, com as desigualdades regionais e socioeconômicas permanecendo ainda em patamares elevados. A tabela 1 mostra o percentual da população urbana e rural atendida com abastecimento de água e os diversos tipos de abastecimento.

Tabela 18. Porcentual de moradores em domicílios particulares permanentes com abastecimento de água, por tipo de abastecimento e situação do domicílio - Brasil, 1992/2008.

Ano	Tipo de canalização									
	Rede geral				Poço ou nascente				Outro tipo ou sem declaração	
	Com canalização interna		Sem canalização interna		Com canalização interna		Sem canalização interna			
	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural
1992	82,3	9,1	6,0	3,3	3,9	26,0	3,8	37,9	4,0	23,8
1993	83,0	9,5	6,0	4,7	4,0	26,1	3,4	35,4	3,6	24,3
1995	84,5	11,5	5,3	5,2	4,1	27,9	3,0	33,6	3,1	21,8
1996	87,1	15,8	3,5	4,2	4,2	28,4	3,1	32,8	2,1	18,8
1997	86,6	14,7	4,0	5,0	4,2	29,9	2,5	30,6	2,7	19,9
1998	87,8	16,9	3,6	5,4	4,2	29,7	2,1	25,4	2,3	22,6
1999	88,5	18,8	3,4	6,2	4,2	30,4	2,0	24,6	1,9	20,0
2001	87,7	15,5	3,2	5,4	4,8	33,0	2,1	25,4	2,1	20,6
2002	88,5	17,8	2,8	4,8	5,1	34,0	1,9	24,0	1,7	19,4
2003	88,8	19,6	2,6	6,1	5,0	34,3	2,0	20,9	1,7	19,2
2004	89,5	20,5	2,5	5,5	4,9	35,0	1,7	21,5	1,5	17,5
2005	89,7	22,1	2,2	5,7	5,3	34,8	1,5	20,4	1,2	16,9
2006	90,9	14,0	1,7	6,5	5,0	40,5	1,4	22,7	1,0	16,3
2007	91,2	25,1	1,3	4,1	5,0	37,8	1,4	18,7	1,0	14,3
2008	91,6	27,4	1,2	5,2	5,1	37,5	1,2	15,4	0,9	14,5

Fonte: Relatório de Acompanhamento do Brasil nos ODM, 2010.

Em termos estaduais, a melhor cobertura de água é encontrada no Estado de São Paulo, onde 98,9% da população urbana são servidas por água de rede geral canalizada em pelo menos um cômodo do domicílio. O pior desempenho nesse quesito é encontrado no Estado do Pará, onde pouco mais da metade dos moradores em áreas urbanas (51,5%) possui acesso a esse tipo de serviço. Nas áreas rurais, embora tenhamos tido um avanço significativo na proporção da população abastecida por rede geral, com ou sem canalização interna – que passou de 12,4%, em 1992, para 32,6%, em 2008 – o percentual de cobertura por rede pública ainda é bem inferior ao das áreas urbanas, não tendo sido possível lograr o alcance da meta

para esse recorte espacial. Na zona rural, a água utilizada pelas famílias ainda provém principalmente de poços, nascentes ou de outro tipo de fonte.

A oferta insuficiente de água configura-se em importante problema socioambiental, sobretudo para os municípios do semi-árido brasileiro, devido ao fenômeno da seca, causada pela conjunção de fatores como o baixo índice pluviométrico, a irregularidade da distribuição das chuvas durante o ano e a elevada taxa de evapotranspiração.

A cobertura dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil, detalhada na tabela 2, embora tenha aumentado gradualmente ao longo da última década e meia, ainda é bem inferior ao acesso à água potável. Nas áreas urbanas, a cobertura da coleta de esgotamento sanitário por rede geral ou fossa séptica aumentou mais de 14% desde 1992 e já alcançava 80,5% da população em 2008. Apesar do aumento da cobertura, a falta de uma solução adequada para o esgoto doméstico ainda atinge cerca de 31 milhões de moradores nas cidades. À semelhança do que ocorre com a cobertura da água, também se verifica uma forte desigualdade espacial e social no acesso aos serviços de esgotamento sanitário. Na escala regional, os maiores déficits de serviços de esgoto ocorrem no Norte, Centro-Oeste e Nordeste.

A unidade da federação com melhor indicador de cobertura no que se refere aos serviços de esgotamento sanitário é o Distrito Federal, onde 98,2% da população urbana são atendidas por rede geral de esgoto ou fossa séptica. Os estados com menores coberturas desses serviços nas áreas legalmente designadas como urbanas são Mato Grosso do Sul (26,8%) e Amapá (35,6%). Nas áreas rurais, o percentual de cobertura por rede geral de esgotos ou fossa séptica ligada, ou não, à rede geral subiu de 10,3%, em 1992, para 23,1%, em 2008. Entretanto, a maioria da população do campo ainda possui condições inadequadas no que se refere ao esgotamento sanitário: 46,6% da população são atendidas por fossas rudimentares, 5,6% por vala, 3,1% da população lança os seus esgotos diretamente nos rios, lagos ou mar, 0,6% adota outro tipo de solução não adequada e 21% não possui nenhum tipo de esgotamento sanitário (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, 2010).

Tabela 19. Percentual de moradores em domicílios particulares permanentes por tipo de esgotamento sanitário e situação dos domicílios - Brasil, 1992/2008.

Ano	Tipo de acesso a esgoto															
	Com esgotamento sanitário, por tipo															
	Rede coletora		Fossa séptica ligada à rede		Fossa séptica não ligada		Fossa rudimentar		Vala		Direto para rio, lago ou mar		Outro tipo		Não tinham	
	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural	urbana	rural
1992	45,6	3,0	8,8	0,8	11,7	6,5	22,9	32,7	2,0	3,0	2,5	4,4	0,3	0,6	6,2	49,0
1993	45,4	3,1	9,8	0,8	12,6	7,3	21,9	34,0	2,2	3,4	2,4	4,1	0,5	1,0	5,2	46,4
1995	45,9	3,2	9,8	1,1	12,7	8,8	22,0	35,0	1,9	3,9	2,5	4,1	0,5	1,7	4,6	42,1
1996	46,8	3,5	12,4	1,7	13,1	12,1	19,4	35,4	1,5	3,9	2,5	3,7	0,1	0,4	4,2	39,2
1997	47,6	3,5	11,5	1,2	12,6	9,8	20,1	39,0	1,7	3,4	2,5	3,9	0,1	0,7	3,9	38,6
1998	49,3	4,6	11,8	1,4	12,1	8,9	19,3	39,9	1,8	4,0	2,2	4,6	0,1	0,5	3,2	36,3
1999	50,6	4,5	10,5	1,2	12,7	10,0	19,5	41,2	1,6	3,6	2,0	4,2	0,1	0,7	3,0	34,6
2001	50,9	3,1	10,2	0,9	12,9	9,7	18,8	40,5	1,6	4,7	2,2	4,1	0,2	0,8	3,4	36,2
2002	51,5	3,7	10,6	1,2	12,7	11,0	18,2	40,7	1,6	6,0	2,4	3,9	0,1	0,6	2,9	33,0
2003	53,3	3,6	9,6	1,0	12,7	12,4	18,0	42,9	1,4	5,9	2,4	3,7	0,1	0,8	2,4	29,7
2004	53,9	3,9	9,2	1,2	12,8	12,7	18,2	44,6	1,4	4,3	2,3	3,8	0,1	0,5	2,1	28,9
2005	54,1	4,4	9,4	0,9	13,5	12,8	17,2	45,3	1,5	5,3	2,2	3,6	0,1	0,5	1,9	27,2
2006	54,4	4,7	9,9	1,2	13,5	14,2	16,4	45,8	1,5	4,6	2,4	3,2	0,1	0,5	1,7	25,7
2007	57,2	5,6	8,7	1,4	14,9	16,7	14,2	44,4	1,3	5,4	1,9	3,5	0,1	0,5	1,6	22,4
2008	58,9	6,5	7,5	1,1	14,1	15,5	14,9	46,6	1,4	5,6	1,9	3,1	0,1	0,6	1,2	21,

Fonte: Relatório de Acompanhamento do Brasil nos ODM, 2010.

Considerando-se o acesso simultâneo aos dois tipos de serviço de saneamento básico, o percentual da população urbana servida por água canalizada de rede geral no interior do domicílio e esgotamento sanitário de rede geral ou fossa séptica passou de 62,3%, em 1992, para 76,0%, em 2008. Regionalmente, os melhores indicadores são encontrados nas regiões Sudeste e Sul do país, com níveis de adequação de 90,6% e 78,4%, respectivamente. A tabela 3 mostra o percentual da população atendida por serviços de água e esgoto.

Tabela 20. Percentual de moradores em domicílios particulares permanentes urbanos com acesso a serviços adequados de água e esgoto - Brasil, 1992/2008.

Ano	Região					Brasil Urbano
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	
1992	31,5	39,9	79,7	62,5	37,0	62,3
1993	34,3	41,3	80,7	63,5	39,3	63,5
1995	33,7	41,9	82,8	65,4	38,5	64,7
1996	34,1	49,0	85,3	70,5	42,2	68,6
1997	36,5	45,6	86,1	68,7	45,5	68,3
1998	36,5	46,6	87,8	70,8	46,8	69,7
1999	39,2	48,1	87,8	73,8	44,3	70,5
2001	34,5	52,1	86,7	72,9	45,0	69,8
2002	37,6	51,8	87,4	75,5	45,6	70,6
2003	36,7	52,6	87,9	76,8	47,7	71,3
2004	40,5	53,8	88,5	78,8	43,3	72,0
2005	41,0	55,6	88,5	78,2	47,1	72,6
2006	41,1	57,3	89,6	79,3	47,0	73,8
2007	44,2	63,6	90,7	81,1	48,9	76,2
2008	45,2	64,2	90,6	78,4	50,4	76,0

Fonte: Relatório de Acompanhamento do Brasil nos ODM, 2010.

4.1.3. Legislação e o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)

Conforme determina a Lei 11.445/07, a Lei do Saneamento Básico, o plano nacional de saneamento básico será elaborado pela União, sob a coordenação do Ministério das Cidades num processo que deverá incluir os diversos órgãos federais responsáveis pelas políticas públicas para o saneamento, e segundo a Resolução 33 do Conselho das cidades, deverá ser acompanhado em todas as etapas pelo Comitê Técnico de Saneamento do Conselho das Cidades. O plano tem como macroobjetivo a universalização dos serviços de saneamento básico e o alcance de níveis crescentes deste no território nacional, observando a compatibilidade com os demais planos e políticas da União.

A Lei 11445/2007 prevê no artigo 52 que o plano deve conter, entre outros itens: (a) Os objetivos e metas nacionais e regionalizadas, de curto, médio e longo prazos, para a universalização dos serviços de saneamento básico e o alcance de níveis crescentes de saneamento básico no território nacional, observando a compatibilidade com os demais planos e políticas públicas da União; (b) as diretrizes e orientações para o equacionamento dos condicionantes de natureza político-institucional, legal e jurídica, econômico- financeira, administrativa, cultural e tecnológica com impacto na consecução das metas e objetivos estabelecidos; e (c) a proposição de programas, projetos e ações necessários para atingir os objetivos e as metas da Política Federal de Saneamento Básico, com identificação das respectivas fontes de financiamento. O primeiro obstáculo identificado para o cumprimento desta Lei “Federal”, que determina a elaboração de um plano “nacional”, o governo federal não ter competência constitucional para execução dos serviços de saneamento básico, cabendo aos titulares dos serviços, principalmente aos municípios, esta competência. Os titulares podem, no limite, dispensar o apoio e a orientação federais. Outro fator destacado é que não existe um sistema nacional de Saneamento - como existe na Saúde, Educação ou Recursos Hídricos - que seja instrumento de integração e articulação dos vários níveis de governo e que estabeleça vínculos entre eles. Portanto, o governo federal não dispõe de instrumentos para induzir a ação dos demais agentes para cumprir as metas de universalização.

Por outro lado, o PLANSAB, assim como toda a política de saneamento, deve orientar-se pelo princípio consolidado no Art. 23 da Constituição Federal que atribui à União, Estados, Distrito Federal e Municípios a competência comum na promoção de programas para a melhoria do Saneamento Básico. Neste sentido, a discussão com os especialistas chegou ao consenso de que o Plano Nacional de Saneamento Básico, o PLANSAB, deve ter abrangência e alcance nacional, ser o eixo central da política federal para o saneamento básico.

Portanto, deverá ter caráter vinculante em relação aos recursos, programas e ações de saneamento da União e papel orientador junto aos demais entes da federação e demais agentes do saneamento básico, promovendo a articulação daqueles para a implementação da Lei 11.445/07. O Plano deverá dialogar com o sistema de planejamento municipal e estadual e deverá estimular a adesão à política, inclusive pela vinculação do recebimento de recursos da União, à adesão e à execução da política estabelecida na Lei 11445 de 2007.

4.1.4. Saneamento rural e em comunidades tradicionais

4.1.4.1. Saneamento rural

A cobertura do saneamento no meio rural não chega à metade da cobertura da zona urbana, sendo que 80% das pessoas que carecem de saneamento apropriado (2 bilhões de pessoas) vivem nas zonas rurais (OMS/UNICEF, 2000).

As tensões e os fracassos gerados por programas de saúde pública direcionados a populações rurais em diversas regiões do mundo foram diagnosticados por autoridades públicas, especialistas e, em particular, por antropólogos e sociólogos, durante as décadas de 1940 e 1950. Essas avaliações ocorreram especialmente no denominado “terceiro mundo”, no contexto da Guerra Fria, em período também marcado por propostas de modernização.

Educação sanitária, saneamento, profilaxia, medicina curativa e medicina preventiva passam a ser percebidas como ações cuja eficiência dependia diretamente do profundo entendimento de um universo mais amplo e complexo do que a realidade concreta, ou seja, o universo cultural. Neste ponto reside a posição central dos cientistas sociais no planejamento das ações administrativas voltadas especialmente para a população rural brasileira: o seu conhecimento das questões de natureza sociocultural deveria antecipar e orientar quaisquer intervenções (MAIO, 2009).

4.1.4.2. Saneamento indígena

O Ministério da Saúde, por intermédio da FUNASA, assumiu em agosto de 1999 a responsabilidade de estruturar o Subsistema de Atenção à Saúde Indígena, integrado ao Sistema Único de Saúde (SUS).

Em 23 de setembro de 1999 foi promulgada a Lei nº 9.836, que dispôs sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde dos povos indígenas, complementando a Lei Orgânica da Saúde - Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Essa lei

passou a regulamentar a organização e o funcionamento dos serviços de saúde e de saneamento em áreas indígenas, instituindo o Subsistema de Atenção à Saúde Indígena.

A partir dessa medida, a atenção integral à saúde dos povos indígenas, respeitada as suas diversidades étnicas, geográficas e socioculturais, passa a ser uma política governamental. A população indígena tem acesso adequado às ações de saúde, com assistência especializada, cumprindo as diretrizes estabelecidas na Constituição. O Subsistema tem como objetivo a melhoria da qualidade de vida de toda a população indígena brasileira, composta por mais de 350 mil pessoas, pertencentes a cerca de 210 povos, com 170 mil línguas identificadas (FUNASA, 2002).

Os procedimentos amplamente debatidos resultaram na Portaria nº 479, da FUNASA, de 13 de agosto de 2001, e estão apresentados nos anexos “Diretrizes para projetos de abastecimento de saúde em áreas indígenas” e “Diretrizes para projetos de abastecimento de água, melhorias sanitárias e esgotamento sanitário em áreas indígenas”. Esses instrumentos, além de normatizarem importantes questões tecnológicas, permitem a otimização de projetos e o emprego de tecnologias apropriadas às diversas realidades indígenas.

4.1.4.3. Saneamento em Comunidades Quilombolas

De acordo com a FUNASA, as comunidades quilombolas são grupos étnicos, predominantemente constituídos pela população negra rural ou urbana, que se auto definem a partir das relações com a terra, o parentesco, o território, a ancestralidade, as tradições e práticas culturais próprias.

Estima-se que no Brasil existem mais de três mil comunidades quilombolas, no entanto, até 2007, a Fundação Cultural Palmares (FCP) emitiu a certidão de auto-reconhecimento para 1.170 comunidades remanescentes de quilombos.

Quanto às questões inerentes a identificação, reconhecimento, delimitação e titulação das terras ocupadas pelos quilombolas, ficaram a cargo do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), por meio do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), por força do Decreto nº 4.887, de 20 de novembro de 2003.

Atualmente, 83 comunidades já receberam o título definitivo das terras e 483 encontram-se em processo de titulação.

Com o lançamento do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), o governo brasileiro, por meio da Funasa, priorizou as ações de saneamento para as comunidades

remanescentes de quilombos, destacando o primeiro eixo de atuação para atendimento a essas comunidades, tendo como meta atender a 380 comunidades no período de 2007 a 2010.

4.2. Banheiro seco

4.2.1. Introdução

Também chamado de sanitário compostável (*composting toilet*), banheiro biológico (*biological toilet*) e banheiro ecológico (*ecological toilet*), o banheiro seco (*dry toilet*) é uma unidade sanitária que não precisa de água para o seu funcionamento básico (BERGER, 2010 e MORGAN, 2007).

Ou seja, é um sistema sanitário de tratamento a seco dos dejetos humanos, funcionando como uma alternativa eficiente e de baixo custo para a solução de problemas de saneamento básico (van LENGEN, 2004).

O conceito de “banheiro ecológico” surge com a unidade sanitária *clivus multrum* idealizada por R. Lindstrom, em 1939, na Suécia (figura 2). No início, a produção se dava em escala industrial e o mesmo era confeccionado em fibra-de-vidro, sendo destinado seu uso aos parques nacionais e regiões de difícil acesso (van LENGEN, 2004). Era aconselhado em tais áreas por se tratar de um modelo cujo funcionamento independe de rede de abastecimento de água ou de coleta de esgoto.

Atualmente, a adoção de banheiros secos visa o pré-tratamento dos efluentes domésticos, através da compostagem dos dejetos humanos, implicando em estações de tratamento e coleta menores ou até mesmo inexistentes, uma vez que o tratamento do esgoto doméstico pode se dar de uma forma mais simples. Assim, há uma diminuição no custo do tratamento, sendo aconselhado seu uso até mesmo em áreas onde há rede de esgoto (BERGER, 2010). A maioria dos sistemas é fácil de usar e manter, portanto tais banheiros podem ser aplicados em praticamente todas as regiões do mundo, sendo desde soluções de baixo-custo e produção caseira, até produtos manufaturados de alta tecnologia.

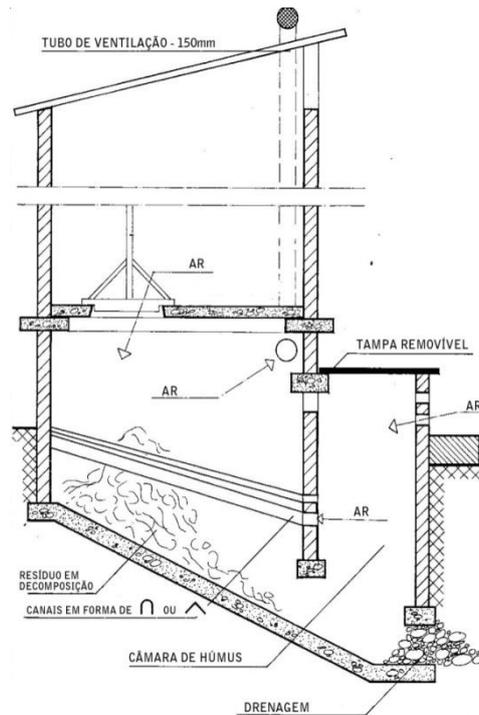


Figura 21. Unidade sanitária *Clivus multtrum* (adaptado de KARPE, 1980).

Banheiros compostáveis são uma das tecnologias listadas nas Diretrizes para o uso seguro de excretas e águas cinza da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2006) e são reconhecidos como um dos cinco sistemas de melhoria sanitária no Programa Coletivo para os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (UNICEF/OMS, 2008).

4.2.2. Funcionamento

O banheiro seco é um modelo sanitário de degradação biológica termofílica de dejetos humanos em uma câmara especial e que vem se tornando economicamente viável (ZAVALA, 2006), evitando assim a necessidade de água para transporte, armazenamento ou tratamento dos resíduos.

O banheiro em si consiste de duas unidades básicas: um local para sentar e outro para armazenar as excretas, sendo este o local onde ocorre todo o processo de degradação biológica. Segundo a Agência Alemã de Cooperação Técnica (GTZ), a compostagem degrada a matéria orgânica através de bactérias aeróbias termofílicas, fungos e actinomicetes. Sob condições ótimas de temperatura, é possível a remoção efetiva de patógenos. Para alcançar tais temperaturas, é necessário uma boa aeração do material, certo nível de umidade e uma relação C:N específica. Dejetos humanos, sozinhos, não fornecem tais condições, devido às altas concentrações de nitrogênio (BERGER, 2010). Outro material, rico em carbono, deve então ser adicionado, de modo a diminuir os níveis de água, melhorar a aeração e aumentar o

teor de carbono do material que será compostado. Assim, é aconselhado que após cada uso o usuário adicione uma quantidade de tal material, como serragem ou palhada (de arroz, café, etc.), além de descartar o papel higiênico utilizado no interior do próprio banheiro seco (van LENGEN, 2004).

Um tubo de ventilação se faz extremamente necessário, à medida que colabora para a aeração no interior do banheiro (favorecendo assim, o processo de degradação) e impede o surgimento de odores ao promover a exaustão do ar através do mecanismo de convecção (pressão negativa) em seu interior, impulsionado pelo calor gerado com a exposição solar do mesmo (BERGER, 2010; van LENGEN, 2004 e MORGAN, 2007). Portanto, é recomendada a instalação do tubo de forma que este receba a maior insolação possível e que seja pintado de preto. A exposição solar é importante por duas razões: aquece a pilha de compostagem no interior do banheiro e auxilia no controle da umidade (REDLINGER, 2001).

Dessa forma, nota-se que este sistema aplica ciclos biológicos do meio ambiente para tratar as excretas humanas, o que faz do banheiro seco uma tecnologia sustentável, cuja construção e operação são de baixos custos (HERNÁNDEZ, 2006).

4.2.3. Tipos de Banheiro

A seguir, são listados os modelos sanitários que não utilizam água em seu funcionamento, acompanhados de uma breve descrição sobre seus respectivos mecanismos.

4.2.3.1. Latrina ou Privada com Fossa Seca

É o modelo mais simples e rústico de sanitário. É utilizado geralmente em áreas rurais, sendo evitado em regiões de grande densidade populacional. É o modelo mais barato para pessoas que buscam tratar seus resíduos individualmente. A excreta cai diretamente em um poço escavado, o qual geralmente não é nem consolidado, nem delineado por tijolos (figura 3). Os resíduos sólidos ficam retidos no poço e vão, aos poucos, preenchendo o mesmo. As fezes retidas no interior se decompõem ao longo do tempo segundo o processo de digestão anaeróbia (FUNASA, 2006). É importante lembrar que o nível dos resíduos não deve ultrapassar 2 metros acima do fundo do poço, de forma a evitar o desenvolvimento indesejado de insetos. É importante também assegurar uma boa ventilação no interior do banheiro acompanhada de uma eficiente insolação (KARPE, 1980). Alguns modelos podem ter a latrina com sistema de ventilação (figura 4 e 5).

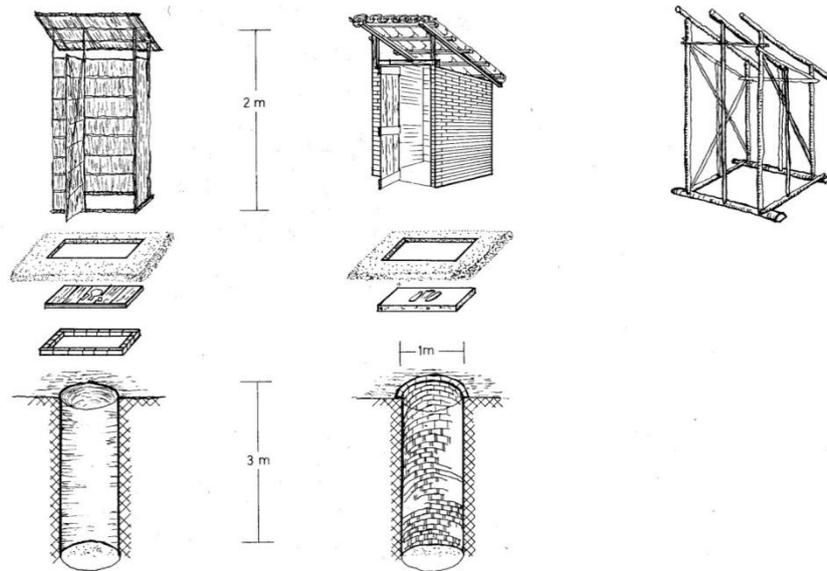


Figura 22. Modelos de latrina com fossa seca (KARPE, 1980).

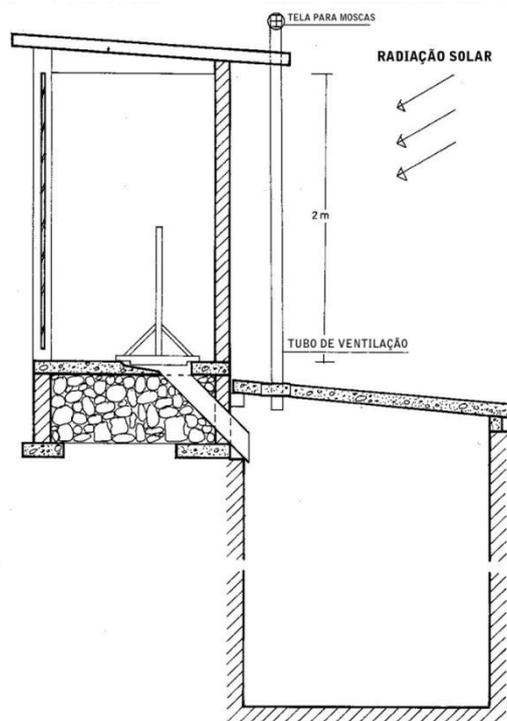


Figura 23. Latrina com ventilação (adaptado de KARPE, 1980).

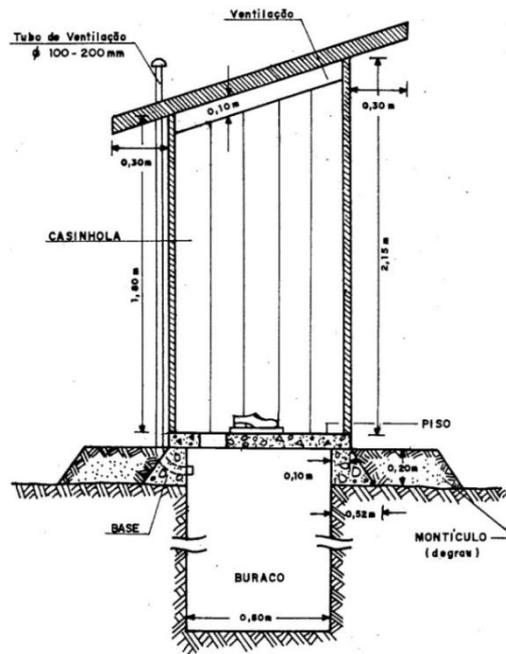


Figura 24. Latrina com ventilação (JORDÃO & PESSÔA, 2004).

4.2.3.2. Instalação

Segundo a FUNASA (2006), a instalação deve se dar em lugares livres de enchentes e acessíveis aos usuários, distante de poços e nascentes e em cota inferior a esses mananciais, a fim de evitar a contaminação dos mesmos (figura 6). A agência alemã (GTZ) frisa que a estrutura do solo deve ser avaliada, assim como um estudo do nível do lençol freático deve ser avaliado anteriormente à sua construção, devendo-se evitar regiões de solos arenosos ou rochosos e lençol freático de nível elevado.

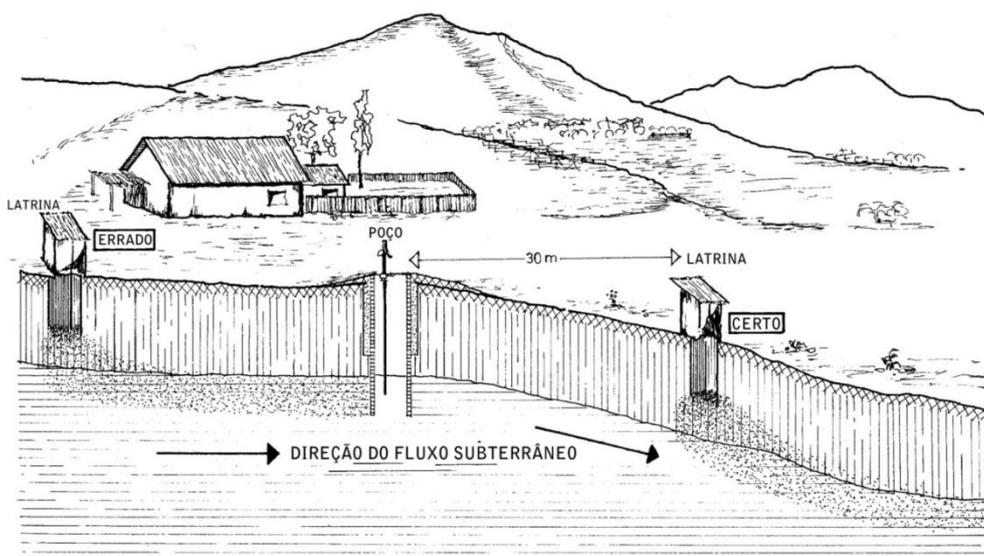


Figura 25. Localização da latrina na propriedade (adaptado de KARPE, 1980).

4.2.3.3. Manutenção

A manutenção nessa unidade sanitária é baixa, devendo ser observados aspectos como introdução de água na fossa (o que não deve ocorrer) e problemas com mau cheiro (que podem ser evitados com aplicação regular de cinza à fossa e medidas de higiene, como manter a porta do banheiro sempre fechada e o buraco sempre tampado quando não em uso). Assim que o nível de resíduos atinge dois terços do poço, este precisa ser esvaziado ou um novo poço escavado (KARPE, 1980).

4.2.4. Latrina Externa ou Privada com Fossa Estanque

Unidade sanitária composta por um tanque, de alvenaria ou pré-moldado, destinado ao armazenamento dos dejetos humanos diretamente, sem utilização de água, em condições idênticas a fossa seca. Contudo, há a construção do tanque sobre a superfície, e não mais a escavação de um poço.

4.2.4.1. Instalação

É recomendada em locais de lençol freático superficial, zona de solo rochoso ou pouco estável que impossibilite a escavação de um poço, além de regiões muito próximas a nascentes ou poços de captação de água para consumo humano, onde seja impossível (ou inviável) a manutenção de uma distância mínima de segurança que evite a contaminação dos recursos hídricos.

4.2.4.2. Manutenção

Assim como as latrinas simples, a manutenção é baixa e não requer conhecimento técnico. O esvaziamento do tanque deve ocorrer anualmente e o material retirado deve ser enterrado, não sendo aconselhado seu uso para adubação devido à falta de tratamento eficiente para sanitização dos excretas (FUNASA, 2006).

4.2.5. Latrina com Fossa de Fermentação (Tipo Cynamon)

Unidade sanitária composta, basicamente, de duas câmaras independentes e contíguas, de alvenaria ou pré-moldadas, onde os dejetos humanos são armazenados diretamente, assim como nas privadas com fossa estanque (figura 7). As câmaras são utilizadas de maneira alternada, onde uma é lacrada quando cheia, dando uso à outra. Quando a segunda está completa, o material da primeira câmara já estará mineralizado e poderá ser disposto no solo, retornando ao início do ciclo (FUNASA, 2006).

4.2.5.1. Instalação

Segundo o Manual de saneamento básico da FUNASA (2006), este tipo de sanitário é indicado para as mesmas situações da privada com fossa estanque. As câmaras de fermentação podem estar enterradas, semi-enterradas ou totalmente apoiadas na superfície do solo, variando com o tipo de terreno e como opção de praticidade construtiva.

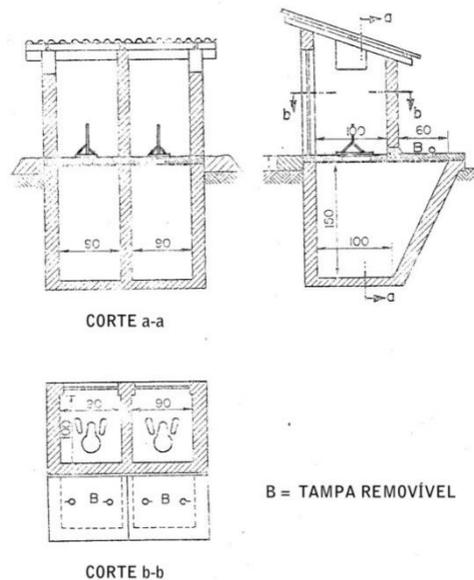


Figura 26. Latrina com fossa de fermentação (adaptado de KARPE, 1980).

4.2.5.2. Manutenção

A manutenção é baixa, muito semelhante a da privada com fossa estanque, devendo ser respeitado o intervalo temporal para utilização de uma câmara enquanto a outra passa pelo processo de fermentação natural.

4.2.6. Banheiro de Compostagem Contínua

Unidade sanitária de apenas uma câmara para armazenamento e tratamento dos dejetos humanos. Todos os modelos de compostagem contínua se baseiam no modelo sueco *clivus multrum* (figura 8), onde a câmara principal é composta por outras duas subcâmaras; uma para a compostagem enquanto a outra serve para acúmulo do húmus (KARPE, 1980). A compostagem contínua só é viável se houver a separação física entre o material sólido fresco e o que se encontra em processo de maturação (BERGER, 2010).

No Brasil, o modelo mais difundido de compostagem contínua é o desenvolvido por Johan van Lengen, idealizador do instituto carioca de Permacultura TIBA – Tecnologia Intuitiva

e Bio-Arquitetura (figura 9). Chamado de *Bason* – nome antigo utilizado pelos mexicanos para designar banheiros artesanais de alvenaria para autoconstrução e de baixo custo – vem sendo utilizado pelo instituto desde 1987, sendo confeccionado com placas pré-moldadas de plasto-cimento (uma variação do ferro-cimento), podendo ser feito pelo próprio usuário (van LENGEN, 2004).

Com o tempo, este modelo sanitário converte, biologicamente, as fezes humanas em uma pequena quantidade de composto orgânico estabilizado, o qual pode ser aplicado diretamente ao solo como fertilizante. A cada pessoa, lhe corresponde cerca de 40 litros de composto por ano (BERGER, 2010).

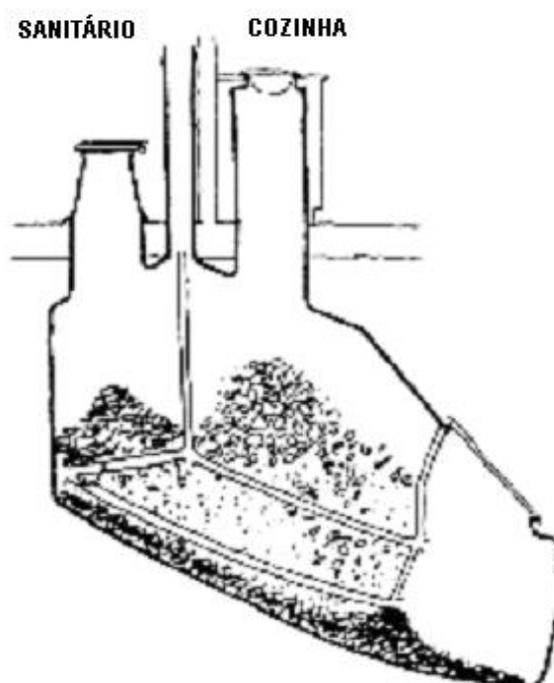


Figura 27. Unidade sanitária *Clivus multrum* (adaptado de WINBLAD *et al.*, 2004).

4.2.6.1. Instalação

Banheiros de compostagem contínua são os mais comuns e antigos modelos sanitários que utilizam a compostagem como forma de tratamento dos dejetos humanos, sendo utilizados com sucesso em todo o mundo. Em países desenvolvidos, é utilizado em regiões não conectadas a rede de esgoto, como construções no alto de montanhas, reservas naturais ou assentamentos típicos afastados. Também são adotados em países de clima tropical como alternativa sanitária de autoconstrução, sendo a maioria baseada no modelo sueco *clivus multrum* (BERGER, 2010).

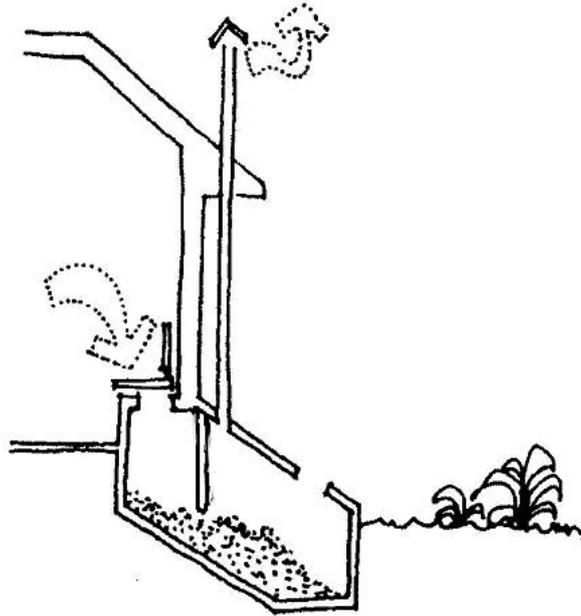


Figura 28. Croqui esquemático de um *bason* (adaptado de van LENGEN, 2004).

Por ser um modelo com câmara impermeável, não há preocupação quanto a sua localização no terreno (proximidade de recursos hídricos), sendo apenas necessário cuidados quanto à água da chuva (o sistema deve ter sua câmara coberta, de forma a evitar a queda de pingos de chuva em sua superfície).

4.2.6.2. Manutenção

A adição de material rico em carbono é extremamente necessária, sendo um dos princípios básicos de funcionamento do sistema (van LENGEN, 2004). Aconselha-se o uso de serragem após cada utilização, como analogia a descarga hídrica.

Em períodos regulares, é necessária uma mistura do material no interior da subcâmara de compostagem para garantir as condições necessárias à compostagem. Essa mistura pode ser feita com manivelas, ou qualquer outro instrumento que possibilite o revolvimento à distância. Pode-se ainda inserir minhocas à câmara, incumbindo estas de tal tarefa (BERGER, 2010).

Quando a capacidade máxima da câmara é atingida, o seu esvaziamento se faz necessário, o que requer um esforço braçal por parte do usuário. Outro aspecto que requer grande manutenção é a descompactação da massa de composto no interior da câmara devido ao peso da massa sólida, o que influi na aeração da mesma (von MÜNCH, 2009). Portanto, uma boa manutenção do sistema se faz necessária para garantir o correto funcionamento do mesmo.

4.2.7. Banheiro Compostável em Câmaras Múltiplas

Unidade sanitária composta por duas ou mais câmaras impermeáveis e intercambiáveis. Neste sistema, uma das câmaras tem seu volume preenchido e é lacrada para que ocorra a maturação do composto, enquanto a outra é utilizada normalmente. Assim que esta fica cheia, a outra é esvaziada, podendo ser utilizada imediatamente. Modelos de câmara dupla são os mais utilizados e mais simples. Entretanto, um dimensionamento cuidadoso deve ser levado em consideração para assegurar que o tempo mínimo para maturação do composto seja respeitado. Um processo secundário de compostagem pode ser requerido para assegurar a total remoção dos patógenos (BERGER, 2010).

Outro ponto importante é a insolação das câmaras, sendo imprescindível que estas estejam voltadas para o ponto de maior incidência de luz solar, auxiliando na manutenção da umidade, assim como da temperatura para o processo de compostagem (GTZ, 2006a).

4.2.7.1. Instalação

Esta unidade sanitária pode ser aplicada em todo o mundo, tanto fora quanto dentro de casa, desde que as condições ideais de ventilação e insolação sejam respeitadas. Não há limitações quanto ao tipo de terreno (GTZ, 2006a).

4.2.7.2. Manutenção

Assim como em sanitários de compostagem contínua, uma quantidade de aditivo rico em carbono deve ser adicionada após cada uso. Contudo, quando comparado a estes, o sanitário de câmara múltipla exige uma menor manutenção, uma vez que problemas de compactação e anaerobiose são raros devido ao menor volume de material sólido nas câmaras (BERGER, 2010).

Além disso, o esvaziamento da câmara se dá de forma mais aceitável por parte do usuário, uma vez que o composto maturado encontra-se totalmente separado das fezes frescas. Outro ponto importante é a atenção do usuário para o nível de dejetos dentro da câmara que está sendo utilizada, a fim de decidir quando uma deve ser lacrada, dando uso à outra (BERGER, 2010).

4.2.8. Banheiro com Coleta em Compartimentos Móveis

Este tipo de unidade sanitária não é considerado um sanitário compostável, mas sim compartimento para coleta de excreta, a qual pode ser compostada seqüencialmente. Para

isso, as fezes coletadas devem ser transportadas até uma pilha maior de compostagem, ou uma câmara designada para esse fim (GTZ, 2006b).

Tal modelo sanitário é composto por um compartimento móvel (como barril ou semelhante) localizado abaixo do assento sanitário, designado a receber a excreta (figura 10). Após completo o volume útil do compartimento fecal, este é substituído por outro semelhante e carregado para um local adequado de modo a ser esvaziado. Muitos são compostos por sistemas de ventilação, a fim de prevenir odores desagradáveis.



Figura 29. Compartimentos móveis para coleta das fezes (GTZ, 2006b).

4.2.8.1. Instalação

Mesmo sendo indicado para todas as regiões do mundo, a escolha deste modelo sanitário deve ser priorizada em locais que requerem pouco uso do sanitário (como casas de veraneio) ou áreas que possuam um sistema eficiente de coleta em larga escala e processamento por empresas especializadas e pré designadas. Isso se deve ao fato do pequeno volume do compartimento de coleta e à possível rejeição do sistema, por parte do usuário, quando a responsabilidade pelo esvaziamento e tratamento das excretas é atribuída a este (GTZ, 2006b).

4.2.8.2. Manutenção

A manutenção associada a essa unidade sanitária é alta, mesmo que o volume do compartimento seja grande, visto que o usuário deve esvaziá-lo regularmente após o

transporte. Além disso, outra unidade deve ser especificada para propósitos de compostagem, a qual pode ocorrer no próprio terreno que gera o resíduo, ou ainda, em unidades centrais de tratamento previamente estabelecidas. (GTZ, 2006b)

4.3. Separação da Urina

Em diversos países do mundo, manter a urina e as fezes separadas é uma tradição antiga. Em países como o Japão e a Suécia, a urina é historicamente coletada separadamente das fezes, servindo como um fertilizante valioso e prevenindo que o compartimento destinado ao armazenamento se encha rapidamente (WINBLAD *et al.*, 2004). A separação ocorre através de um assento sanitário (privada) com duas saídas e dois sistemas de coleta: um para a urina e outro para as fezes (figura 11). Segundo o Instituto Ambiental de Estocolmo (SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004), nos sanitários ecológicos atuais, a coleta separada de urina e fezes se dá, basicamente por motivos como:

- Redução do volume propiciada pela ausência da urina na câmara;
- Diminuição do mau cheiro, auxiliando na aceitação ao uso do sanitário e facilitando o manejo das excretas;
- Manuseio e uso mais seguro e simples das excretas, uma vez que as fezes se manterão secas, beneficiando assim, a redução dos patógenos através do nível de umidade no interior da câmara;
- Redução do risco de transmissão de doenças, uma vez que a urina permite que os patógenos presentes nas fezes infiltrem no solo, aumentando o potencial de contaminação dos mananciais.



Figura 30. Assento separador de urina em porcelana(GTZ, 2006a).

Além disso, a Agência Alemã de Cooperação Técnica (von MÜNCH, 2009) afirma que a separação de urina possibilita a captação de urina rica em nutrientes e potencialmente estéril

(quando a contaminação cruzada é evitada). A contaminação cruzada se dá quando a separação da urina não é eficiente, havendo contato com material fecal, o que diz respeito aos riscos mais significantes à saúde quando do manejo e uso da urina (HÖGLUND *et al.*, 2002).

Um estudo desenvolvido pelo programa EcoSanRes (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006) afirma que a melhoria no saneamento e a reciclagem de nutrientes são os fatores que motivam a separação da urina. Assim, é possível obter, gratuitamente, um fertilizante de alta qualidade e ação rápida. A separação da urina ainda reduz o risco de eutrofização nos corpos hídricos, uma vez que reduz a carga de nitratos (presente nas águas residuárias não tratadas) que chegam aos mesmos.

Algumas cidades na Suécia aplicam a separação da urina em sanitários, mesmo possuindo estações de tratamento de águas residuárias. Tal hábito é impulsionado pelo cultivo de jardins municipais (que demandam fertilização) e também pela redução de custos na operação das estações de tratamento, visto que a carga de nutrientes que precisam ser removidos (principalmente nitratos) é consideravelmente menor (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006). A adoção de tal prática abre portas para o desenvolvimento de novas tecnologias - dispositivo de separação, armazenamento e aplicação da urina – e incentiva a pesquisa sobre a utilização agrícola em larga escala.

4.4. Tratamento das Excretas

4.4.1. Urina

Segundo SCHÖNNING & STENSTRÖM (2004), o tratamento da urina ocorre pelo simples armazenamento da mesma e posterior uso agrícola, ou mesmo disposição no solo. De acordo com HEINONEN-TANSKI (2005), a urina contém nitrogênio na forma de uréia (a qual é produzida artificialmente em grande escala pelas indústrias químicas para um posterior uso por agricultores do mundo todo) o que possibilita o uso da urina pura como fertilizante, obtendo-se os mesmos resultados da adubação química. LANGERGRABER (2005) afirma ainda que a maioria dos nutrientes prontamente disponíveis às plantas é encontrada na urina e assim, a utilização desta (em escala domiciliar) é recomendada para todos os tipos de culturas, exceto para aquelas que se desenvolvem sob a superfície do solo, por questões de higiene.

Para uso em produção agrícola de larga escala, a urina deve permanecer armazenada por um determinado período de tempo (tabela 4). É aconselhado o uso de tanques permanentes, sem componentes metálicos devido ao poder corrosivo da urina. Em nível domiciliar, a urina pode ser aplicada ao solo sem armazenamento prévio. É recomendada,

ainda, a aplicação imediatamente antes da irrigação da cultura ou durante as chuvas, facilitando a dispersão, ou mesmo ao final da tarde, quando a taxa de evaporação é reduzida. É importante também respeitar o período de um mês entre a adubação e a colheita (KVARNSTRÖM *et al.*, 2006).

Tabela 21. Armazenamento da urina.

Temperatura de armazenamento	Tempo de armazenamento	Possíveis patógenos na mistura da urina após o armazenamento	Cultivos recomendados
4° C	≥1 mês	Vírus, protozoários	Cultivos alimentícios e cultivos de forragem que serão processados
4° C	≥6 meses	Vírus	Cultivos alimentícios que serão processados, cultivos de forragem
20° C	≥1 mês	Vírus	Cultivos alimentícios que serão processados, cultivos de forragem
20° C	≥6 meses	Provavelmente nenhum	Todos os cultivos

Fonte: SHÖNNING & STENSTRÖM, 2004.

4.4.2. Fezes

De acordo com o Instituto Ambiental de Estocolmo (SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004), os tratamentos existentes para higienizar as fezes são:

- Armazenamento simples;
- Tratamento com calor;
- Compostagem;
- Tratamentos alcalinos;
- Tratamentos químicos e
- Incineração das fezes.

Pelo caráter do presente trabalho, só serão aprofundados os primeiros quatro tipos de tratamento.

4.4.2.1. Armazenamento

É a forma mais simples de tratamento e consiste na coleta das fezes em compartimentos adequados (como câmaras) e armazenamento em condições ambientais de temperatura, pH e umidade. Não é considerada uma prática segura, exceto quando o tempo de armazenamento é de anos, garantindo uma efetiva redução bacteriana.

Neste tipo de tratamento, o número de microrganismos patogênicos no material fecal se dá, exclusivamente, pela extinção natural com o tempo. Um estudo sul-africano indicou a presença de patógenos nas fezes após um ano de armazenamento (AUSTIN, 2001 citado por SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004). Assim, este tipo exclusivo de tratamento não é indicado, salvo quando seguido por outro tipo de tratamento.

4.4.2.2. Tratamento com Calor

O calor é uma das maneiras mais eficazes de eliminação dos patógenos, onde valores de temperaturas maiores que 55°C durante alguns dias seguidos garante uma inativação eficiente. Alguns modelos se baseiam no aquecimento das fezes, em recipientes de coleta ou compartimentos fecais, pela radiação solar. Em regiões de clima temperado, o aquecimento dos sanitários secos é feito, muitas vezes, por meio de energia elétrica.

4.4.2.3. Compostagem

A compostagem das fezes é um processo natural e vem sendo considerado como a opção mais viável para o tratamento do material fecal (no caso de separação de urina). Embora alguns autores afirmem ser difícil obter condições ideais de compostagem em pequena escala, estudos (VINNERÅS *et al.*, 2003 e NIWAGABA *et al.*, 2009) demonstraram ser possível o alcance de temperaturas ideais durante períodos de tempo suficientes para efetiva inativação dos patógenos, mesmo em escala domiciliar, resultando assim, em porcentagens consideráveis do material fecal completamente compostado.

4.4.2.4. Tratamento Alcalino

Este tipo de tratamento consiste no controle do pH através da adição de materiais alcalinos, como cinzas e cal, que elevem o pH a valores entre 11 e 13 (BOOST & POON, 1998 citado por SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004). A adição de tais materiais também auxilia na prevenção de odores e presença de insetos no sanitário. O tratamento alcalino é amplamente recomendado devido a sua fácil manutenção e operação, além do baixo custo.

Além dos tratamentos mencionados, a Agência Alemã de Cooperação Técnica (von MÜNCH, 2009) também cita o tratamento das fezes por desidratação.

4.4.2.5. Tratamento por Desidratação

Segundo von MÜNCH (2009), a desidratação ocorre com auxílio dos processos naturais de evaporação e ventilação no interior da câmara de armazenamento, além da adição de

materiais absorventes que reduzem a umidade, durante um período de detenção entre 6 e 12 meses (SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004). O produto final (material farelento e similar ao pó) é um condicionador do solo e não um composto, mesmo sendo rico em carbono, fósforo e potássio. Por se tratar de um método de desidratação, e não compostagem, a adição de papel higiênico não é recomendada.

Neste tipo de tratamento, a adição de serragem após cada uso é substituída pela adição de cinzas, pois não é necessário o balanço entre a relação C/N. Outra vantagem é a menor preocupação, por parte do usuário, com a manutenção quando comparado aos demais métodos (GTZ, 2006a).

4.5. Compostagem

4.5.1. Conceitos

A forma mais eficiente de se obter a biodegradação controlada dos resíduos orgânicos é por meio da compostagem, que é um processo biológico aeróbio e utilizado no tratamento e na estabilização de resíduos orgânicos para a produção de húmus. Entende-se por composto orgânico o produto final da compostagem, ou seja, degradação, mineralização e humificação de resíduos orgânicos, obtido através do processo aeróbio controlado (PEREIRA NETO, 2007).

O conceito de matéria orgânica envolve todo produto proveniente de corpos organizados contendo basicamente carbono, hidrogênio e oxigênio. Porém, num sentido mais amplo, o termo relaciona-se a todo composto susceptível de degradação (PEREIRA NETO, 2007). A figura 12 demonstra alguns dos principais tipos de resíduos orgânicos.

A matéria orgânica encontrada no solo é formada por uma variedade de compostos que inclui desde resíduos parcialmente decompostos até um material estabilizado de composição definida, com teor médio de 58% de carbono, considerada a parte humificada da matéria orgânica.

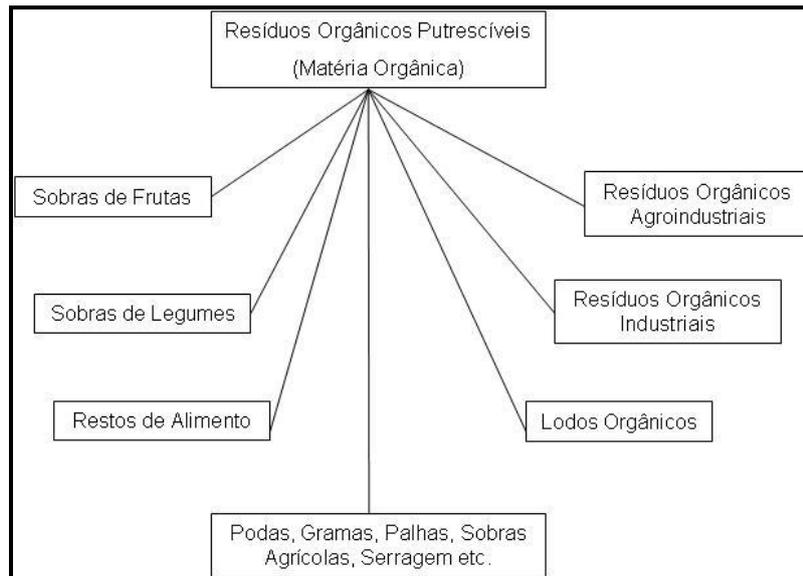


Figura 31. Principais resíduos orgânicos (PEREIRA NETO, 2007).

4.5.2. Classificação do processo

Os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas classes, a dos materiais ricos em carbono (castanhos) e a dos materiais ricos em nitrogênio (verdes). Entre os materiais ricos em carbono podemos considerar os materiais lenhosos como a casca de árvores, a serragem, as podas dos jardins, folhas, palhas, fenos e papel. Entre os materiais nitrogenados incluem-se as folhas verdes, estrumes, urina, solo, restos de vegetais hortícolas, ervas, etc (PEREIRA NETO, 1996). Componentes ricos em carbono servem como uma fonte de energia para a manutenção e crescimento microbiano.

Segundo KIEHL (1979) citado por LIMA (1995), o processo de compostagem pode ser classificado da seguinte forma, ilustrada na tabela 5.

Os microrganismos que participam do processo são inúmeros e a identificação das estirpes ainda é um campo que necessita de pesquisas. Algumas das estirpes já identificadas são mostradas na tabela 6 .

Para que a compostagem seja realizada em menor tempo e resulte no produto final esperado, deve-se facilitar ao máximo a ação dos microrganismos, principalmente fungos e bactérias, os quais fazem todo o trabalho de degradação do material orgânico.

Tabela 22. Principais classificações do processo de compostagem.

Classificação da Compostagem	Quanto a Biologia	Aeróbio Anaeróbio Misto
	Quanto a Temperatura	Mesofílico Termofílico
	Quanto ao Ambiente	Aberto Fechado
	Quanto ao Processamento	Estático/Natural Dinâmico/Acelerado

Fonte: LIMA, 1995.

Tabela 23. Microrganismos aeróbios envolvidos no processo de compostagem.

Cellvibrio spp.	Compylobacter fetus
Cellulomonas spp.	Sporotrichum pulvorulentum
Celfacicula spp.	Phanerochaete chrysosporium
Myxophaga spp.	Endomycopsis fibuligen
Aspergillus spp.	Mixobacter poligancium spp.
Chaete ium spp	Clostridium omelianse
Myrptherium spp.	Ruminobacter spp.
Neurosporo	Ruminococcus spp.

Fonte: LIMA, 1995.

Portanto, para garantir o sucesso do processo, alguns fatores, citados abaixo, devem ser controlados.

- **Temperatura:** É um indicador de que a compostagem está acontecendo, pois a degradação do material orgânico é resultado do metabolismo exotérmico da microbiota, liberando a energia que faz com que a temperatura aumente no composto. Existem divergências na literatura específica quanto à faixa de temperatura ótima para se processar a compostagem. No entanto, segundo PEREIRA NETO (2007), pode-se estabelecer que esta seja realizada entre 23 e 70°C. As temperaturas inferiores a 23°C tornam o processo lento, além de não eliminar as sementes e ovos viáveis presentes no resíduo. Temperaturas acima de 65°C podem inibir o processo ou cessá-lo rapidamente, já que a compostagem é um processo que requer a participação de enzimas e estas são susceptíveis a inativação térmica.
- **Aeração:** Visando manter uma integridade biológica, a compostagem aeróbia necessita de um fluxo permanente de ar para o interior da massa. Nos processos abertos, esta pode ser obtida manual ou mecanicamente, através dos reviramentos, ou através de sistemas de aeração por bombas de ar. Em sistemas fechados, a vazão

mínima de ar necessária varia de 0,60 a 0,80 m³ por dia e por quilograma de sólido volátil.

- **Umidade:** Assim como todos os processos de decomposição, a compostagem também exige água. No entanto, existe uma faixa ótima de umidade (de 40 a 60%) para que o processo ocorra de forma mais eficiente. Teores de umidade abaixo de 40% retardam o processo por inibir a atividade biológica. Teores de umidade acima de 60% tornam o ambiente anaeróbio, podendo baixar o potencial de oxi-redução e reduzir a eficiência da degradação. Grandes quantidades de água no composto favorecem a produção de chorume, além de reduzir seu valor comercial, já que encarece o transporte e ocasiona a produção de odores.
- **Dimensões das partículas:** O uso de sistemas mecânicos para triturar os resíduos e assim reduzi-los a partículas menores possui grande influência no processo de compostagem, pois aumenta a superfície de contato, facilitando o acesso dos microrganismos ao substrato e acelerando o processo.
- **Concentração de nutrientes:** A concentração dos nutrientes deve ser equilibrada de forma a atender as necessidades nutricionais da microbiota, em especial a relação entre carbono e nitrogênio (C/N). Esta relação tem grande importância, já que serve como um indicador de fase, pois no início do processo a relação C/N deve ser de 30:1, e no fim do processo, com a total maturação, uma redução no carbono levaria a relação para 10:1. O carbono representa o material energético necessário para a ativação do processo da síntese celular, e o nitrogênio, o material básico para a constituição da matéria celular sintética. Tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limitam a atividade microbiológica. Se a relação C/N for muito baixa, pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Se a relação C/N for muito elevada, os microrganismos não encontrarão N suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado.
- **pH:** Pode variar de 4,5 a 9,5, sendo regulado pelos próprios microrganismos que produzem subprodutos ácidos ou básicos conforme a necessidade do meio.

A decomposição se torna um produto de várias fases distintas de ascensão e queda de temperatura. Essas fases são somente um reflexo das sucessíveis atividades microbianas que realizam a degradação e aumentam a quantidade de matéria orgânica recalcitrante.

A diversidade microbiana permite que o processo de compostagem continue apesar da constante mudança ambiental e variações nas condições nutricionais na pilha de matéria

orgânica (GRAVES *et al*, 2000 citado por ALVES 2009). Assim, o processo de compostagem pode ser dividido em quatro fases: (1) Durante a primeira fase há uma proliferação de uma população diversificada de bactéria e fungos mesofílicos que degradam os nutrientes facilmente disponíveis elevando a temperatura até cerca de 45°C. Neste momento, a atividade deles cessa, as células vegetais e as hifas morrem e somente os esporos resistentes sobrevivem. (2) Após um curto período de retardamento (nem sempre discernível) ocorre, então, um segundo aumento mais ou menos abrupto na temperatura. Essa segunda fase é caracterizada pelo desenvolvimento de uma população microbiana termofílica compreendida por algumas espécies de bactérias e fungos. A temperatura desses microorganismos está entre 50 e 65°C e suas atividades terminam entre 70 e 80°C. (3) A terceira fase pode ser considerada como um período estacionário sem nenhuma mudança significativa na temperatura, já que a produção de calor e a dissipação do mesmo se balanceiam. A população microbiana continua consistindo das mesmas bactérias e fungos da fase anterior. (4) A quarta fase é caracterizada por um declínio gradual da temperatura, que é mais bem descrita como fase de maturação do processo de compostagem. Os microorganismos mesofílicos que sobreviveram às altas temperaturas ou que invadiram durante a fase de esfriamento sucedem os termofílicos e estendem o processo de degradação na medida em que este se destina (KUTZNER, 2000 citado por ALVES, 2009). A maturação do composto nada mais é do que a humificação da matéria orgânica, ou seja, a transformação do composto em húmus (VERAS & POVINELLI, 2004).

Segundo PEREIRA NETO (2007), a primeira fase dura de 12 a 24 horas, a segunda de 70 a 90 dias, a terceira fase ocorre durante 2 e 5 dias e a quarta fase de 30 a 60 dias. Sendo que a fase de degradação ativa (fase inicial) demanda cerca de 30 dias em processos acelerados e até 120 dias em processos artesanais. Já para a maturação, são necessários cerca de 30 a 50 dias adicionais.

De acordo com SIDHU *et al*. (2001) citado por ALVES (2009), crescimento de bactérias patogênicas em materiais que contém outros microorganismos ativos como a matéria orgânica compostada é menor que em materiais onde não há essa atividade microbiana. GUARDABASSI, DALSGAARD & SOBSEY (2003) afirmam que: Sistemas fechados são mais seguros para a compostagem das fezes humanas, já que eles garantem um melhor controle destes parâmetros. Em contraste, sistemas abertos não garantem a eficiência da exposição ao calor e a eliminação dos vírus devido à influencia da temperatura ambiente na superfície das pilhas. Pilhas estáticas aeradas possuem uma eficiência intermediária na remoção de patógenos e seu uso é apropriado para situações onde o uso de reatores fechados não são financeiramente viáveis (ALVEZ 2009).

4.5.3. Compostagem de fezes humanas

A compostagem das fezes humanas se assemelha muito à compostagem dos resíduos urbanos. Contudo, algumas diferenças ocorrem em relação às condições ótimas do processo. Na tabela 7 são listados os valores dos parâmetros esperados para a compostagem do material fecal.

SHÖNNING & STENSTROM (2004) colocam em dúvida a eficiência da compostagem de fezes humanas em escala doméstica, aconselhando a compostagem como um tratamento secundário, ou seja, o armazenamento primário das fezes possibilitando o acúmulo do volume necessário para a compostagem, a qual se dá em um compartimento destinado a esse fim.

Contudo, VINNERÅS *et al.* (2003), REDLINGER *et al.* (2001) e NIWAGABA *et al.* (2009) apresentaram estudos em escala laboratorial e piloto que demonstraram ser possível a compostagem domiciliar das fezes com sucesso, obtendo resultados melhores quando adicionadas quantidades de resíduos orgânicos, como resíduos da cozinha ou da poda de jardim.

Tabela 24. Parâmetros para compostagem.

	Unidade	Valor	Fonte
Umidade	%	40-60 45-65	REDLINGER <i>et al.</i> , 2001 von MÜNCH, 2010
C:N	Adimensional	15:1-30:1	WINBLAD <i>et al.</i> , 2004
Temperatura	°C	>60 50-70 55-60	VINNERÅS <i>et al.</i> , 2003 von MÜNCH, 2010 OMS, 2006
Tempo de detenção	Meses	6 6-8 3-6 3-4 3-5	von MÜNCH, 2010 WINBLAD <i>et al.</i> , 2004 REDLINGER <i>et al.</i> , 2001 ESREY <i>et al.</i> , 2001 OMS, 2006

Vale ressaltar que, por se tratar de um processo biológico de mineralização dos compostos orgânicos, há uma redução significativa do volume do material, cerca de 90% segundo van LENGEN (2004), valor semelhante ao sugerido por WINBLAD *et al.* (2004) que afirmou ser o volume de material final inferior a 10% do volume inicial.

4.6. Águas Cinza

4.6.1. Definição

O termo água cinza é designado às águas provenientes do uso doméstico, como de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, tanques e máquinas de lavar roupas, excluindo apenas as águas advindas do vaso sanitário (JEFFERSON *et al.* 1999, ERIKSSON *et al.* 2002; OTTOSON & STENSTRÖM, 2003). Alguns autores como NOLDE (1999) e CHISTOVA-BOAL *et al.* (1996), não consideram as águas oriundas da pia de cozinha como água cinza por conter alto teor de óleos e gorduras.

4.6.2. Características Quantitativas das Águas Cinza

A quantificação da água cinza está diretamente ligada ao consumo de água referente à edificação a ser estudada, enquanto houver indivíduos utilizando determinada edificação haverá produção do efluente. Porém, as vazões variam de acordo com a hora do dia, apresentando tanto faixas de horários com picos de vazão quanto faixas com uso quase nulo.

Tal defasagem temporal gera um desequilíbrio entre demanda e oferta da água para tratamento, implicando na necessidade da regularização da vazão através da criação de reservatórios de estocagem. A estocagem da água cinza será discutida posteriormente.

O volume de água cinza produzido está atrelado também aos costumes da população a qual o edifício está inserido. Segundo ROSE *et al.* (1991) o volume de água cinza gerado em uma habitação pode variar de local para local. Em Tucson, no Arizona, este volume pode ser da ordem de 117 litros por hab/dia (FOSTER & DeCOOK (1986), citado por ROSE, 1991) enquanto na Califórnia este volume, estimado por INGHAM(1990), citado por ROSE (1991), pode chegar a 223 litros por hab/dia.

No Brasil, a partir da década de 90, algumas pesquisas têm sido desenvolvidas pelo IPT (Instituto de Pesquisa e Tecnologia) no intuito de estabelecer um processo metodológico para realização de campanhas de medição do consumo de água em residências brasileiras, empregando equipamentos de monitoramento automático em cada um dos pontos de utilização de água (ROCHA *et al.*, 1998).

4.6.3. Características Qualitativas das Águas Cinza

4.6.3.1. Aspectos Físicos

Os aspectos físicos mais estudados para águas cinza são: a turbidez, a temperatura, a cor e os sólidos suspensos. De maneira geral, estas apresentam turbidez e concentração de sólidos em suspensão bastante elevadas, oriunda da presença de fios de cabelo, fibras de

tecido e resíduos de alimentos. Tais sólidos podem gerar uma rejeição estética, pois conferem à água um aspecto desagradável, servem também como abrigo para microrganismos, além de representar uma barreira mecânica por proporcionar o entupimento dos encanamentos. O controle da temperatura é importante porque altas temperaturas favorecem o metabolismo dos microrganismos (GONÇALVES, 2006 e BAZZARELLA, 2005).

4.6.3.2. Aspectos Químicos

Os aspectos químicos serão descritos de acordo com os compostos presentes.

- Nutrientes (fósforo e nitrogênio)

Grande parte do nitrogênio encontrado em esgoto doméstico é proveniente da urina. Como a água cinza exclui a participação das águas oriundas do vaso sanitário esses teores de nitrogênio são baixos se comparados com as demais águas e têm como principal contribuinte os restos de alimentos processados na cozinha (GONÇALVES, 2006 e BAZZARELLA, 2005).

Já para o fósforo, sua principal fonte é os detergentes, principalmente em locais onde ainda é permitido o uso de detergentes contendo fosfatos (ERIKSSON *et al.*, 2002). As concentrações de fósforo em águas cinza podem ser semelhantes ou até superiores às daquelas de esgotos sanitários com características médias (GONÇALVES, 2006).

- Compostos orgânicos

O estudo da DBO e da DQO das águas cinza evidencia a cinética da utilização do oxigênio nas etapas de transporte e estocagem do efluente, uma vez que o déficit de oxigênio pode gerar a produção de sulfeto (GONÇALVES, 2006). A maior parte da matéria orgânica é oriunda de resíduos de alimento, óleos e gorduras, resíduos corporais, sabão, etc. Apesar de não sofrer contribuição dos vasos sanitários, o teor de matéria orgânica é bastante significativo.

- Compostos de enxofre

Os compostos de enxofre são responsáveis pela geração de odores no processo de tratamento das águas cinza já que o íon sulfato (SO_4^{-2}), presente na água a partir de detergentes e sabões e da decomposição da matéria orgânica em meio anaeróbico gera o gás sulfídrico (H_2S). As águas cinza logo que produzidas não apresentam a potencialidade da produção do gás, por isso há preocupação com o monitoramento para prevenir esta produção (GONÇALVES, 2006 e BAZZARELLA, 2005).

- Demais compostos

As águas cinza apresentam em sua composição diversos compostos oriundos dos produtos químicos utilizados nos mais variados processos domésticos. Esses materiais associados às características da água de abastecimento podem interferir na efetividade do processo de tratamento adotado. Por exemplo, segundo VON SPERLING (2005), apesar de não haver evidências de que a dureza cause problemas sanitários, uma água dura reduz a formação de espuma, implicando em um maior consumo de sabão, e pode causar incrustações em tubulações de água quente. Assim, o estudo das características da água de abastecimento juntamente com a quantificação e qualificação dos resíduos gerados pelos produtos químicos utilizados é de grande relevância.

4.6.3.3. Aspectos Microbiológicos

No que diz respeito às características microbiológicas, embora a água cinza não possua contribuição dos vasos sanitários, de onde provém a maior parte dos microorganismos patogênicos, algumas atividades como limpeza das mãos após o uso do toalete, lavagem de roupas fecalmente contaminadas (ex: fraldas) ou o próprio banho, são algumas das possíveis fontes desses agentes na água cinza (OTTOSON & STENSTRÖM, 2003). Estudos feitos por ROSE *et al.* (2002) com análise de água cinza estocada mostram que a quantidade de bactérias aeróbias, como os coliformes termotolerantes, aumenta muito durante as primeiras 48 horas de estocagem e depois fica relativamente estabilizada pelos próximos 12 dias.

4.6.4. Tratamento das Águas Cinza

As principais características a serem consideradas quando da definição do tipo de tratamento de águas cinza para reuso são a grande variação de vazão em períodos curtos de tempo e a elevada biodegradabilidade, conjuntamente com os requisitos de qualidade requeridos para a aplicação de reuso desejada. Os processos desenvolvidos variam desde sistemas simples em residências até séries de tratamentos avançados para reuso em larga escala (JEFFERSON *et al.*, 1999). Em função de suas características físico-químicas e biológicas, as águas cinza podem ser tratadas por processos de tratamento semelhantes aos utilizados em estações de tratamento de esgoto sanitário. Entretanto, segundo GONÇALVES (2006), deve se atentar para o fato de que as exigências quanto à qualidade do efluente tratado são muito superiores no caso de reuso de águas cinza, sobretudo quando se trata de reuso em edificações.

4.6.4.1. Tratamento Primário

A presença de sólidos grosseiros nas águas cinza, embora de dimensões reduzidas devido à presença dos ralos e grelhas nas instalações hidro-sanitárias, impõe a necessidade de uma etapa de tratamento primário.

Para CHRISTOVA-BOAL *et al.* (1996), a etapa de filtração de águas cinza deve ser composta por três estágios:

- Estágio 1 – Pré-filtro, localizado nas saídas da máquina de lavar, nos ralos do chuveiro e dos lavatórios, para remover materiais grosseiros;
- Estágio 2 – Uma peneira para remoção de cabelo e partículas de sabão, felpas de tecidos e gordura corporal.
- Estágio 3 – Filtro fino na linha de suprimento de água para irrigação ou para os vasos sanitários, para reter precipitados ou material sedimentável.

4.6.4.2. Tratamento Secundário

O tratamento secundário promove a degradação biológica de compostos carbonáceos, convertendo os carboidratos, óleos e graxas e proteínas a compostos mais simples, como: CO₂, H₂O, NH₃, H₂S etc., dependendo do tipo de processo predominante. Pode ser realizado pela via anaeróbia, pela via aeróbia ou pela associação em série de ambas: anaeróbia + aeróbia (CAMPOS, 1999).

As exigências estéticas da água para reuso predial obrigam a presença de uma etapa aeróbia no tratamento, por ser o único processo capaz de reduzir a turbidez. Porém, as etapas anaeróbias de tratamento atingem uma elevada remoção de DBO, dessa forma a associação de processos aeróbios e anaeróbios em série representa uma interessante alternativa de tratamento para países com clima favorável (GONÇALVES, 2006).

4.6.4.3. Tratamento Terciário

O tratamento terciário de águas cinza deve ter como objetivo a desinfecção, uma vez que a remoção de nutrientes não é uma exigência cabível nos casos de reuso de água em edificações ou agrícola. O objetivo principal da desinfecção é inativar seletivamente espécies de organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana (GONÇALVES, 2003). Os processos de desinfecção podem ocorrer de maneira física ou química. Um exemplo de desinfecção física é a exposição à radiação UV, uma vantagem desse processo se deve ao fato de não gerar subprodutos tóxicos.

A desinfecção química pode ser obtida através da adição de compostos químicos contendo grupos fenólicos, alcoóis, halogênicos, e metais pesados (GONÇALVES, 2006). A figura 13 representa o fluxograma de uma estação completa de tratamento de água cinza a nível terciário.

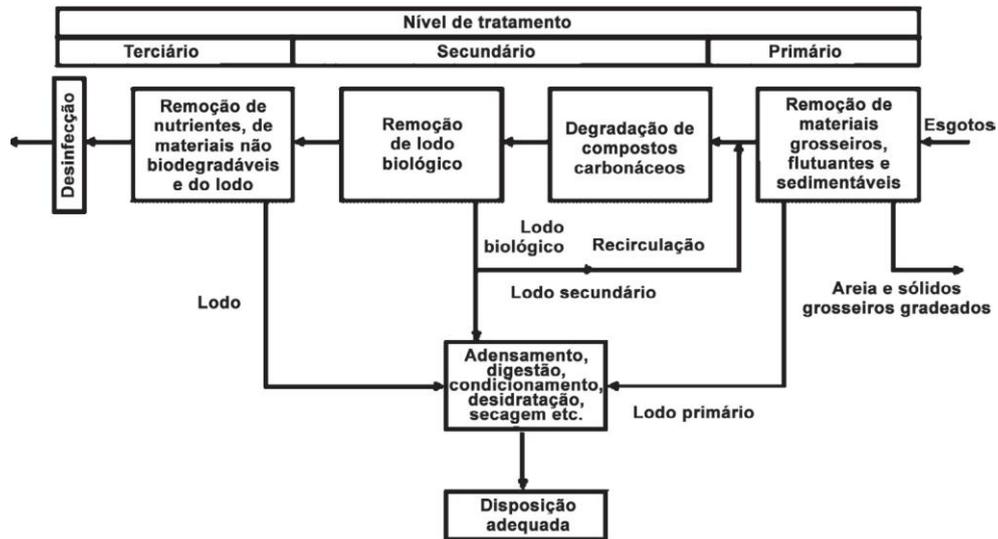


Figura 32. Etapas de uma estação de tratamento de esgotos (CAMPOS, 1999).

4.6.4.4. Exemplos de Estações de Tratamento de Águas Cinza (ETACs)

A tabela 8 apresenta alguns exemplos de estações de tratamento encontradas em alguns países.

Tabela 25. Exemplos de estações de tratamento de águas cinza.

Local Uso	Nível de tratamento			Qualidade do efluente	Referência
	Primário	Secundário	Terciário		
Austrália	Grade grosseira + filtro	Lodos ativados (tanque de aeração + clarificador)	Desinfecção com cloro		Neal (1996)
Suécia	Filtro de pedras	Sistema de 3 lagoas em série + filtro de areia	Desinfecção nas lagoas	DBO ₅ = 0 N = 1,618 P = 0,02 CTer = 172	Günther (2000)
Alemanha	Decantação	Biodisco / 4 estágios	UV – 250±400 J.m ²	DBO ₅ = 5 SF = 0,03	Nolde (1999)
	Decantação	Leito fluidizado	UV – 250±400 J.m ²	DBO ₅ = 5 SF = 0,03	Nolde (1999)
Inglaterra	Filtração simples ou dupla		Cloração	DBO ₅ > 50 CTer = 0	Jefferson et al. (1999)
	Grade + filtro duplo / areia	Membrana		DBO ₅ = 4,7 DQO = 35,7 Turb = 0,34 CTer = 0	Jefferson et al. (1999)
	Grade	Membrana		DBO ₅ < 19 DQO = 112 Turb < 1 CTer = ND	Jefferson et al. (1999)
	Grade	Lodo ativado com membrana (MBR)		DBO ₅ = 1,1 DQO = 9,6 Turb = 0,32 CTer = ND	Jefferson et al. (1999)
	Grade	Biofiltro aerado submersos		DBO ₅ = 4,3 DQO = 15,1 Turb = 3,2 CTer = 2x10 ⁴	Jefferson et al. (1999)
Brasil / Predial	Peneira	Reator anaeróbio compartimentado + filtro biológico aerado submerso + filtro de areia	Cloração com pastilhas de hipoclorito de sódio	SS = 1 DBO ₅ = 5 Turb = 2 CTer = 0	Bazzarella e Gonçalves (2005)
Brasil / Residencial	Grade fina	Filtro aeróbio com leito de brita	Cloração com pastilhas de hipoclorito de sódio	SS = 9 DBO ₅ = 6 Turb = 14	Peters (2006)

Fonte: GONÇALVES, 2006.

4.6.5. Estocagem das Águas Cinza

O processo de estocagem é necessário, seja anterior ou posteriormente ao processo de tratamento. A variação temporal da oferta de água exige a regularização da vazão para a manutenção da uniformidade do tratamento, essa regularização é feita através de reservatórios, da mesma forma, a variação da demanda carece da existência de um reservatório pós-tratamento. A utilização de reservatórios diminui o déficit de água, porém aumenta substancialmente as dimensões do sistema de tratamento (GONÇALVES, 2006).

Segundo DIXON *et al.* (1999), se a água cinza for estocada antes do tratamento, existe a vantagem de alguns sólidos primários ficarem retidos antes de chegarem ao tratamento, entretanto, há o risco da geração de maus odores e do crescimento de microrganismos. A água cinza quando estocada na sua forma bruta passa por significantes mudanças de qualidade. DIXON *et al.* (1999) propuseram hipoteticamente quatro principais processos que podem governar essas mudanças. A sedimentação de partículas suspensas e a depleção do oxigênio dissolvido (provavelmente causado pelo crescimento de biomassa aeróbia) são dominantes nas primeiras horas de estocagem. Os outros dois processos-chaves são a reaeração do oxigênio dissolvido na superfície da água (comandado pela variação de temperatura) e a liberação da DQO solúvel devido à degradação anaeróbia do material particulado sedimentado (teoria baseada principalmente pela observação do aumento da DQO, após alguns dias de estocagem e pela produção de maus odores confirmando a anaerobiose).

4.6.6. Reuso das Águas Cinza, Categorias e Limitações

A água cinza pode ser condicionada até atingir características compatíveis com qualquer tipo de reuso, inclusive potável direto, como no caso da estação espacial internacional (BARRY & PHILLIP, 2006). Porém, sua utilização é mais comum para uso não potável. O reuso não-potável é dividido de acordo com sua finalidade, como por exemplo: fins agrícolas, industriais, domésticos, recreativos, para manutenção de vazões, aqüicultura e recarga de aquíferos subterrâneos (BAZZARELLA, 2005). Segundo ERIKSSON *et al.* (2002), diferentes tipos de água cinza podem ser adequados para diferentes tipos de reuso e irão requerer diferentes tipos de tratamento, dependendo do reuso que se pretende.

O uso da água cinza para irrigar deve ser estudado uma vez que os elementos químicos oriundos de produtos de limpeza e/ou de higiene pessoal podem alterar as propriedades do solo diminuindo, por exemplo, a capacidade de drenagem ou modificando o pH (GONÇALVES, 2006).

A água cinza, devidamente tratada e reutilizada, origina diversos benefícios dentre eles:

- Diminuição do consumo de água tratada;
- Diminuição do esgoto gerado;
- Menor pressão sobre fossa séptica ou estação de tratamento;
- Menor emprego de energia e produtos químicos devido à pequena quantidade de água tratada ou cinza que precise de bombeamento ou tratamento;

- Recarga de águas subterrâneas e
- Fixação de nutrientes outrora desperdiçados.

Conforme BEEKMAN (1996) citado por BERNARDI (2003), grandes volumes dessas águas podem ser utilizados em categorias de reuso (como agricultura irrigada e recarga de aquíferos), devendo-se atentar para suas limitações de aplicação, como por exemplo:

- Na categoria de reuso de águas servidas para a agricultura irrigada de culturas e olericultura, as limitações se referem ao efeito da qualidade da água, principalmente a salinização dos solos, e a preocupação patogênica (bactérias, vírus e parasitas) na saúde pública.
- Na categoria para irrigação de ambientes urbanos (parques, jardins, clubes, áreas residenciais, cemitérios, cinturões verdes e gramados), a limitação está relacionada com a contaminação das águas de superfície e subterrânea devido à gestão ineficiente e com restrições na comercialização dos produtos agrícolas e aceitação de mercado.
- Na categoria de reuso para recarga de aquíferos (águas subterrâneas, intrusão salina e controle da subsidência), a limitação na aplicação diz respeito a traços de toxicidade e seus efeitos nas águas de reuso, além da possibilidade de existência de sólidos dissolvidos totais, metais pesados e patógenos nas águas de reuso.

4.6.7. Riscos do Reuso das Águas Cinza

Os riscos à saúde incluem tanto os riscos microbiológicos quanto os riscos devido aos agentes químicos. Os riscos devido a produtos químicos na água de reuso são oriundos da presença de compostos orgânicos, compostos radioativos e de metais, entretanto, esses riscos são muito mais baixos do que os causados por microrganismos patogênicos (GREGORY *et al.*, 1996). Dessa forma, a avaliação de risco é orientada em torno dos riscos microbiológicos.

Padrões ou diretrizes de reuso de água variam de acordo com o tipo de aplicação, com o contexto de cada região, e com os riscos oriundos dessa prática. Dependendo das especificações do projeto, irão existir diferentes requisitos de qualidade, processos de tratamento, critérios de operação e confiabilidade. Entretanto, o ponto de partida de qualquer projeto de reuso de água, independentemente do ponto de aplicação, é a segurança da saúde dos usuários. Por essa razão, os parâmetros microbiológicos são os que recebem a maior atenção nas regulamentações de reuso de água. Uma vez que é inviável o

monitoramento de todos os patógenos, indicadores biológicos específicos são utilizados para minimização desses riscos (EPA, 2004).

4.6.8. Normas e Legislações Específicas

Em âmbito mundial, as normas e legislações referentes ao reuso da água são diversificadas, variando entre países e até mesmo entre estados. Porém, geralmente são fundamentadas em dois princípios, a legislação que regulamenta a aplicação da prática de reuso e a legislação que determina limites de qualidade para a água a ser reutilizada (GONÇALVES,2006).

Diversos países têm desenvolvido diferentes alternativas para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Todavia, o fator econômico é que governa a escolha de uma estratégia, principalmente com relação aos custos do tratamento e de monitoramento. Grande parte dos países desenvolvidos estabeleceu diretrizes conservativas, com baixo risco e utilizando tecnologias de alto custo, como os padrões californianos (tabela 9). Entretanto, isso nem sempre garante um baixo risco, em virtude da falta de experiência operacional. Um grande número de países em desenvolvimento adota outra estratégia de controle dos riscos à saúde, através de tecnologias de baixo custo baseadas nas recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) (BAZZARELLA, 2005).

Tabela 26. Normas internacionais para o uso de água em descarga sanitária.

	Tratamento	PARAMETROS									
		pH	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)	Turbidez (NTU)	Coli. Total (ufc/100mL)	Coli. Focal (ufc/100mL)	Cloro livre Cl2	Cloro residual (mg/L)		
1 EPA (uso urbano irrestrito)	Arizona	Secundário, Filtração e Desinfecção	-	-	-	2 (méd) 5 (máx)	-	ND (méd) 23 (Máx)	-	-	
	Califórnia	Oxidação, Coagulação, Filtração e Desinfecção	-	-	-	2 (méd) 5 (máx)	2,2 (méd) 23 (Máx)	-	-	-	
	Flórida	Secundário, Filtração e Alto nível de Desinfecção	-	20	5	-	-	ND (75%) 25 (Máx)	-	-	
	Hawáii	Oxidação, Filtração e Desinfecção	-	-	-	2 (máx)	-	2,2 (méd) 23 (Máx)	-	-	
	Nevada	Secundário, Desinfecção	-	30	-	-	-	2,2 (méd) 23 (Máx)	-	-	
	Texas	-	-	5	-	3	-	20 (méd) 75 (Máx)	-	-	
	Washington	Oxidação, Coagulação, Filtração e Desinfecção	-	30	30	2 (méd) 5 (máx)	2,2 (méd) 23 (Máx)	-	-	-	
	2	Austrália	Desinfecção	-	< 10 (90%) 20 (máx)	< 10 (90%) 20 (máx)	-	<1	<10 (90%) 30 (Máx)	0,5-2,0 (90%) 2,0 (máx)	-
	3	South Austrália	Secundário, filtração terciária e desinfecção	-	< 20	< 10	2 (méd) 5 (máx)	< 10	-	-	-
	4	Alemanha - guideline		6 - 9	20	30	1 - 2	500	100	-	-
	WHO		-	-	-	-	1000 (m) 200 (g)	-	-	-	
5	Japão		6 - 9	10	-	5	10	10	-	-	
6	Padrões Canadenses propostos		-	30	30	5	200	200	-	> 1	

1 - EPA (2004)
2 - NSW health, 2006
3 - Citado em: KAYAALP (1996)
4 - Citado em: JEFFERSON (1999).
5 - Citado em: LAZAROVA (2003)
6 - CMHC (2004)
m - mandatory
g - guideline

Fonte: GONÇALVES, 2006.

No Brasil existem apenas poucas legislações que incentivam a prática do reuso de água. As tabelas 10 e 11 mostram alguns limites estabelecidos para reuso em descarga de vasos sanitários e algumas legislações que regulamentam o uso de fontes alternativas de água, respectivamente.

Tabela 27. Normas brasileira NBR 13 969/97 e padrões propostos no manual da FIESP (SAUTCHUK et al., 2005) para reuso de água em descarga sanitária

Parâmetros	Manual de "Consevação e reúso de água em edificações " Classe 1 (FIESP, 2005)	NBR 13.969/97 item 5.6.4 Classe 3
pH	6,0 - 9,0	-
Cor (UH)	= 10	-
Turbidez (NTU)	= 2	< 10
Óleos e Graxas (mg/L)	= 1	-
DBO (mg/L)	= 10	-
Coliformes Fecal (NMP/100mL)	Não detectáveis	< 500
Compostos Orgânicos Voláteis	Ausentes	-
Nitrato (mg/L)	= 10	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	= 20	-
Nítrito (mg/L)	= 1	-
Fósforo Total (mg/L)	= 0,1	-
SST (mg/L)	= 5	-
SDT (mg/L)	= 500	-

Fonte: GONÇALVES, 2006.

Tabela 28. Legislações que regulamentam a utilização de fontes alternativas de água.

Finalidade	Água de chuva	Água Cinza	Esgoto sanitário
Contenção	Lei Nº 13.276/2002 São Paulo/SP	--	--
Uso predial	Lei Nº 10.785/2003 Curitiba/PR	Lei Nº 10.785/2003 Curitiba/PR	NBR 13.969/1997
	Lei Nº 13.276/2002 Regulamentada pelo Decreto Nº 51.184/2002 São Paulo/SP	Lei Nº 6.345/2003 - Maringá/PR	Projeto de Lei Nº 074/14L/2005 Novo Hamburgo/RS
	Lei Nº 6.345/2003 Maringá/PR		
	Projeto de Lei Nº 074/14L/2005 Novo Hamburgo/RS		
	Decreto Nº 23.940/2004 Rio de Janeiro - RJ		
Uso urbano	Decreto Nº 48138/2003 Estado de SP	--	Lei Nº 6.076/2003 Maringá/PR
			Lei Nº 13.309/2002 Regulamentada pelo Decreto Nº 44.128/2003) São Paulo/SP
			NBR 13.969/1997

Fonte: GONÇALVES, 2006.

4.7. *Wetlands*

4.7.1. Definição

Wetlands são áreas de transição entre um sistema terrestre e um aquático. Podemos relacionar *wetlands* a diversos habitats úmidos como banhados, pântanos, brejos, zonas alagadiças, charcos, manguezais e áreas similares (ANJOS, 2003 citado por SANTIAGO, 2005). Para COWARDIN (1979) citado por SANTIAGO (2005), em uma das definições mais aceitas hoje, as *wetlands* devem ter uma ou mais das três características: a) apresentar, pelo menos periodicamente, predominância de macrófitas; b) ter como substrato dominante um solo hidromórfico não-drenado; e, ou, c) ter um substrato inorgânico, por exemplo pedregulho, saturado ou encoberto pelo lençol freático por algum tempo durante a época de germinação a cada ano.

O sistema *wetland* destaca-se pela sua capacidade de remover carga poluidora, manter a conservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos, reduzir o aquecimento global da terra, fixar o carbono do meio ambiente, mantendo o equilíbrio do CO₂, além de conservar a biodiversidade (DENNY, 1997).

4.7.2. *Wetlands* Construídas

As *wetlands* construídas são sistemas artificialmente projetados para utilizar plantas aquáticas (macrófitas) em substratos como areia, cascalhos ou outro material inerte, onde ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos os quais, por meio de processos biológicos, químicos e físicos, tratam águas residuárias (SOUSA *et al.*, 2000 e SOUSA *et al.*, 2003). Apresenta as vantagens de oferecer flexibilidade quanto à escolha do local de implantação, às condições de otimização da eficiência de remoção de matéria orgânica e de nutrientes, ao maior controle sobre as variáveis hidráulicas e à maior facilidade quanto ao manejo da vegetação (KADLEC & KNIGHT, 1996; KIVAISI, 2001; LIM *et al.*, 2001 e SOLANO *et al.*, 2004 citado por SANTIAGO, 2005).

Os sistemas de *wetland* tem representado um bom desempenho no tratamento de efluentes, principalmente nos domésticos. Apesar de sua ampla utilização, muitos estudos estão sendo conduzidos a fim de identificar e aperfeiçoar o papel de cada elemento atuante no tratamento, destacando-se o tipo de fluxo empregado, o material filtrante, as macrófitas, os máximos carregamentos afluentes (tanto a nível hidráulico como orgânico), as cinéticas de depuração, a transferência de oxigênio, a estrutura e metabolismo do biofilme formado e a vida útil do sistema (SEZERINO, 2006).

4.7.3. Classificação

As *wetlands* construídas empregadas no tratamento de águas residuárias, são classificadas em dois grandes grupos: sistemas de lâmina livre ou de escoamento superficial e sistemas de escoamento subsuperficial (PHILIPPI & SEZERINO, 2004). As terras úmidas de fluxo superficial constituem bacias ou canais, onde são povoadas as macrófitas que utilizam o material orgânico e nutrientes das águas residuárias a ser tratadas. Geralmente, são tipicamente longas e estreitas, para evitar curtos circuitos. A superfície da água a ser tratada se mantém sobre o substrato. Nas terras úmidas de fluxo subsuperficial, a água residuária a ser tratada esco horizontalmente, através da zona das raízes e rizomas das macrófitas, situadas a cerca de 15 a 20cm abaixo da superfície do substrato.

4.7.4. Fluxos

As *wetlands* de fluxo subsuperficial ainda podem ser subdivididas em dois grupos quanto ao caminho da água: fluxo Horizontal e fluxo vertical. O princípio básico no sistema de fluxo horizontal é a formação de biofilme aderido a um meio suporte e raízes das plantas, onde comunidades de microrganismos aeróbios e anaeróbios irão depurar a matéria orgânica e promover a transformação da série nitrogenada (nitrificação e desnitrificação). Os sistemas de fluxo vertical vêm sendo aplicados para a remoção de DBO_5 , sólidos suspensos e para a promoção da nitrificação, devido a potencialidade da aderência de nitrificantes no material filtrante, compondo o biofilme, e a uma entrada de oxigênio superior a demanda de conversão da matéria carbonácea (SEZERINO, 2006).

4.7.5. Aplicações

Segundo BEGOSSO (2009), a nível nacional e internacional a utilização do sistema de *wetland* tem sido aplicada para a purificação de água em diversas situações, tais como:

- Tratamento integral de efluente doméstico;
- Tratamento secundário e terciário de efluente;
- Tratamento de efluente agrícola e escoamento superficial agrícola;
- Tratamento de escoamento superficial urbano;
- Barreiras de retenção para o controle da poluição difusa;
- Tratamento de grandes volumes de água de rios atualmente classificados como classe 3 ou 4 para enquadramento em rios de Classe 2;

- Tratamento de água de rios Classe 2 para abastecimento industrial e urbano;
- Recuperação de áreas alagadas com o intuito principal de aumento de biodiversidade e consequente atividades de educação ambiental.

4.7.6. Mecanismos de Remoção do Sistema de *Wetland*

Para a remoção de sólidos suspensos o sistema de *wetland* utiliza de processos físicos, ao atravessar o sistema a água cinza é filtrada e seus sólidos sedimentados. Os microrganismos patogênicos são eliminados através da desinfecção pela radiação UV, ou pela predação, e podem ser eliminados também por ação das raízes das macrófitas uma vez que essas têm a capacidade de excretar antibióticos.

O material orgânico solúvel contido no afluente da *wetland* é removido através de processos microbiológicos realizados por microrganismos que compõe o biofilme formado no substrato. A degradação pode ser aeróbia ou anaeróbia e envolve reações como nitrificação, amonificação e desnitrificação.

O nitrogênio pode ser utilizado pelo metabolismo das macrófitas, assim como o fósforo, ou ser volatilizada na forma de amônia. O fósforo além de ser utilizado pelas plantas pode ser removido através da adsorção e da troca catiônica.

Os metais podem ser eliminados por diversas formas dependendo da natureza desse metal. Podem, então precipitar, complexar, ser incorporados no metabolismo da planta, sofrer oxidação redutiva ou ser eliminados por sedimentação ou filtração.

4.7.7. Vantagens e Desvantagens da Utilização de *Wetlands*

Como todo sistema de tratamento de água e esgoto, as *wetlands* apresentam vantagens e desvantagens. Entre as vantagens podemos destacar o baixo custo de operação, a facilidade de operação e manejo, remoção satisfatória da matéria orgânica, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo, considerável remoção dos patógenos além da biomassa formada poder ser utilizada para fins econômicos, através de confecção de produtos artesanais como cestos e similares (BEGOSSO, 2009 e SEZERINO, 2006). Como desvantagens podemos ressaltar a alta demanda de área, a necessidade de substrato, a necessidade de manejo das macrófitas e a susceptibilidade a entupimento dos espaços vazios do substrato (SEZERINO, 2006).

4.8. Legislação Utilizada

LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 375, DE 29 DE AGOSTO DE 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 380, DE 31/10/2006. Retifica a Resolução CONAMA nº 375/2006 - Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

RESOLUÇÃO CNRH 54/2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto e não potável de água no Brasil.

NBR 8160:1999 SISTEMAS PREDIAIS DE ESGOTO SANITÁRIO - PROJETO E EXECUÇÃO. Estabelece as exigências e recomendações relativas ao projeto, execução, ensaio e manutenção dos sistemas prediais de esgoto sanitário, para atenderem às exigências mínimas quanto à higiene, segurança e conforto dos usuários, tendo em vista a qualidade destes sistemas.

NBR 13969:1997 TANQUES SÉPTICOS - UNIDADES DE TRATAMENTO COMPLEMENTAR E DISPOSIÇÃO FINAL DOS EFLUENTES LÍQUIDOS - PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO. Oferece alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico, dentro do sistema de tanque séptico para o tratamento local de esgotos.

5. Metodologia

Esta pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Viçosa, como parte do curso de Engenharia Ambiental, entre os meses de abril e agosto de 2010. O trabalho foi desenvolvido em seis partes.

- Revisão bibliográfica;
- Avaliação do melhor modelo de banheiro a se basear;
- Dimensionamento de um banheiro compostável adequado;
- Dimensionamento do tratamento de águas cinza;
- Avaliação do armazenamento e reuso da urina;
- Orçamento da unidade sanitária completa.

Para realização desta pesquisa utilizou-se as instalações do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFV (LESA), o Laboratório de Qualidade da Água da Engenharia Agrícola da UFV, onde foram realizadas as análises microbiológicas e físico-químicas do composto. O banheiro seco utilizado no estudo está localizado na propriedade do professor Meublis localizada no Palmital, zona rural do município de Viçosa.

5.1. Banheiro seco

Os resíduos gerados em um banheiro seco são as fezes, urina humana e o papel higiênico. Como a unidade sanitária em questão possui um sistema que separa a urina das fezes, estes foram abordados separadamente. O processo de sanitização dos resíduos que está sendo considerado neste trabalho é a compostagem, assim, para que este processo ocorra de forma eficiente, foi necessário o balanceamento da relação C/N das fezes, sendo o material utilizado para tal fim, a serragem.

A geração de excretas humana foi quantificada em diversos trabalhos, e algumas citações encontram-se na tabela 12.

Como os dados de geração de fezes apresentados estão muito próximos, no dimensionamento do banheiro seco foram considerados os valores 51 Kg/pessoa.ano de massa úmida e 11 Kg/pessoa.ano de massa seca citados por SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004.

A caracterização destes excretas já é detalhada em literatura e representada na tabela 13.

Tabela 29. Geração de fezes e urina humana.

Parâmetro	Unidade	Urina	Fezes	Papel higiênico	Referência
Massa úmida	Kg/pessoa.ano	550	51	8.9	SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004
Massa seca	Kg/pessoa.ano	21	11	8.5	SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004
Volume	L/pessoa.dia	1.23			ZANCHETA, 2007
Volume	L/pessoa.ano	500	50		GONÇALVES, 2006
Volume	L/pessoa.dia	1.5			RAUNCH et al, 2003 citado por BAZZARELLA et al, 2005

Tabela 30. Caracterização das fezes, urina humana e serragem.

Parâmetro	Unidade	Urina	Fezes	Serragem	Referência
Densidade	g/cm ³		1		FERREIRA, 2005
				0.11	RIBEIRO, 2008
Umidade	%			11,92	PRATES, 2009
			82		ZAVALA, 2006
			80		AZEVEDO, 2004
Teor de carbono	%			48	RIBEIRO, 2008
			48		COMASTRI, 1981
Teor de matéria orgânica	%		20		TARE, 2009
		2.5	20		FUNASA, 2006
	% (massa seca)		88		AZEVEDO, 2004
Nitrogênio	g/pessoa.ano	4000	550		SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004
	g/L	7.5			ZANCHETA, 2007
	Kg/pessoa.ano	5.6	0.09		PROSAB, 2006
Fósforo	g/pessoa.ano	365	183		SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004
	g/L	0.5			ZANCHETA, 2007
	Kg/pessoa.ano	0.4	0.19		PROSAB, 2006
Potássio	Kg/pessoa.ano	1.2	0.4		SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004
	g/L	1.6			ZANCHETA, 2007
	Kg/pessoa.ano	1	0.17		PROSAB, 2006
C/N	Adimensional			120	RIBEIRO, 2008
			8/1		COMASTRI, 1981
			5/1		REDLINGER et al., 2001
			12/1		TARE, 2009

De acordo com PEREIRA NETO (2007), o processo de compostagem, se bem controlado, dura aproximadamente três meses. Segundo a OMS (2006), é recomendado que a compostagem de fezes humanas dure de 3 a 5 meses e de acordo com REDLINGER *et al.* (2001) que esta ocorra durante 3 a 6 meses. Para o dimensionamento da câmara de compostagem constituinte do banheiro seco foi proposto um período de armazenamento das fezes de seis meses, pois, como o trabalho em questão é voltado para utilização da unidade em residências e nestas nem sempre se pode garantir que haverá o devido monitoramento dos parâmetros envolvidos no processo, foi previsto um período de segurança.

Segundo, KIEHL (1979), a relação C/N ideal na compostagem é de 30:1 e de acordo com WINBLAD *et al* (2004) a relação C/N para a compostagem de fezes humanas deve estar entre 15 e 30:1. No projeto, a relação de 30:1 foi planejada para ser alcançada com o incremento de serragem após cada utilização do banheiro. O cálculo da quantidade de carbono nas fezes foi feito a partir do teor de matéria orgânica presente na mesma, e de acordo com MARAGNO (2007), isso pode ser feito através da equação abaixo:

Então, o volume da unidade foi calculado com base no volume de excretas gerados por pessoa e no adicional de serragem a ser colocado. Finalmente, considerou uma média de cinco habitantes por residência na zona rural, área de enfoque do trabalho, para cálculo do volume final da unidade.

5.2. Armazenamento da Urina

A estocagem, que é um processo convencional de armazenamento da urina para torná-la estéril e estabilizada físico-química e biologicamente, também possibilita a precipitação na forma de estruvito. Assim, como especificado em GONÇALVES (2006), foi calculado o volume do reservatório, considerando que o processo necessita de um período de pelo menos um mês estocada (SCHÖNNING & STENSTRÖM, 2004), em reservatórios opacos e fechados, com o intuito de que a urina humana possa ser utilizada com segurança, minimizando assim o risco de transmissão de doenças infecciosas. No dimensionamento foi considerado uma geração de 1.5L por pessoa por dia desse excreta, de acordo com os dados citados na tabela 12.

5.3. Água Cinza

Para o tratamento da água cinza foram propostos dois métodos: um baseado na construção de uma *wetland* adaptada e o outro em uma vala de filtração seguida de uma roda de bananeira, dentre estes cabe ao usuário escolher aquele que melhor se enquadrar à sua própria realidade. A *wetland* considera uma possível reutilização da água tratada na agricultura (irrigação) e a opção seguinte, caso não haja o interesse de reutilização da água, considera a disposição final nas bananeiras, após uma filtração simplificada.

5.3.1. Caracterização Quantitativa e Qualitativa

As características das águas cinza relevantes para o dimensionamento de um sistema de tratamento, para a aplicação na agricultura, são principalmente DBO₅ e vazão. Essas características estão expressas em vários trabalhos. Através desses estudos foi possível criar uma tabela comparativa para as características qualitativas (tabela 14).

Tabela 31. Características qualitativas das águas cinza.

Parâmetro	Unidade	Valor	Referência
DBO ₅	mg/l	40 – 291	LINDSTROM, 2000 apud ERCOLE, 2003
		16,7 – 286,9	ZABROCKI, 2005 apud PETERS et al, 2006
		571	BAZZARELLA, 2005
Nitrogênio total	mg/l	2 – 11,3	LINDSTROM, 2000 apud ERCOLE, 2003
		0,6 - 74	ERIKSSON et al., 2002
		2,1 - 31,5	JEPPERSEN & SOLLEY, 1994
Fósforo total	mg/l	0,51 - 38,4	ZABROCKI, 2005 apud PETERS et al, 2006
		0,6 -27,3	JEPPERSEN & SOLLEY, 1994
		5,9	MAGRI, 2007
		7,65 – 88.9	GONÇALVES, 2006
Sólidos suspensos	mg/l	20 -160	LINDSTROM, 2000 apud ERCOLE, 2003
	g/p.d	18	FINDLEY 1994 apud ERCOLE, 2003
Coliformes totais	NMP/100ml	102 – 254	LINDSTROM, 2000 apud ERCOLE, 2003
		1,2	MAGRI, 2007
Turbidez	UT	20 – 140	LINDSTROM, 2000 apud ERCOLE, 2003

A determinação da geração de água cinza também aparece várias vezes na literatura. A tabela 15 expressa os valores encontrados.

Tabela 32. Geração de água cinza segundo diversos autores.

	MAGRI, 2007	BAZZARELA, 2005	FOSTER & DeCOOK 1986, citado por ROSE, 1991	INGHAM 1990, citado por ROSE,1991	BEGOSSO, 2009
Volume (L/hab.d)	77,3	122,7	117	223	77,7

5.3.2. Caixa de gordura

A caixa de gordura será aplicada anterior ao sistema de tratamento como objetivo de reter os óleos oriundos da pia da cozinha. Somente essas águas atravessarão a caixa, sendo que o restante da água cinza não apresenta esta necessidade, sendo direcionada diretamente para a unidade de retenção de sólidos grosseiros. A caixa foi dimensionada a partir da norma NBR8160, considerando a população de cinco pessoas.

5.3.3. Caixa de Passagem e Peneira

Por apresentar um elevado valor de sólidos grosseiros como fibras de tecido, cabelo, partículas de sabão entre outros, a água cinza provenientes da residência deve atravessar uma caixa de passagem contendo uma peneira para que os sólidos não interfiram no tratamento futuro. A NBR 09649/86 define como caixa de passagem câmaras sem acesso localizadas em pontos singulares por necessidade construtiva e a NBR 8160/99 a define como sendo uma caixa destinada a permitir a junção de tubulações do subsistema de esgoto sanitário. Dessa forma, nessa unidade de tratamento a caixa de passagem receberá as águas provenientes da caixa de gordura e do banheiro. Para tratamentos de águas cinza que serão reutilizadas em formas de reuso que necessitam de uma constância do efluente tratado é interessante que a caixa de passagem funcione também como um equalizador de vazão, porém a nível domiciliar esse procedimento não se faz necessário.

Para o dimensionamento da caixa de passagem a NBR 8160/99 prevê que a caixa deve conter um diâmetro mínimo de 0.15 metros quando cilíndrica e quando prismática deve apresentar em sua base um polígono que permita inscrição de um círculo de diâmetro de 0.15 metros. A norma define também a caixa com uma altura mínima de 0.1 metros.

A peneira foi dimensionada para permitir que os sólidos grosseiros sejam retidos e a água atravesse a peneira e passe para a próxima etapa do tratamento. Para a melhor evolução do processo é interessante que a peneira esteja inclinada em um ângulo entre 45 e 60 graus .

5.3.4. *Wetland*

A norma técnica brasileira ainda não apresenta um critério para dimensionamento de *wetland*, dificultando a sua execução. Para as *wetlands* de fluxo horizontal os modelos oriundos da cinética de primeira ordem, em termos de matéria orgânica carbonácea, aplicável aos reatores tipo pistão, são os mais amplamente utilizados para prever a área superficial necessária para a promoção do tratamento secundário de águas residuárias ou de baixa carga orgânica (CONLEY *et al.*, 1991; PHILIPPI & SEZERINO, 2004; ROUSSEAU *et al.*, 2004 citado por BEGOSSO 2009).

Segue equação para o dimensionamento da área requerida para a construção da *wetland* (BEGOSSO, 2009):

Onde:

A = área superficial requerida (m²);

Q = vazão afluyente (m³/d);

C₀ = concentração afluyente em termos de DBO_{5,20} (mg/ℓ)

C_e = concentração efluente em termos de DBO_{5,20} (mg/ℓ)

K_T = constante de reação da cinética de primeira ordem (dependente da temperatura);

n = porosidade do substrato (m³vazios por m³ material);

p = profundidade do maciço filtrante.

Segundo BEGOSSO (2009), a constante K_t pode ser convertida através de equações empíricas para a temperatura desejada através da equação proposta pela NATURAL SYSTEMS (1990):

Onde:

K₂₀ = 1,28 (adotado);

O volume total da *wetland* pode ser calculado por:

Onde:

V = volume (m³);

A = área superficial requerida (m²);

p = profundidade (m)

Como valor de concentração de DBO₅ afluyente foi adotado 200 mg/L, valor este adaptado dos encontrados na literatura, e como concentração efluente 5mg/L a fim de que a água tratada se enquadre na Classe II seguindo a RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357. A vazão afluyente adotada foi de 77,7 L/hab.d, por apresentar um valor coerente com o consumo por comunidades tradicionais. A porosidade e a profundidade do maciço filtrante foram adotadas segundo BEGOSSO (2009), sendo de 44% e 0,5 respectivamente. O valor de K_t foi calculado através da média de temperaturas da região sudeste que varia de 18 a 22°C segundo a NBR 13969/97.

A figura 14 representa a dinâmica da unidade de tratamento de água cinza caso seja escolhido o tratamento por *wetland*.

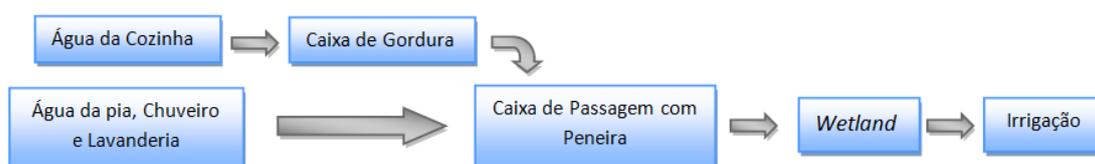


Figura 33. Fluxograma do sistema de tratamento de água cinza por *wetland*.

5.3.4.1. Vegetação

O tratamento de águas residuárias por meio de *wetland* tem também como característica importante o uso de plantas, cientificamente definidas como macrófitas aquáticas vasculares, estabelecidas em um substrato, que pode ser constituído de vários tipos de solos ou pedras. (BEGOSSO, 2009). As macrófitas desempenham um importante papel no tratamento de águas residuárias, porque elas necessitam de nutrientes para o crescimento e reprodução.

Para a construção de uma *wetland*, ou sistema de terras úmidas, deve-se selecionar as macrófitas aquáticas obedecendo a alguns critérios, sendo esses, tolerância a ambiente eutrofizado, valor econômico, crescimento rápido e fácil propagação, absorção de nutrientes e condições de manejo e colheita (BEGOSSO, 2009). Dessa forma, a escolha da vegetação a ser incorporada fica a gosto do proprietário, desde que a planta escolhida siga os critérios

expostos. No presente trabalho, foi adotado como vegetação o Papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*) e a Taboa (*Typha domingensis*).

5.3.5. Vala de Filtração seguida por roda de bananeira

Como alternativa de tratamento foi dimensionado um sistema constituído por uma vala de filtração e em seguida a disposição do efluente em solo para o plantio de bananeira. A NBR 13 969/97 define vala de filtração como sendo toda vala escavada no solo, preenchida com meios filtrantes e provida de tubos de distribuição de esgoto e de coleta de efluente filtrado, destinada à remoção de poluentes através de ações físicas e biológicas sob condições essencialmente aeróbias. Para o dimensionamento foram utilizados a taxa de aplicação superficial. A profundidade foi adotada seguindo a norma, assim como seu preenchimento. A vala deverá apresentar uma declividade mínima para garantir o escoamento da água, essa declividade deverá estar entre os limites de 1:500 e 1:300 (FUNASA,2006). A impermeabilização da vala se faz necessária por se tratar de uma vala de filtração, o material sugerido é a lona. A água será distribuída através de uma tubulação de PVC com furos. Após atravessar a vala a água será disposta no solo onde será aplicado o cultivo de bananeira. A equação utilizada para o cálculo da área superficial encontra-se a seguir:

—

onde:

TAS = Taxa de aplicação superficial (L/dia.m²);

Q = vazão afluente;

A_s = Área superficial.

A conformidade da calha pode ser adequada ao terreno, podendo apresentar curvas, desde que essas não sejam acentuadas para não comprometer o escoamento da água.

A figura 15 representa o sistema de tratamento da água cinza caso seja escolhido o tratamento pela vala de filtração seguido pela disposição no solo com presença de bananeira.

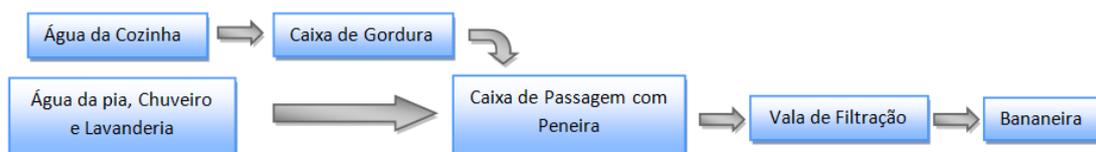


Figura 34. Fluxograma do sistema de tratamento de água cinza por vala de filtração seguida de roda de bananeira.

5.4. Análise do Composto Gerado

5.4.1. Amostragem

No momento da amostragem o composto se encontrava em sacarias, pois a câmara do banheiro já havia sido esvaziada, uma vez que o composto tinha sido armazenado durante seis meses, estando pronto para o uso. Dessa forma, a coleta da amostra foi feita pela abertura superior do recipiente, sendo coletadas amostras simples em diferentes profundidades a fim de promover a homogeneidade da amostra composta formada por estas.

5.4.2. Análise Microbiológica

Para a quantificação dos coliformes termotolerantes e dos coliformes totais, à amostra devidamente preparada foi adicionado o meio de cultura, o reagente Colilert. Esse reagente utiliza a tecnologia *Defined Substrate Technology* (DST). Após a agitação do material, este foi adicionado à *Quant-Tray* e incubadas conforme *Standart Methods for Water and Wastewater* (MATOS, 2008).

5.4.3. Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

A determinação de sólidos foi feita através da secagem do composto a diferentes temperaturas. Os sólidos totais foram representados pela massa que permaneceu após a secagem do material sob temperatura de 103-105°C. Essa massa foi submetida a uma temperatura de 550°C, com isso a fração orgânica oxidou e foi liberada como gás. Dessa forma, a pesagem após essa etapa determinou os sólidos fixos e a matéria perdida como gás representou os sólidos voláteis (MATOS, 2008).

5.4.4. Condutividade Elétrica e pH

O pH foi medido através da solução de CaCl_2 0,01 mol.L⁻¹, baseada em SILVA (1999). A determinação da condutividade elétrica foi feita através da leitura do eletrodo imerso em uma

solução contendo o composto e água. A mistura foi preparada adicionando 1 ml de água para cada 1mg de composto, seguida de agitação e repouso por 24hrs.

5.4.5. Carbono Orgânico

O método utilizado para a determinação do carbono total na amostra foi o Método volumétrico pelo bicromato de potássio. O método consiste na oxidação da matéria orgânica da amostra a CO_2 e na redução do cromo (Cr) da solução extratora da valência +6 (Cr^{+6}) à valência +3 (Cr^{3+}). Em seguida, faz-se a titulação do excesso de bicromato de potássio pelo sulfato ferroso amoniacal.

5.4.6. Nutrientes

Os teores de fósforo e potássio do composto foram quantificados através do método fundamentado pela digestão nítrico perclórica. A mistura nítrico perclórica oxida parcialmente o material com ácido nítrico e o restante é oxidado pelo ácido perclórico. Após a digestão, o fósforo foi quantificado através da adição de Molibdato de Amônio e Metavanadato de Amônio que reagem com o fósforo presente formando um composto azulado. Assim, de acordo com a intensidade da coloração azul, determina-se o teor de fósforo por espectrofotometria. As leituras em diferentes concentrações permitem a criação de uma reta padrão, que evidencia a concentração do fósforo. A determinação do potássio foi feita a partir de leituras da mistura digerida por espectrofotometria de chama em diferentes concentrações e pela construção de uma reta padrão.

Para a determinação do teor de nitrogênio total da amostra o método utilizado baseia-se na transformação do nitrogênio da amostra em sulfato de amônio por meio da digestão com ácido sulfúrico e posterior destilação com liberação da amônia, que é fixada em solução ácida e titulada. Conhecido também como nitrogênio Kjeldahl.

6. Resultados

6.1. Dimensionamento do Banheiro Seco

De acordo com o SCHÖNNING & STENSTRÖM (2004) tem-se a quantidade de resíduos gerados por uma pessoa durante um ano, como mostra a tabela 17.

Tabela 16. Resíduos per capita.

Parâmetro	Valores
Massa úmida	51 Kg/pessoa.ano
Massa seca	11 Kg/pessoa.ano
Densidade	1g/cm ³

Fonte: SCHÖNNING & STENSTRÖM (2004).

Tem-se então,

E,

De acordo com REDLINGER *et al.* (2001), a relação C/N das fezes é 5:1. Mas para atingir melhor eficiência no processo de compostagem deve-se obter uma relação C/N igual a 30:1. Neste caso após cada defecação, será colocado um pouco de serragem.

Para fazer o balanço da relação carbono/nitrogênio será considerada a massa seca das fezes e da serragem.

De acordo com FUNASA (2006) e TARE (2009) o teor de matéria orgânica nas fezes é de 20%. Então, na massa seca será:

—

De acordo com AZEVEDO (2004), o teor de matéria orgânica na massa seca das fezes é de 88%. Assim, o valor encontrado se encontra próximo de tal dado e será adotado o teor de 90%.

Segundo MARAGNO (2007),

Então,

Observa-se na tabela 18 a caracterização da serragem de acordo com RIBEIRO (2008).

Tabela 33. Caracterização da serragem.

Parâmetro	Valores
Umidade	11,92%
Teor de C	48%
Densidade	0,11g/cm ³
Relação C/N	120:1

Fonte: RIBEIRO (2008).

Considerando inicialmente que a serragem não contenha nitrogênio, teríamos que adicionar certa quantidade de carbono.

Utilizando o percentual de carbono na serragem é possível calcular a quantidade de serragem seca a ser colocada para atingir a relação C/N adequada,

Conferindo a relação C/N obtida e considerando agora o nitrogênio presente na serragem, foi encontrado o valor aproximado de 24/1. Como a relação C/N da compostagem de fezes humanas citado por WINBLAD *et al.*, 2004 deve estar entre 15 e 30/1, será mantida a quantidade de serragem encontrada.

Agora será calculado o volume ocupado pela serragem:

A câmara armazenará excretas por um período de 6 meses, ou seja, 180 dias.

Volume ocupado pelas fezes:

Volume total:

Considerando que no processo de compostagem ocorre uma redução de 90% no volume do material (WINBLAD *et al.* (2004) e van LENGEN (2004)), mas também levando em conta que a compostagem não ocorrerá completamente durante a utilização do banheiro (uma câmara), será adotado uma redução de 50% no volume. E, finalmente adotando uma faixa de segurança, foi obtido o volume útil de cada câmara do banheiro.

Faixa de segurança:

6.2. Dimensionamento do Armazenamento de Urina

Volume de urina produzido diariamente:

Volume útil do reservatório de estocagem:

6.3. Dimensionamento do Tratamento da Água Cinza

6.3.1. Dimensionamento da Caixa de Gordura

O cálculo do volume útil da caixa de gordura foi realizado de acordo com a seguinte equação (NBR8160:1999):

$$Volume_{\text{útil}} = 2 \times N + 20$$

Sendo:

N = número de pessoas servidas pela cozinha.

$$Volume_útil = 2 \times 5 + 20$$

$$Volume_útil = 30 \text{ L}$$

Estabeleceu-se altura molhada de 0,6 metros e relação comprimento/largura de 1,5 metros. Para o cálculo da largura da caixa de gordura foi utilizada a seguinte equação (NBR8160:1999):

$$Largura = \sqrt{\frac{Volume_útil}{1,5 \times h}}$$

Sendo:

Volume_útil = volume útil da caixa de gordura (m³).

h = altura molhada (m).

$$Largura = 0,20 \text{ m}$$

$$Comprimento = 0,30 \text{ m}$$

Volume total da caixa de gordura:

$$Volume_total = Volume_útil \times \frac{100}{75}$$

$$Volume_total = 40 \text{ L}$$

Altura total da caixa de gordura:

$$Altura_total = \frac{Volume_total}{C \times L}$$

Sendo:

Volume_total = volume total da caixa de gordura (m³).

C = comprimento da caixa de gordura (m).

L = largura da caixa de gordura (m).

$$\text{Altura}_{\text{total}} = 0,90 \text{ m}$$

Apesar de dimensionada a caixa de gordura, no sistema será implementada uma caixa de gordura comercial produzida para o uso de 5 pessoas.

6.3.2. Dimensionamento da Caixa de Passagem e Peneira

Seguindo os padrões estabelecidos pela NBR 8160/99, a caixa de passagem apresenta neste projeto as seguintes dimensões: 0,3mx0,3mx0,3m. A peneira é composta por uma malha de espaçamento de 5mm e com dimensões que permitam o encaixe desta dentro da caixa de passagem com uma inclinação de aproximadamente 45 graus. Dessa forma as dimensões da malha são de 0,3mx0,3m.

6.3.3. Dimensionamento da *Wetland*

Para o dimensionamento da área requerida pela *wetland* foram adotados os seguintes valores:

$$Q = 388.5 \text{ l/d} = 0,388 \text{ m}^3/\text{d} \text{ (para 5 pessoas)}$$

$$C_0 = 200 \text{ mg/l}$$

$$C_e = 5 \text{ mg/l}$$

$$K_T = 1,28$$

$$n = 44\%$$

$$p = 0,50$$

Através do exposto, pode-se dimensionar a *wetland* com uma área superficial de 5 m² e com a profundidade de 0,5 m, resultando em um volume de 2,5 m³. Sendo constituído primeiramente por uma coluna vertical de brita 0 de 2,0mx0,3mx0,5m, seguida de uma coluna de pedrisco de 2,0mx1,9mx0,4m e uma última coluna de brita 0 com as dimensões de 2,0mx0,3mx0,4m. Por cima as duas últimas colunas deve-se encontrar uma camada de areia de 2,0mx2,2mx0,1m, preenchendo-se assim todo o volume útil da *wetland*. (ANEXO 6)

6.3.4. Dimensionamento da Vala de Filtração

A vazão utilizada para o dimensionamento foi de 77,7 L/d. pessoa conforme adotado para o dimensionamento da *wetland*. A NBR 13969/97 prevê que a taxa de aplicação do

efluente a ser adotada não deve ser superior a $100 \text{ L/dia} \times \text{m}^2$, dessa forma para uma residência de 5 pessoas podemos calcular a área superficial a partir de:

Uma vez que:

Portanto, para que a taxa de aplicação superficial esteja dentro do limite estabelecido pela norma, a área superficial mínima deve ser de $3,88 \text{ m}^2$. Para o presente projeto adotou-se uma área de 4 m^2 , sendo o comprimento de 4m e a largura 1m.

A profundidade total da vala foi definida como 0,7m sendo que a camada inferior de 0,1m é composta por brita nº1, a camada subsequente composta por areia tem espessura de 0.5m e a camada superior preenchida por brita nº4. A tubulação distribuidora do efluente está situada na camada superior de brita, e é composta por um tubo de PVC de 50 mm, com furos de 1 cm de diâmetro e comprimento de 3,5m.

6.4. Detalhamento da Unidade Sanitária

6.4.1. Descrição dos Componentes

A unidade sanitária é composta por duas câmaras de uso alternado (cada qual com um volume útil próximo de $0,8 \text{ m}^3$), um assento separador de urina, uma pia, um chuveiro, galões para coleta e armazenamento da urina e há ainda a possibilidade de instalação de um mictório, caso haja resistência ao hábito de urinar sentado, por parte dos homens.

O projeto todo foi elaborado visando baixo custo na implantação e manutenção, dessa forma, pequenas mudanças locais podem ser efetuadas em relação ao presente projeto, de acordo com a facilidade na obtenção de materiais e técnicas.

As câmaras são constituídas de placas pré-moldadas de ferro-cimento, feitas pelo próprio usuário, encaixadas e rejuntadas de maneira previamente estabelecidas. O bom funcionamento do sanitário depende diretamente do esmero com o qual serão confeccionadas as placas. O assento destinado à separação de urina é construído a partir de um balde plástico de 20 litros, conforme ilustrado por MORGAN (2007). Para a pia e o chuveiro serão utilizados modelos convencionais, exceto pelo fato da tubulação de saída de tais componentes convergirem para o sistema de tratamento das águas cinza. Um galão plástico de 20 litros será utilizado para coleta e armazenamento da urina, devendo estar localizado do lado de fora do

banheiro, preferencialmente fora da casa. No caso da adoção de um mictório, a tubulação deste deve ser direcionada ao galão citado anteriormente.

6.4.2. Instruções

A seguir, encontram-se as instruções para a confecção da placas e do assento com separação da urina.

6.4.3. Sanitário Seco Pré-moldado

As seguintes instruções são baseadas nos conhecimentos desenvolvidos por van LENGEN (2004) e MORGAN (2007), adaptadas para a realidade da proposta contida neste projeto.

Para a construção deste modelo sanitário, devem-se respeitar algumas características básicas, como a forma proposta, a impermeabilização das câmaras, as telas contra insetos e o sistema de ventilação apresentado. Os materiais, assim como as técnicas sugeridas, podem variar, desde que as exigências citadas acima sejam respeitadas. Como o projeto visa o baixo custo sob uma abordagem geral, este trata da construção das câmaras a partir de um processo artesanal de pré-fabricação, baseado na técnica da argamassa armada. Tal técnica emprega cimento, areia e tela para a construção de estruturas de fácil modelagem que podem ser unidas posteriormente, formando um prisma sólido.

6.4.4. Materiais

- 1 placa de eucatex, com espessura de 6mm;
- 1 saco de cimento;
- 100kg de areia meio-fina, peneirada;
- 1 tubo plástico de 100mm, comprimento de 3m;
- 1 chapéu de zinco para o tubo;
- ½ placa de compensado de 6mm;
- 1 lata de esmalte sintético preto;
- 0,5m² de tela de mosquito;
- 1 tubo plástico de ½ polegada, comprimento de 1 metro;
- 7m² de tela de viveiro;

- 1 vergalhão, de 3/8 polegadas e
- 1 chapa de metal, dimensões 45x65mm.

6.4.5. Preparação da Massa

A massa é feita misturando-se uma parte de cimento com duas de areia peneirada. Adiciona-se água aos poucos e com cuidado, pois o ponto da massa é alcançado enquanto ela está quase seca. Um método para conferir se a mistura está certa é pegar um punhado com a mão e apertar. Caso escorra água pela mão, significa que está molhada demais. Caso o bolo se desfaça, significa que um pouco mais de água deve se adicionado. O correto é que o bolo de massa mantenha a forma quando se abre a mão.

6.4.6. Confeção das placas

Para a montagem de uma câmara são necessárias dez placas pré-fabricadas. O aconselhado é que primeiro se confeccione uma câmara e somente após sua montagem, a outra. As dimensões (em centímetros) das placas se encontram na figura 16.

Na peça E deve ser criada uma abertura para o tubo de ½ polegada que possibilitará o movimento da manivela. É importante que o tubo sobressaia 5cm para fora da câmara.

Na peça F, colocam-se quatro anéis do tubo plástico de 100mm de 0,5cm cada com um pedaço da tela contra inseto entre eles, de modo a formar duas aberturas para entrada de ar na câmara.

Na peça G, que será o assento, utiliza-se 2 placas de compensado de 6mm cortadas no diâmetro do balde que servirá de assento separador de urina, assim como outras duas placas com 100mm de diâmetro, que servirá como encaixe para o tubo de ventilação, para criar duas aberturas na placa.

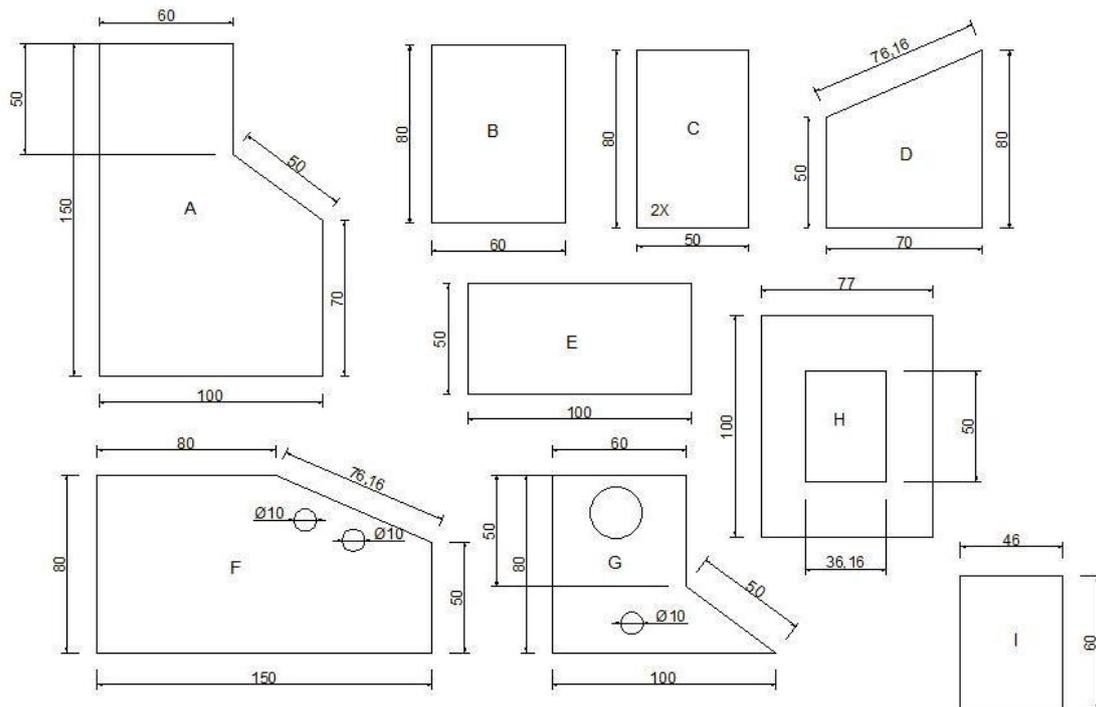


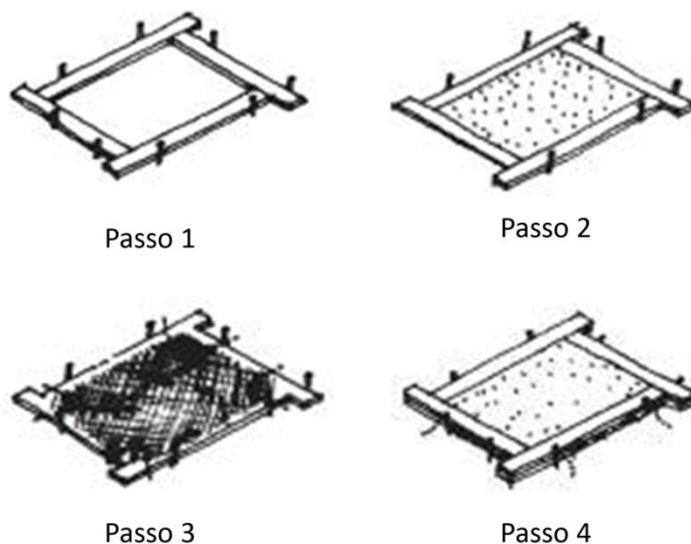
Figura 35. Dimensões das placas pré-moldadas.

Na peça H, dois retângulo de compensado de 6mm, de dimensões 50x36, devem ser utilizados para criar a abertura por onde o composto será retirado.

Para moldar as placas, utiliza-se a placa de eucatex cortada em tiras de 8cm de largura e 6mm de espessura. Com elas, preparam-se os moldes sobre uma superfície plana, fixando com pequenas estacas. Encher com a massa de cimento e areia, formando uma camada de 0,5cm. Cobrir o molde com um pedaço de tela de viveiro, de modo que sobre cerca de 5cm de tela para fora do molde. Pode-se colocar arames dobrados na forma de “U” nos cantos para facilitar a junção das placas. Por fim, coloca-se outro molde do mesmo tamanho sobre o primeiro, completando com mais 0,5cm de massa. Todo o passo-a-passo encontra-se detalhado na figura 17.

No dia seguinte, retira-se com cuidado as estacas e as ripas de eucatex. É muito importante que as placas sequem à sombra pelo período de uma semana, sendo molhadas nos primeiros dias para uma boa cura do cimento.

Figura 36. Confeção das placas pré-moldadas do banheiro seco (van LENGEN, 2004).



6.4.7. Manivela

Por dentro do tubo localizado na placa E, passará um vergalhão de 1,45m com uma placa de metal soldada, em determinada angulação, na sua extremidade. O vergalhão deverá passar por dentro do tampão para o tubo e a área de contato dos dois, bem vedada. Essa tampa evita a entrada de insetos e outros vetores na câmara. A função da manivela é promover o arraste do material fecal para a parte traseira da câmara, assim como colaborar para o reviramento e aeração da pilha.

6.4.8. Montagem do prisma

Após as placas já curadas e secas, começa a montagem do sanitário. Para isso, com a placa A no chão, as demais placas são fixadas. Juntam-se as placas amarrando a tela de viveiro e os arames das quinas. Em seguida, dobram-se os excessos de tela e aplica-se a mesma massa nas juntas, vedando a câmara. Nesse ponto, é muito importante a instalação correta da manivela, a qual deve ser instalada antes do fechamento do sanitário. A instalação e vedação do tubo plástico se dão nesse momento. O tubo encaixa na abertura da placa G, devendo ser pintado de preto e coberto na sua extremidade com o chapéu de zinco e a tela de mosquiteiro. Um modelo de chapéu pode ser criado a partir de uma lâmina de metal cortada na forma de um círculo com 20cm de diâmetro. Para isso, corta-se o círculo até o centro dobrando a lâmina como na figura 18. Ao se encaixar as duas dobras, obtêm-se um chapéu que pode ser

encaixado no tudo de ventilação com o auxílio de um anel feito com lata de alumínio, conforme ilustrado na figura 19.



Figura 18. Chapa de zinco (van LENGEN, 2004).



Figura 19. Esquema para o chapéu do tubo.

Deixa-se secar, à sombra, por mais uma semana. Somente então o assento pode ser afixado, finalizando o sanitário. Por fim, pintam-se de preto a parte externa da câmara e o tubo de ventilação.

É muito importante que a parte externa do sanitário esteja voltada para a face de maior insolação durante o dia e que o tubo não seja sombreado por árvores ou outras construções, como muros e telhados.

6.4.9. Assento Separador de Urina

As seguintes instruções fazem parte do livro “Banheiros que produzem composto” (MORGAN, 2007) e foram reproduzidas para complementação deste projeto.

- Materiais
- 1 balde plástico de 20 litros;
- 1 encaixe curvo para mangueira de 20mm;
- 1 assento de privada, com tampa;
- Cimento, areia e arame, os quais podem ser aproveitados da construção das câmaras.
- Confeção do assento

O primeiro passo é serrar o fundo do balde, utilizando uma cegueta. Na seqüência, serra-se o fundo em duas partes iguais, onde uma das partes servirá como o separador da

urina. Essa metade é então afixada na parede interior do balde, quase na metade da profundidade do mesmo, formando uma angulação entre 45 e 30° com a parede do balde. Para isso, pequenos furos no balde e na base cortada são feitos, de modo que seja possível amarrar uma peça a outra utilizando arame. Imediatamente acima da base já fixada, um furo deve ser feito para o encaixe curvo onde a mangueira coletora de urina será encaixada futuramente. O posicionamento correto deste furo é importante para evitar o acúmulo de urina.

Depois de confeccionado o separador de urina, o próximo passo é fazer o assento. Utilizando um arame previamente esquentado, pequenos furos são feitos nas estruturas plásticas de suporte localizadas na parte interna do assento. Assim, um anel de arame pode ser feito no interior do assento. Em seguida, uma mistura feita de 3 partes de areia peneirada e 1 parte de cimento é adicionada ao assento, cobrindo o arame. Esse arame possibilitará que o cimento fique afixado ao assento plástico. O balde é então centrado no assento, com o cimento ainda molhado.

Deve-se atentar para que o separador de urina esteja voltado para o lado frontal do assento. Uma camada da mesma mistura de cimento e areia é aplicada sobre a borda do balde, de modo a consolidar a estrutura balde-assento. Deixa-se curar por 5 dias, mantendo o cimento sempre úmido.

Por fim, o espaço entre o separador de urina e a parede do balde deve ser vedado para evitar que a urina escorra para dentro da câmara coletora de fezes. Para isso, qualquer massa de vedação pode ser empregada (como colas plásticas ou de silicone), até mesmo goma de mascar. Deve-se começar vedando a parte inferior do separador e terminar pelo furo onde passa o encaixe plástico da mangueira. É aconselhável criar um desnível que direcione a urina para a mangueira de coleta, evitando o acúmulo na estrutura separadora. Todo o procedimento pode ser visualizado passo-a-passo na figura 20.



Figura 20. Confeccção passo-a-passo do assento separador de urina (MORGAN, 2007)

6.4.10. Coleta da Urina

Aconselha-se o uso de galões plásticos opacos de 20 litros para a coleta e armazenamento da urina (MORGAN, 2007). Uma mangueira plástica deve ser direcionada ao galão externo, estando esticada o suficiente para evitar curvas ou bolhas de ar que possam dificultar a passagem da urina. Devem-se evitar mangueiras ou tubulações de metais devido ao poder corrosivo da urina. Os compartimentos plásticos devem estar localizados do lado externo do sanitário e devem ser substituídos assim que atingirem o seu volume útil. É imprescindível que tais galões possuam tampa e que sejam armazenados em um local

destinado a esse fim. Os galões podem ser quaisquer outros recipientes que possibilitem a vedação e o armazenamento correto da urina.

6.5. Construção da *Wetland*

6.5.1. Materiais

- 2 sacos de cimento;
- 140 blocos de concreto;
- 0,5m³ de areia;
- 1 lata de impermeabilizante (cica);
- 0,60m³ de brita 0;
- 1,60m³ de pedrisco;
- Tubo de PVC 50mm;
- 2 encaixes em “T”, 50mm e
- 4 tampões para tubo 50mm.

6.5.2. Instruções

Começa-se construindo com os blocos um retângulo de base 2,0x2,5 metros. Em seguida, sobem-se as paredes do retângulo até atingirem a altura de 0,6 metros. Todo o tanque é construído de alvenaria comum, devendo ter suas paredes rebocadas e, no caso das paredes internas, impermeabilizadas, evitando assim vazamentos indesejados. É importante que o tanque seja construído em pequeno desnível, onde o lado da tubulação de entrada esteja em uma cota superior ao lado onde se encontra a tubulação de saída.

As tubulações são de fácil execução. Para isso, serra-se o cano de PVC de 50mm em quatro peças de 1 metro cada. Utilizando os tampões, fecha-se uma das extremidades de cada cano e montam-se duas estruturas em “T” de 2 metros de comprimento cada, uma para a distribuição da água e outra para a coleta. Na seqüência, furam-se os canos da distribuição e coleta de água com uma broca de diâmetro 10mm, alinhados e espaçados em 5cm entre si.

Após seco e impermeabilizado o tanque e acopladas as tubulações, dá-se o preenchimento do mesmo com o substrato. Para isso, colocam-se camadas verticais de 40cm de pedrisco e brita nº0, dispostas e espaçadas conforme ilustrado na anexo 6. Por fim, uma camada de 10cm de areia é adicionada cobrindo toda a área do tanque.

A vegetação precisa ser estabelecida com o tanque já umedecido, devendo permanecer assim até o correto funcionamento da unidade.

6.6. Vala de Filtração

6.6.1. Materiais

- 8m² de lona plástica;
- 0,6m³ de areia;
- 0,30m³ de brita 1;
- 0,30m³ de brita 4;
- Tubo de PVC 50mm;
- Tampão para tubo 50mm.

6.6.2. Instruções

Para a construção da vala o primeiro passo é escavar o terreno a uma profundidade de 0.7m e com um comprimento de 4m. A dimensão de fundo deve ser de 0.5m enquanto a largura do topo deve ser de 1m. As paredes laterais devem ser inclinadas de modo a unir a largura do fundo até a do topo.

Após a perfuração do terreno deve-se cobrir a vala formada com a lona. A camada inferior é, preenchida por brita nº 1 até uma altura de 0.1m. A camada superior de 0.5m é composta por areia. A terceira camada então, é preenchida por brita nº 4. Porém nesta camada encontra-se a tubulação de PVC de 3.5m de comprimento, que deve ser assentada durante o preenchimento desta. Após a camada de brita nº4 o sistema deve ser recoberto com uma tela fina a fim de impedir a colmatação da vala. Para evitar o contato da população com a vala faz-se necessário a adição de solo natural após a tela.

A tubulação antes de ser inserida na vala deve ser perfurada, por furos de 0.01m de diâmetros espaçados por 5 cm. Ao final do tubo deve ser acoplado o tampão. Dessa forma, a tubulação possibilitará uma distribuição de água do início da vala até o comprimento de 3.5m da mesma.

6.7. Estudo da Economia de Água

Para estudo da economia de água na utilização do banheiro sugerido, foi adotado que uma descarga gasta em média doze litros de água (GONÇALVES, 2006). Considerando que uma pessoa utilize o banheiro de sua residência aproximadamente quatro vezes por dia, temos:

Ou seja, 7200 litros de água por mês.

6.8. Orçamento

O orçamento das unidades que compõem o modelo sanitário encontram-se detalhados nas tabelas 19, 20 e 21. Os valores foram adquiridos no mês de julho do ano de 2010, em lojas especializadas nos municípios de Viçosa/MG e Guararema/SP.

Tabela 18. Orçamento do banheiro compostável.

PRODUTO	PREÇO UNITARIO (R\$)	QUANTIDADE	TOTAL (R\$)
Saco cimento	17,50	2	35,00
Tela de viveiro	4,50/M2	7,0m2	31,50
Areia	70,00/m3	0,2m3	14,00
PVC 100mm	32,00/6m	6m	32,00
Chapa de zinco	5,50/m	0,4m	2,20
Mangueira 20mm	0,40/m	3m	1,20
Tela de mosquito	2,40/m2	0,5m2	1,20
Vergalhão 3/8 pol.	25,90/12m	3m	6,50
Balde 20L	2,25	1	2,25
Encaixe em L pra mangueira	1,50	1	1,50
Assento plástico	15,00	1	15,00
Arame 14	9,50/kg	0,5kg	4,75
Tinta preta	36,00/3,6L	3,6L	36,00
Placa eucatex 6mm	30,00	1 placa	30,00
PVC 1/2 pol.	7,90	1	7,90
Chapa metal	15,00	1	15,00
Placa compensado 6mm	17,9/placa	0,5 placa	8,95
Tampão 1/2 pol.	0,50	1	0,50
TOTAL			245,45

Tabela 19. Orçamento da vala de filtração.

PRODUTO	PREÇO UNITARIO (R\$)	QUANTIDADE	TOTAL (R\$)
Lona	4,80/4m2	8m2	9,60
PVC 50mm	23,00/6m	4m	15,35
Brita 1	75,00/m3	0,25m3	18,75
Areia	70,00/m3	0,55m3	38,50
TOTAL			82,20

Tabela 340. Orçamento da *wetland*.

PRODUTO	PREÇO UNITARIO (R\$)	QUANTIDADE	TOTAL (R\$)
Saco cimento	17,50	2	35,00
Bloco de concreto	0,80	140	112,00
Pedrisco	46,20/m3	1,60m3	73,95
Brita 0	95,00/m3	0,60m3	57,00
PVC 50mm	23,00/6m	4m	15,35
Conexão 50mm em "T"	4,00	2	8,00
Tampão 50mm	1,90	4	7,60
Impermeabilizante	8,90/Kg	1	8,90
Areia	70,00/m3	0,50m3	35,00
TOTAL			352,80

Os orçamentos acima não apresentam o valor da mão-de-obra gasta para a implantação dos sistemas, pois presume-se que a própria comunidade possa construir as unidades sem que seja necessário pagar por isso. Porém, caso seja necessário pagar pela mão de obra o valor total será acrescido de 90 reais, para a mão de obra de dois dias.

6.9. Características do composto gerado

No Brasil, as normas que regulamentam o uso de lodo de esgoto sanitário na agricultura são a Resolução CONAMA 375/06 e a Norma CETESB P-4230/99. Elas classificam o composto baseado na análise quantitativa de coliformes termotolerantes e metais pesados. Para o presente trabalho, os coliformes termotolerantes foram analisados quantitativamente (ausência/presença) enquanto análises relativas aos teores de metais não foram levantadas. Dessa forma, o valor agronômico do composto analisado é obtido através da comparação com análises de húmus de minhoca obtidas em um estudo levantado por MIRANDA *et al.* (2004) e a segurança sanitária reforçada pela ausência de coliformes termotolerantes, conforme a tabela 21.

Tabela21. Comparação entre o composto analisado e húmus de minhoca.

PARÂMETRO	COMPOSTO	HÚMUS DE MINHOCA
pH	5,31	7,54
Carbono orgânico	32,64%	-
Matéria orgânica	56,30%	50,00%
Sólidos totais	61,00 dag/kg	-
Sólidos fixos	12,30 dag/kg	-
Sólidos voláteis	48,40 dg/kg	-
Nitrogênio total	1,60%	0,76%
Fósforo total	1,56%	0,09%
Potássio total	1,10%	0,28%
Coliformes	Ausência	Ausência

Em seu estudo, MIRANDA *et al.* (2004) explicita os benefícios da utilização do húmus no cultivo de mandioca em solos do cerrado brasileiro, equiparando as produções obtidas com fertilização química às obtidas com o uso de húmus.

Portanto, fica evidente o valor positivo do composto analisado, uma vez que este apresenta valores próximos aos disponíveis para o húmus de minhoca em questão.

7. Discussões

7.1. Aceitabilidade *versus* Implantação

A implantação de um modelo sanitário, qualquer que seja ele, não pode ser imposta. Em se tratando de sanitários ecológicos, um maior cuidado deve ser tomado em relação à implantação. Isso se deve ao fato de as excretas humanas serem, culturalmente, vistas como repulsivas devendo ser mantidas fora da visão do usuário do banheiro. Assim, qualquer intenção de reutilização próxima dos dejetos acaba por ir de encontro aos inúmeros preconceitos sobre as fezes e urina humana.

Fatores como odor e patogenicidade limitam o uso de modelos sanitários alternativos, por serem vistos como um incômodo ao usuário. Em seu livro intitulado “Banheiros que produzem composto”, Morgan (2001) frisa que qualquer tipo de banheiro (incluindo o hídrico) provoca odores caso não sejam mantidas as condições básicas de higiene e utilização. Desse modo, a educação acerca da correta manutenção do modelo sanitário ecológico é de extrema importância e faz parte do início da aceitação por parte da comunidade.

Outro ponto que deve ser ponderado é a transmissão clara aos usuários da principal mudança que acompanha a utilização de um banheiro seco: a preservação dos mananciais próximos. Demais aspectos como riqueza mineral do composto e melhora das condições de saúde também devem ser trabalhados e reforçados.

7.2. Diferentes técnicas de tratamento

Dentre as técnicas citadas no presente trabalho, algumas merecem destaque pela sua eficiência e facilidade de manutenção. Visando uma melhor aceitação por parte dos usuários, a separação da urina se mostra como peça fundamental para a redução dos odores e manutenção do sistema. Aliado a isso, tanto a compostagem em câmara dupla quanto a desidratação são mecanismos de tratamento comprovadamente eficientes. Ainda assim, em termos de facilidade quanto à manutenção, banheiros de desidratação devem ser preferidos quando comparados aos banheiros de compostagem, pelo processo não precisar de tantos cuidados como a compostagem.

7.3. Cuidados com a compostagem

A compostagem, por ser um processo biológico de degradação da matéria orgânica, requer alguns cuidados técnicos. O usuário deve revirar a pilha de compostagem regularmente

durante a primeira semana após a câmara ter sido selada, para fornecer a quantidade suficiente de oxigênio à atividade microbiana. Nas semanas seguintes, o reviramento deve ser aplicado semanalmente. Durante o último mês, o material pode ser deixado maturando com poucos reviramentos (um ou dois ao longo mês). Além disso, o usuário deve ficar sempre atento à umidade da pilha, molhando a mesma caso julgue necessário e respeitar o período de compostagem estabelecido. A garantia de insolação na câmara, através da localização correta da unidade sanitária, assim como a adição de material rico em carbono após cada utilização, configuram aspectos importantes para o bom funcionamento da unidade.

7.4. Manutenção dos Sistemas de Tratamento da Água Cinza

Para que o sistema de tratamento de água opere corretamente é necessário o monitoramento das unidades. A caixa de gordura deve ser verificada mensalmente e quando necessário deve ser realizada a limpeza da mesma. A caixa de passagem onde se encontra a peneira também deve ser verificada mensalmente e limpa quando necessário.

Segundo ROUSSEAU (2005) citado por BEGOSSO (2009), a melhor forma de se manter a integridade do sistema de *wetlands* é a manutenção das unidades de pré-tratamento, uma vez que a falta desta pode acarretar a má distribuição do afluente ocasionando formação de caminhos preferenciais e entupimentos. Os danos podem ocasionar uma deterioração progressiva do sistema, a qual pode se tornar irreversível resultando na necessidade da remoção e troca de todo o substrato da *wetland*. O monitoramento da cobertura vegetal e a observação da saúde das plantas podem evidenciar a qualidade de funcionamento do sistema (KADLEC et al., 2000 citado por BEGOSSO, 2009). Outra atividade necessária para a manutenção do sistema é o eventual manejo das macrófitas, ou seja, poda e, se necessário, replantio.

A principal forma de manutenção do bom rendimento da vala de filtração é o monitoramento das etapas anteriores de tratamento, ou seja, a limpeza periódica da caixa de passagem e da caixa de gordura. Porém, se o solo da região onde a vala se encontra mantiver uma umidade superior a de costume, a substituição do leito filtrante se faz necessária.

7.5. Vantagens *versus* Desvantagens do uso de sanitários compostáveis

DESVANTAGENS

- Dificil aceitação por parte dos usuários caso não haja um processo/trabalho educativo eficaz;

- Manutenção braçal da unidade é requerida, a qual pode desestimular a implantação (o usuário costuma comparar à comodidade da descarga hídrica);
- Necessidade de quantidades consideráveis de material rico em carbono;
- A responsabilidade pelo tratamento e manutenção do resíduo passa a ser do usuário;

VANTAGENS

- Baixo (ou nenhum) impacto aos recursos hídricos;
- Baixo custo de implantação;
- Economia de água;
- Melhor ciclagem dos nutrientes, proporcionada pela obtenção de um composto de uso agrícola;
- Substituição parcial dos fertilizantes químicos, possibilitando economia financeira ao usuário.

8. Conclusão

O saneamento ambiental é um ramo que tem sido desenvolvido visando, principalmente, os grandes centros urbanos e as diferentes técnicas de tratamento de resíduos em pontos específicos. As áreas rurais geralmente não são atendidas por estas tecnologias de saneamento, ou, não se adéquam a elas. Assim todo e qualquer sistema de saneamento a ser implantado em comunidades rurais e tradicionais deve levar em consideração a realidade e os costumes da população local.

As tecnologias abordadas neste trabalho não devem ser distribuídas como projetos prontos, mas sim trabalhadas de forma a atender a cada caso da maneira mais adequada possível. São de grande relevância a observação dos materiais disponíveis no local e a completa compreensão por parte dos atendidos da importância e do funcionamento dos sistemas implantados. A aceitação deste modelo por parte dos usuários esta intrinsecamente relacionada com a forma como é disponibilizada e transmitida esta tecnologia.

O banheiro seco é adequado às comunidades rurais e tradicionais por possibilitar a manutenção de alguns costumes, assim como por disponibilizar adubo orgânico de qualidade e de produção interna e diminuir a contaminação dos recursos hídricos, sendo estes fundamentais na dinâmica destas comunidades.

O tratamento da água cinza está também, incluído no ciclo dos recursos hídricos, à medida que possibilita o reaproveitamento desta nas diversas culturas ou a disposição deste recurso de forma adequada no solo e no ar.

As comunidades rurais e tradicionais, diferentemente dos aglomerados urbanos, possuem uma relação próxima com a natureza e os recursos naturais, assim, deve-se pensar em sistemas de tratamentos de resíduos que mantenham esta proximidade e que possibilite o fechamento dos ciclos envolvidos nos processos naturais, como por exemplo, o ciclo dos nutrientes e o ciclo hidrológico. As pessoas que integram essas comunidades, na maioria das vezes, não têm condição financeira para adquirir sistemas caros de saneamento ou fertilizantes e adubos químicos para as diversas culturas da qual necessitam, sendo então, fundamental a coexistência de sistemas de saneamento de baixo custo que possibilitem o reaproveitamento dos resíduos na agricultura e a manutenção da sustentabilidade ambiental.

A autonomia das comunidades é um ponto importante que se relaciona com as tecnologias sociais apresentadas. Quando as pessoas são capazes de construir, manter e adquirir os diversos sistemas e recursos envolvidos na dinâmica da propriedade a aceitação, a facilidade e a auto estima aumentam, se tornando importantes fatores da qualidade de vida e da felicidade da população.

9. Referências Bibliográficas

ALVES, B. S. Q. Banheiro Seco: Análise da eficiência de protótipos em funcionamento. trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

AZEVEDO, M., SILVA, M. C., TAUCHEST, O. I. Coogeração de energia utilizando o biogás do esgoto sanitário. Dissertação da graduação do título de tecnólogo em eletromecânica do centro tecnológico de Educação do Paraná, Unidade de Medianeira, 2004.

BEGOSSO, L. Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de *Wetlands* construídas para tratamento de água cinza. Dissertação de doutorado na área de Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2009.

BERGER, Wolfgang. **Basic overview of composting toilets (with or without urine diversion)**. Technology Review “Composting toilets”. Eschborn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2010. Disponível em: < <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9397.htm> > Acesso em: 15.05.2010

BERNARDI, C. C. Reuso de água para irrigação. Monografia de Pós-Graduação em gestão sustentável da agricultura irrigada pela Isea-Fgv/Ecobusiness School. Brasília, 2003.

BIANCHI, S.R. Avaliação química de solos tratados com vinhaça e cultivos com alfafa. Dissertação de mestrado na área de concentração: química analítica pela Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2008.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. **Desalination**. v.106, n. 1-3, p. 391- 397, 1996.

COMASTRI, J. A. F. Biogás, independência energética do Pantanal Mato-grossense. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Corumbá, Corumbá, MS CIRCULAR TÉCNICA N.º 9, Outubro, 1981.

DENNY, P. *Implementation of constructed wetland in developing countries*. Water Science and Technology, v. 35, n.4, p.27-34, 1997

ECOSANRES. Closing **the loop on phosphorus**; 2003. Disponível em: <<http://www.ecosanres.org>>. Acesso em: 18/05/2010

ERCOLE, L.A.S. Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: Uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos sólidos. Dissertação de mestrado na área de engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**. v. 4, n.1, p. 58-104, 2002.

ESREY, S., ANDERSSON, I., HILLERS, A., SAWYER, R. **Closing the loop Ecological Sanitation for food security**. Estocolmo, Suécia: SIDA, 2001.

FERREIRA, C.S. **Refractive index matching applied to fecal smear clearing**. Rev. Inst. Med. trop. São Paulo, 2005.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006.

FUNASA. Diretrizes para projetos físicos de estabelecimentos de saúde, água, esgotamento sanitário e melhorias sanitárias em áreas indígenas. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2002.

FUNASA. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

GONÇALVES, R. F.(Coorde.) **Uso Racional da Água em Edificações**. PROSAB . Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). **Dehydration toilets with movable containers**. Technical data sheets for ecosan components. Eschborn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2006b. Disponível em: < <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9397.htm> > Acesso em: 15.05.2010

GTZ. **Double-vault dehydration toilets with urine-diversion**. Technical data sheets for ecosan components. Eschborn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2006a. Disponível em: < <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9397.htm> > Acesso em: 15.05.2010

GTZ. **Guidelines for the preparation and implementation of ecosan projects**. Eschborn, Alemanha: GTZ. 2ª ed. Outubro 2003.

HAUFF, M.; LENS, P. **The micro and macro economic aspects of decentralized sewage treatment**. Citado em: LENS, P., ZEEMAN, G., LETTINGA, G. Decentralized sanitation and reuse – concepts, systems and implementation. Londres, Inglaterra: IWA Publishing, 2001.

HEINONEN-TANSKI, H., WIJK-SIJBESMA, C. Human excreta for plant production. **Bioresource Technology**, 96, p. 403-411, 2005.

HERNÁNDEZ, M. T. G., TAMISET, J. F., ZÚÑIGA, R. M., MOLINAR, Y. H. Diseño y construcción de sanitarios ecológicos secos en áreas rurales. **Revista Cubana de Salud Pública**, v.32, n.3, 2006.

HOGLUND, C., STENSTRÖM, T. A., ASHBOLT, N. Microbial risk assessment of source-separated urine used in agriculture. **Waste Management**, 20, p.150-161, 2002.

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

JÖNSSON, H. **Source separation of human urine – separation efficiency and effects on water emissions, crop yield, energy usage and reliability.** Citado em: GTZ. First International Conference on Ecological Sanitation, 5-8 de Novembro de 2001. Nanning, China; 2001.

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgoto Doméstico.** 4ª Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

KARPE, H. J. **Wastewater treatment and excreta disposal in developing countries.** Institute of environmental protection (INFU). Eschborn, Alemanha: GTZ, 1980.

KIVAISI, A. K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. **Ecol. Eng.**, v. 16, n., 4, p. 545-560, 2001.

KVARNSTRÖM, E., EMILSSON, K., STINTZING, A. R. *et al.* **Separação de urina: Um passo em direção ao saneamento sustentável.** Programa EcoSanRes. Estocolmo, Suécia: SEI, 2006.

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

LETTINGA, G.; LENS, P.; ZEEMAN, G. **Environmental protection technologies for sustainable development.** Citado em: LENS P, ZEEMAN G, LETTINGA G. Decentralized sanitation and reuse – concepts, systems and implementation. Londres, Inglaterra: IWA Publishing, 2001.

LIM, P. E.; WONG, T. F.; LIM, D. V. Oxygen demand, nitrogen and copper removal by free-water-surface and subsurface-flow constructed wetlands under tropical conditions. **Environmental Interaction**, v. 26, n. 5-6, p. 425-431, 2001.

LIMA, C. R.; SILVA, F. V. B; BAPTISTA, F. R. M.; FEITOZA, H. N.; ALVES, C. E. – **Regionalização das destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Espírito Santo** In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais 2009**, Recife-PE

LIMA, L. M. Q. Lixo - **Tratamento e Biorremediação.** 3ª ed. São Paulo: Hemus, 1995.

MAGRI M. E., FENELON F. R., RABELO L., ROSSETO T. S., PHILIPPI L. S. *Reuso de Águas Cinzas Tratadas em Descarga de Vaso Sanitário e Rega de Jardim.* In: XIII SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2007. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais 2007.**

MAIO M. C., LIMA N. T. Tradutores, intérpretes ou promotores de mudança? Cientistas sociais, educação sanitária rural e resistências culturais (1940-1960). **Soc. estado.**, v.24, n.2, 2009.

MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. O Uso da Serragem no Processo de Minicompostagem. **Eng. Sanit. Ambient.** v.12, n.4, p.355-360, novembro, 2007.

MATOS, A.T. **Práticas de Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Resíduos Sólidos.** Caderno didático nº 45. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

MIRANDA, L. N., FIALHO, J. F., CARVALHO, J. L. H. **Utilização do Húmus de Minhoca como Adubo Orgânico para a Mandioca em Solo de Cerrado**. Comunicado Técnico 111. Planaltina: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004.

MORGAN, P. **Toilets That Make Compost – Low-cost, sanitary toilets that produce valuable compost for crops in African context**. Programa EcoSanRes. Estocolmo, Suécia: SEI, 2007.

NIWAGABA, C., NALUBEGA, M., VINNERAS, B., SUNDBERG, C., JÖNSSON, H. Bench-scale composting of source-separated human faeces for sanitation. **Waste management**, 29, p. 585-589, 2009.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 275-284, 1999.

Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. Relatório Nacional de Acompanhamento. Brasília: Ipea, 2010.

OMS. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Genebra, Suíça: Organização Mundial da Saúde, 2006. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuww/en/index.html> Acesso em: 18.05.2010

OTTOSON, J.; STRENSTRÖM, T. A. Faecal contamination of greywater and associated microbial risk. **Water Research**. v. 37, n. 3, p. 645-655, 2003.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

PETERS M. R., SEZERINO P. H., DARELLA C. P., PASCAL J. A., PHILIPPI L. S. Quantificação e caracterização de águas em uma residência. Florianópolis: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

PHILIPPI, L.S., SEZERINO P.H. **Aplicação de sistemas tipo Wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: Ed. do Autor. 144 p, 2004.

PRATES, G. F., CARMO, A. L. M. **Extração de substâncias corantes de serragem de madeira de Ocotea-Imbuia (Ocotea Porosa)**. VII Semana de Engenharia Ambiental, Campus Irati, junho, 2009.

RAIJ, V. B.; ANDRADE, C.J.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A.J. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas (SP), 2001.

RECESA (Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental). **Transversal: Saneamento Básico Integrado às Comunidades Rurais e Populações Tradicionais**. Guia do Profissional em Treinamento. Nível 2. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: Ministério das cidades, 2009.

RIBEIRO, R.M.; HARDOIM, P.C.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O. **Compostagem do resíduo da indústria de gelatina, serragem e palha de café**. Lavras: Fertbio, 2008.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretária de Política Urbana, 38 p. (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Documento Técnico de Apoio; E1), 1998.

ROSE, J. B.; SUN, G.; GERBA, C. P.; SINCLAIR, N. A. Microbial and persistence of enteric pathogens in graywater from various household source. **Water Research**, v. 25, n. 1, p. 37-42, 1991.

SANTIAGO, A. F., CALIJURI M. L., LUÍS P. G. Potencial para a Utilização de Sistemas de Wetlands no Tratamento de Águas Residuárias: Uma Contribuição a Sustentabilidade dos Recursos Hídricos No Brasil. **Natureza & Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 29-39, 2005.

SCHÖNNING, C., STENSTRÖM, T.A. **Diretrizes para o uso seguro de urina e fezes nos sistemas de saneamento ecológico**. Programa EcoSanRes. Estocolmo, Suécia: SEI, 2004.

SEZERINO, P. H., PHILIPPI, L. S. Filtro plantado com macrofitas (wetlands) como tratamento de esgotos em unidades residenciais- critérios para dimensionamento. In: 22 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA, 2003, Joinville. **Cd Rom do 22 ABES** Rio de Janeiro: ABES, 2003

SEZERINO, P. H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*Constructed Wetlands*) no Pós-Tratamento de Lagoas de Estabilização sob Condições de Clima Subtropical. Dissertação de doutorado na área de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999.

SOUSA, J. T., LEITE, V. D., DIONÍSIO, J. A. *Reúso de efluentes de esgoto sanitário na cultura do arroz*. In: IX SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais 2000** Porto Seguro. p.1058-1963, 2000.

SOUSA, J. T. de, van HAANDEL, A.C. GUIMARÃES, A.V.A. *Pós-tratamento de efluente anaeróbio através de sistemas wetland construídos*. In: Chernicharo, C. A.L.(coordenador) Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coletânea de trabalhos técnicos, Belo Horizonte: ABES, p 25 – 32, 2000.

STEEN, I. Phosphorus availability in the 21st century management of a non-renewable resource. **Phosphorus and Potassium**, 217, 1998. Disponível em < <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/phosphate-recovery/p&k217/steen.htm> >. Acesso em: 20/05/2010

STENSTRÖM, T.A. **Disease control**. Citado em: DRANGERT, J.O., BEW, J., WINBLAD, U. Ecological Alternatives in Sanitation Proceedings from Sida Sanitation Workshop, 6-9 de Agosto de 1997. Berlingham, Suécia; 1997.

TARE, V., YADAV K. D. Fate of Physico-Chemical Parameters During Decomposition of Human Feces. **Global Journal of Environmental Research**, v.3, n.1, p.18-21. Índia: IDOSI Publications, 2009.

UNICEF & OMS. **Progress on drinking water and sanitation: special focus on sanitation.** UNICEF. Nova Iorque, 2008. Disponível em: < http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2008/en/index.html > Acesso em: 18.05.2010

van LENGEN, J. **BASON, sanitário seco.** Tecnologia intuitiva e bio-arquitetura (TIBÁ). Bom Jardim, Rio de Janeiro, 2004

VERAS, L. R. V., POVINELLI, J. A Vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciadas com composto de lixo urbano. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro: ABES. v. 9, n. 3, p. 218-224. Setembro, 2004.

VINNERÅS, B., BJÖRKLUND, A., JÖNSSON, H. Thermal composting of faecal matter as treatment and possible disinfection method-laboratory-scale and pilot-scale studies. **Bioresource Technology**, 88, p. 47-54, 2003.

VINNERÅS, B., JÖNSSON, H., SALOMON, E., STINTZING, A.R. **Tentative guidelines for agricultural use of urine and faeces.** Citado em: WERNER, C., AVENDAÑO, V., DEMSAT, S., EICHER, I., HERNANDEZ, L., JUNG, C., KRAUS, S., LACAYO, I., NEUPANE, K., RABIEGA, A., WAFLER, M. **Ecosan – closing the loop.** Eschborn, Alemanha; 2004.

von MÜNCH, Elisabeth. **Basic description of urine-diversion dehydration toilets (UDDTs).** Technology Review “Urine-divergion dehydration toilets”. Eschborn, Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 2009. Disponível em: < <http://www.gtz.de/en/themen/umwelt-infrastruktur/wasser/9397.htm> > Acesso em: 15.05.2010

WERNER, C., AVENDAÑO, V., DEMSAT, S., EICHER, I., HERNANDEZ, L., JUNG, C., KRAUS, S., LACAYO, I., NEUPANE, K., RABIEGA, A., WAFLER, M. **Ecosan – closing the loop.** Eschborn, Alemanha, 2004. Disponível em: < <http://www.gtz.de/ecosan/english/symposium2-proceedings-eng.htm> > Acesso em: 10/05/2010

WERNER, C., FALL, P.A., SCHLICK, J., MANG, H.P. **Reasons for and principles of ecological sanitation.** Citado em: WERNER, C., AVENDAÑO, V., DEMSAT, S., EICHER, I., HERNANDEZ, L., JUNG, C., KRAUS, S., LACAYO, I., NEUPANE, K., RABIEGA, A., WAFLER, M. **Ecosan – closing the loop.** Lübeck, Alemanha; 2004.

WILDERER, P. A. **Decentralized versus centralized wastewater management.** Citado em: LENS, P., ZEEMAN, G., LETTINGA, G. **Decentralized sanitation and reuse – concepts, systems and implementation.** Londres, Inglaterra: IWA Publishing, 2001.

WINBLAD, U., SIMPSON-HÉBERT, M (ed). **Ecological Sanitation – revised and enlarged edition.** 2ª ed. Estocolmo, Suécia: SEI, 2004.

ZANCHETA, P. G. Recuperação e tratamento da urina humana para uso agrícola. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

ZAVALLA, M. A. L., Funamizu N. Design and operation of the bio-toilet system. **Water Sci Technology**, v.53, n.9, p. 55-61, 2006.

10. Anexos