



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI

Instituto de Recursos Naturais – IRN

Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos – MEMARH

***DESIGN ECOLÓGICO: PROJETANDO E
CONSTRUINDO TECNOLOGIAS VIVAS PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS
COM REÚSO DAS ÁGUAS***

Evandro Sanguinetto

Agosto de 2010

Itajubá-MG

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS – MEMARH

Evandro de Castro Sanguinetti

DESIGN ECOLÓGICO: PROJETANDO E
CONSTRUINDO TECNOLOGIAS VIVAS PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS
COM REÚSO DAS ÁGUAS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Herlane Costa Calheiros

Agosto de 2010
Itajubá-MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

S226d

Sanguineto, Evandro de Castro

Design Ecológico: projetando e construindo tecnologias vivas
para o tratamento de efluentes domésticos com reúso das águas /
Evandro de Castro Sanguineto. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2010.
228 p. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Herlane Costa Calheiros.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Design ecológico. 2. Ecotecnologia. 3. Sustentabilidade. 4.
Reúso. 5. Interdisciplinaridade. 6. Saneamento domiciliar. I. Ca_
lheiros, Herlane Costa, orient. II. Universidade Federal de Itajubá.
III. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Evandro Sanguinetto

**Título: DESIGN ECOLÓGICO: PROJETANDO E CONSTRUINDO
TECNOLOGIAS VIVAS PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES
DOMÉSTICOS COM REÚSO DAS ÁGUAS**

Dissertação apresentada em:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Herlane Costa Calheiros

Profa. Dra. Regina Mambeli Barros - UNIFEI

Profa. Dra. Maria Helena Rodrigues Gomes - UFJF

DEDICATÓRIA

Ao colocarmos o dinheiro acima de tudo, ao adotarmos sua obtenção, posse e acúmulo como objetivos quase únicos de vida, colocamos ao mesmo tempo todo o restante abaixo dele, como fossem todas “coisas” menos importantes. Foi assim que, quase sem o perceber – ou talvez de caso pensado mesmo -, endeusamos o capital (veja-se as frases estampadas em algumas notas: *In God we trust* e Deus seja louvado), a ele subordinando a ética, a família, o convívio social, os valores ancestrais de cuidado e relação harmoniosa com os ecossistemas, a espiritualidade, o sentimento de pertença a algo maior - irmão gêmeo de um sentido mais elevado para a existência, e finalmente, a VIDA, de microrganismos a seres humanos. Parte da lógica do Deus-Dinheiro, as guerras são provocadas; o *crack* é vendido para crianças; rios, mares, lagos, solos e ar são poluídos e contaminados; alimentos são produzidos à base de venenos; recursos de todos são desviados em benefícios de alguns – e a Vida passa a valer menos que alguns tostões. Mas como ensina o símbolo do Tao, as sementes da mudança emergem do sistema que as contém: na parte escura uma semente clara, na parte clara uma semente escura - assim tudo vai-se transformando.

Essa dissertação assume seu papel de semente, honrando a VIDA em todas as suas formas e manifestações e se esforçando em apreender, reproduzir e incorporar a sabedoria intrínseca aos ciclos, teias, redes, processos e padrões desenvolvidos pela vida planetária na solução de problemas do cotidiano, e mesmo evitando-os.

Ao propor integrar visões da ciência e tecnologia tradicionais, cuja matriz é a linearidade, reducionismo, racionalidade, mecanicismo, suposta isenção e, mais recentemente, os interesses imediatos do capital, com visões de mundo ancestrais que colocam a vida e a espiritualidade no centro das atenções, buscamos ampliar as possibilidades de futuro que hoje construímos. Deixamos assim um recado às presentes e futuras gerações: não estamos condenados a reproduzir velhos padrões indefinidamente. Somos ao mesmo tempo corpo, pensamento, razão, emoção, sentimento, arte, beleza, espiritualidade. Assumir nossa multiplicidade, nossa riqueza interior, nossa integridade, nos aproxima do que somos: parte da teia da vida! Talvez uma parte mais consciente de sua pertença e presença, e por isso mesmo infinitamente mais responsável. Nada nos impede de utilizarmos nosso conhecimento, sabedoria, recursos financeiros, arte, ciência e tecnologia a favor da Vida.

Uma Ciência e Tecnologia voltadas para a promoção da Vida é nossa utopia.

AGRADECIMENTOS

A Neyde de Castro Sanguinetto e Neyse de Castro Sanguinetto pelo suporte constante na caminhada.

Meu profundo respeito e agradecimento à nação brasileira que, por intermédio da CAPES - Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, permitiu minha dedicação integral aos estudos e pesquisas de mestrado, via concessão de bolsa de estudos. A dissertação é apenas uma etapa vencida e continuo no trabalho árduo de transformar informações em conhecimentos e estes em ações, produtos e serviços que beneficiem a Vida e toda sociedade brasileira, especialmente os mais pobres, que financiam os estudos dos mais abastados sem nem o saber.

Às Tradições, que me abriram portas para obtenção de conhecimentos valiosos, intermediados e/ou contidos nos raios de sol, ventos, brisas, chuvas, ondas, rios, cachoeiras, aromas, estrelas, animais, plantas, montanhas, fogueiras, danças, gentes e crianças.

Às Ciências, que me permitiram, orientaram e exercitaram o foco, competência, habilidade, dedicação, cuidado, atenção, estudo e aprofundamento em conhecimentos e técnicas não disponíveis em outros campos. Agradecimento especial a minha orientadora, Herlane Costa Calheiros por ir-me mostrando os caminhos da Ciência e escrita técnica, contrapondo-se a uma maneira pessoal de escrita mais fluida e “romântica”. A Gabriel Gomes Muller e Ana Carolina Godoy Silva por dias e noites de laboratório. E a Ângela Vivarelli, pela oferta de literatura indispensável à ampliação do conhecimento em áreas transversais.

Ao aspecto feminino, que ensina acolhimento, respeito, intimidade, integração, sentimento, amor, compartilhamento, dedicação, cuidado.

Ao momento histórico que vivemos, que nos permite escolher e construir caminhos novos, integrativos, superando velhos paradigmas e nos abrindo as portas para a construção da paz, harmonia, sintonia, compreensão e acolhimento num sentido amplo, planetário e cósmico.

EPÍGRAFE

Sonia Hoffmann para Jack Edwards¹

Acho que enquanto continuar a ver as coisas nessa velha ótica patriarcal, cartesiana, newtoniana, deixará de ver como o mundo realmente é. Você, eu, todos nós precisamos de uma nova visão do mundo e de uma ciência mais abrangente para nos apoiar.

Sonia Hoffmann para Jack Edwards

Um cartesiano olharia para a árvore e a dissecaria, mas aí ele jamais entenderia a natureza da árvore. Um pensador de sistemas veria as trocas sazonais entre a árvore e a terra, entre a terra e o céu (...) o sopro da vida, ligando a Terra ao céu e nós, ao universo. Um pensador de sistemas veria a vida da árvore somente em relação à vida de toda a floresta. (...) Se você tentar entender a árvore como algo isolado, ficaria intrigado com os milhões de frutos que produz na vida, pois só uma ou duas árvores resultarão deles. Mas se você vir a árvore como um membro de um sistema vivo maior, tal abundância de frutos fará sentido, pois centenas de animais e aves sobreviverão graças a eles. Interdependência. A árvore também não sobrevive sozinha.

Thomas Harrimann para Sonia Hoffmann

A vida sente a si mesma. Diferentemente de suas palavras, talvez e até com as melhores intenções, você errará se esquecer que a vida, a vida é infinitamente mais que as suas ou as minhas obtusas teorias a respeito dela. Sentir o universo é um trabalho interior e você me ajudou.

¹ MindWalk: Ponto de Mutação. Direção: Bernt Capra. Baseado na obra de Fritjof Capra, O Ponto de Mutação. Estados Unidos: Atlas, 1990. Atores principais: Liv Ullmann (Sonia Hoffmann, física), Sam Waterston (Jack Edwards, político) e John Heard (Thomas Harriman, poeta).

RESUMO

SANGUINETTO, Evandro. *Design Ecológico: projetando e construindo tecnologias vivas para o tratamento de efluentes domésticos com reúso das águas*. Dissertação. Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - MEMARH. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Itajubá: 2010, 228p.

A presente dissertação tem por objetivo geral responder à seguinte questão: As tecnologias vivas de tratamento de efluentes domésticos permitindo o reúso das águas proposto para Gaia Terranova é sustentável do ponto de vista ambiental, econômico e legal? Utilizando recomendações de Sanguinetti (2009), foram instaladas tecnologias vivas (ecotecnologias) de tratamento de águas pretas (vasos sanitários) e águas cinzas (pias, tanques, máquinas de lavar, chuveiros) em Gaia Terranova e acompanhado seu desenvolvimento, operação, manutenção, eficiência, custos e benefícios. Os resultados apontam para respostas bastante positivas em relação à questão levantada. A tecnologia viva é parte de um sistema mais amplo, fruto do *Design Ecológico*, ganhando sentido e pertinência ao se relacionar, de um lado com a residência, origem do efluente a ser tratado, e de outro o terreno, que recebe estes efluentes após tratamento. Tratados e reaproveitados no local de origem, esgotos deixam de ser lançados em corpos d'água, mantendo a qualidade elevada destes, evitando danos aos ecossistemas receptores e comunidades associadas, bem como eliminando ou adiando os altos investimentos em estações de tratamento de água e esgotos centralizados. Ampliam-se assim as bases do *Design Ecológico* no país, ao tempo que se propõem caminhos para uma engenharia mais próxima da Vida, a Engenharia Ecológica. A metodologia utilizada incorporou trabalho de campo com implantação e monitoramento das tecnologias vivas, coleta de amostras, análises laboratoriais dos efluentes e análises estatísticas dos resultados. A sustentabilidade ambiental foi medida em relação ao diâmetro de pseudocaulis de linha de bananeiras recebendo ou não efluentes tratados, resultando em um crescimento 5 vezes maior para a linha receptora; e avaliação visual da área, onde Gaia Terranova evoluiu 88,4% entre meados de 2007 e meados de 2009. A sustentabilidade econômica foi medida comparando-se o valor gasto na construção, operação e manutenção (anual) dos sistemas de tratamento de águas cinzas e pretas, totalizando R\$ 2.073,54, com aqueles obtidos dos sistemas ou economizados ao longo de sua vida útil (25 anos), totalizando R\$ 74.949,96. Em relação à sustentabilidade legal, para cada parâmetro

analisado trabalhou-se com os limites superiores de Intervalos de Confiança de 99%, comparando-se os resultados com os valores das normas legais (Resolução No. 357/2005 do CONAMA e Deliberação Normativa No. 1/2008 do COPAM/CERH-MG) para lançamento de efluentes. Para águas pretas a legislação é atendida nos seguintes parâmetros: DQO de 124 mg.L⁻¹ em N2 (após filtro biológico), alcançando 72,4 mg.L⁻¹ em N3 (saída do banhado construído) em tempo seco, com eficiência mínima de remoção entre 80,7% (N2/N1) e 77,3% (N3/N1); pH de 7,82 em N2 e 7,86 em N3; turbidez de 35,37 NTU em N3 (tempo seco); sólidos sedimentáveis com 0,12 mL.L⁻¹ em N3 e 0,17 mL.L⁻¹ em N2; sólidos suspensos totais dentro da norma se considerada média obtida de 60,6 mg.L⁻¹, mas fora da norma para IC=99% com 108,0 mg.L⁻¹. Os sólidos dissolvidos totais (735,3 mg.L⁻¹ em N2 e 803,9 mg.L⁻¹ em N3) bem como coliformes totais (3,65.10⁵ NMP) e *Escherichia coli* (2,01.10⁵ NMP) não atendem aos padrões de lançamento. Para as águas cinzas e considerando os limites superiores para ICs=99%, tem-se que a legislação é atendida em todos parâmetros avaliados: DQO entre 59,7 mg.L⁻¹ em LM2 (lagoa multifuncional 2) e 73,6 mg.L⁻¹ em B3 (após o banhado construído) com eficiência mínima de remoção entre 81,95 (B3/B2) e 85,36% (LM2/B2), sendo B2 a entrada do sistema; pH entre 6,8 (B3) e 8,0 (LM3); turbidez de 34,8 NTU em LM1, 32,1 NTU em LM2 e 68,7 NTU em LM3; sólidos sedimentáveis entre 0,10 mL.L⁻¹ em B3 e 0,68 mL.L⁻¹ em LM1; sólidos suspensos totais entre 21,4 mg.L⁻¹ (B3), 32,4 mg.L⁻¹ (LM2) e 65,5 mg.L⁻¹ (LM2); sólidos dissolvidos totais de 458,8 mg.L⁻¹ (B3) e 471,5 mg.L⁻¹ (LM1); temperatura entre 25,5 °C (B3) e 26,8 °C (LM2). Quanto ao oxigênio dissolvido, por volta das 14h00 e tempo claro, as lagoas multifuncionais LM1, LM2 e LM3 alcançam o mínimo de 6,0 mg.L⁻¹ necessário ao lançamento, com picos que chegam a 11 mg.L⁻¹ em LM3. Como conclusão da dissertação, assume-se que há sustentabilidade das tecnologias vivas em termos ambientais, econômicos e legais. As águas cinzas resultaram em efluentes tratados próximos a águas de Classe 1 (parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, demanda química de oxigênio, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais). Os parâmetros não atendidos para águas pretas não representam problema, visto o escoamento final se dar por vala de infiltração, com o solo subsuperficial fazendo o polimento final do efluente, antes de ser absorvido pela linha de bananeiras.

Palavras-chave: *design* ecológico, ecotecnologia, sustentabilidade, reúso, interdisciplinaridade, saneamento domiciliar, engenharia ecológica, tecnologia social.

ABSTRACT

SANGUINETTO, Evandro. Ecological Design: designing and building living technologies for the treatment of residential wastewater to enable the water reuse. Dissertation. Master course in Environment and Water Resources - MEMARH. Federal University of Itajubá – UNIFEI. Itajubá: 2010, 228p.

The current dissertation is aimed at providing an answer to the following question: are the living technologies, proposed by Gaia Terranova, for the treatment of residential wastewater enabling the water reuse a sustainable practice from the environmental, economic and legal perspective? Following procedures suggested by Sanguinetto (2009), the living technologies (ecotechnologies) for the treatment of black-water (toilet water) and grey-water (sink, washing machine, shower water) were installed in Gaia Terranova and their development, operation, maintenance, efficiency, cost and benefits have been followed. The results obtained have been highly positive. The living technology is part of a broader system, originated from the Ecological Design, and has gained purpose and application when related, conversely, with the house, where the wastewater is treated, and with the land, where the wastewater is discharged after the treatment. As the wastewater is treated and reused where it is produced, sewage is no longer sent to water bodies, therefore the treatment is contributing to maintain the high quality of these waters, avoiding damages to the receptive ecosystem and the dependent communities, whereas considerably reducing or postponing high investments in centralized tank sewage treatment systems. This way, the bases for the Ecological Design are strengthened in the country, in a time when an engineering oriented to the mutual benefit of humans and nature is emerging - the Ecological Engineering, where Life is regarded as a main asset. The methodology utilized incorporated field research - with the implementation and monitoring of the living technologies -, sample collection, wastewater laboratory analyses, and the statistical analyses of the results. The environmental sustainability was measured taking into account the diameter of the pseudostems of the banana trees, as a result, the trees that received the treated wastewater were 5 times bigger; and a visual assessment of the area, when Gaia Terranova has evolved 88.4% from mid 2007 and mid 2009. The economic sustainability was measured comparing the amount of money spent for the

construction, operation and maintenance (year) of both systems, that is R\$ 2,073.54, with the amount obtained from the systems or saved throughout their useful life (25 years), coming to a total amount of R\$ 74.949,96. Regarding legal sustainability, for each analyzed parameter we worked with superior limits of Confidence Intervals of 99%, comparing the results obtained with the Brazilian standard values (Resolução No. 357/2005 do CONAMA e Deliberação Normativa No. 1/2008 do COPAM/CERH-MG) for the disposal of wastewater. For black-waters the legal parameters are: COD of 124 mg.L⁻¹ in N2 (after biological filter), reaching 72,4 mg.L⁻¹ in N3 (exit from the constructed wetland) in dry weather, with minimum removal efficiency between 80,7% (N2/N1) and 77,3% (N3/N1); pH of 7,82 in N2 and 7,86 in N3; turbidity of 35,37 NTU in N3 (dry weather); sedimented solids with 0,12 mL.L⁻¹ in N3 and 0,17 mL.L⁻¹ in N2; total suspended solids within standard if considering average of 60,6 mg.L⁻¹, but out of standard for CI=99% with 108,0 mg.L⁻¹. The total dissolved solids (735,3 mg.L⁻¹ in N2 and 803,9 mg.L⁻¹ in N3) and the total coliforms (3,65.10⁵ NMP) and *Escherichia coli* (2,01.10⁵ NMP) are not in compliance with the disposal standards. For the grey-waters and considering the superior limits for CIs=99%, all the assessed parameters were in compliance with the legislation: COD between 59,7 mg.L⁻¹ in MP2 (multifunctional pool 2) and 73,6 mg.L⁻¹ in B3 (after the constructed wetland) with minimum removal efficiency between 81,95 (B3/B2) and 85,36% (MP2/B2), being B2 the system entrance; pH between 6,8 (B3) and 8,0 (MP3); turbidity of 34,8 NTU in MP1, 32,1 NTU in MP2 and 68,7 NTU in MP3; sedimented solids between 0,10 mL.L⁻¹ in B3 and 0,68 mL.L⁻¹ in MP1; total suspended solids between 21,4 mg.L⁻¹ (B3), 32,4 mg.L⁻¹ (MP2) and 65,5 mg.L⁻¹ (MP2); total dissolved solids 458,8 mg.L⁻¹ (B3) and 471,5 mg.L⁻¹ (MP1); temperature between 25,5 °C (B3) and 26,8 °C (MP2). In terms of dissolved oxygen, around 2 p. m. and with clear weather, the multifunctional pools MP1, MP2 and MP3 come to a minimum of 6,0 mg.L⁻¹ needed for the disposal, with peaks of 11 mg.L⁻¹ in MP3. To conclude, we strongly believe that the living technologies are sustainable in the three areas of our concern, that is the environment, the economy and the law. The grey-waters resulted in treated wastewater similar to Class 1 water (parameters: temperature, pH, dissolved oxygen, turbidity, biochemical oxygen demand, sedimented solids, total suspended solids, and total dissolved solids). The parameters for the black-water which were not in compliance do not pose any obstacle, as the final disposal is made through an infiltration trench, where the soil provides the wastewater final polishing, before it is absorbed by the row of banana trees.

Keywords: ecological design, ecotechnology, sustainability, reuse, interdisciplinarity, residential sanitation, ecological engineering, social technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1. Tecnologia Apropriada.....	6
Figura 3.2. Macrófitas aquáticas de região litorânea lacustre.....	21
Figura 3.3. Exemplos de autossimilaridade do fractal nautilus na natureza.....	34
Figura 3.4. Construção da Curva de Kock.....	35
Figura 3.5. Níveis de Realidade e par de contraditórios.....	37
Figura 3.6. Modelo de Saneamento Ambiental Domiciliar – HCES Model.....	45
Figura 3.7. Dez passos da abordagem SAD.....	47
Figura 3.8. Corte em perspectiva de um tanque de evapotranspiração – Tevap.....	50
Figura 3.9. Leito de evapotranspiração – LET.....	51
Figura 3.10. Bio-rack – sistema de banhado construído compacto.....	53
Figura 5.1. Localização de Gaia Terranova em relação a cidades maiores do Sul de Minas Gerais.....	63
Figura 5.2. Gaia Terranova.....	64
Figura 5.3. Fractal de conhecimento-ação.....	68
Figura 5.4. Espiral conhecimento-ação da ecotecnologia de tratamento biológico de efluentes residenciais.....	70
Figura 5.5. Esquema simplificado de construção de solução para o problema proposto a partir de um sistema piloto.....	75
Figura 5.6. Esquema simplificado da metodologia de concepção, construção, desempenho e validação das tecnologias vivas.....	75
Figura 5.7. Espiral evolutiva do fractal metodológico proposto.....	76
Figura 5.8. Níveis de Realidade e par de contraditórios em Gaia Terranova.....	78
Figura 5.9. Esboço do <i>design</i> e fluxo de matéria e energia das tecnologias vivas instaladas em Gaia Terranova.....	80
Figura 5.9. Organograma do planejamento à comparação com a legislação.....	86
Figura 5.10. Pontos de coleta de águas cinzas: B1,B2, B3 e LM1.....	89
Figura 5.11. Pontos de coleta de águas cinzas: LM2 e LM3.....	90
Figura 5.12. Apanhado geral do sistema.....	90
Figura 5.13. Pontos de coleta de águas pretas: N1, N2 e N3.....	91
Figura 6.2. Produção média de esgotos, desvio padrão e limite superior (IC = 99%).....	96

Figura 6.3. Esboço do Sistema 1, Piloto de Banhado Construído - BC (<i>wetland</i>)....	97
Figura 6.4. Evolução do banhado piloto de janeiro a dezembro de 2008.....	98
Figura 6.5. Esboço do filtro.....	101
Figura 6.6. Construção do filtro.....	102
Figura 6.7. Evolução e colmatação do filtro.	103
Figura 6.8. Rearranjo do filtro.	104
Figura 6.9. Evolução do filtro.	104
Figura 6.10. Raízes recobrando o filtro.	105
Figura 6.11. Intervenção no filtro e evolução de novas plantas.....	105
Figura 6.12. Banhado construído seguido de lagoa de maturação. Esboço da Versão 01.	106
Figura 6.13. Evolução do banhado construído e lagoa multifuncional 1.....	107
Figura 6.14. Banhado construído seguido de lagoa de maturação. Planta da Versão 02.	108
Figura 6.15. Corte transversal da lagoa de maturação mostrando o banhado marginal.....	109
Figura 6.16. Evolução do banhado e lagoa multifuncional 1.....	110
Figura 6.17. Lagoas multifuncionais mostrando tilápias à superfície.....	111
Figura 6.18. Banhado tomado por papiro e emaranhado de raízes.....	112
Figura 6.19. Banhado construído seguido de lagoa de polimento. Esboço da Versão 03.	112
Figura 6.20. Construção da versão 03 do banhado e lagoa multifuncional 1.....	113
Figura 6.21. Esboço das lagoas multifuncionais 2 e 3.....	114
Figura 6.22. Instalação das lagoas multifuncionais LM2 e LM3.....	115
Figura 6.23. Em torno das lagoas multifuncionais com pouca vegetação.....	115
Figura 6.24. Plantio de culturas de ciclo anual.....	116
Figura 6.25. Em torno das lagoas já bastante vegetadas.....	116
Figura 6.26. Remanejamento de espécies vegetais e criatório experimental de tilápias.	117
Figura 6.27. Macrófitas submersas evoluindo no sistema.....	118
Figura 6.28. Submersa não identificada e caracol (<i>Lymnaea</i> sp).....	118
Figura 6.29. Gramínea não identificada mesclada ao aguapé.....	119
Figura 6.30. Espécies vegetais de ocorrência não-antrópica e não identificadas.....	120

Figura 6.31. Esboço do sistema de tratamento de águas pretas.....	121
Figuras 6.32. Aspectos construtivos do sistema.....	121
Figura 6.33. Esboço de vala de infiltração com tijolos cerâmicos vazados.....	122
Figura 6.34. Vala de infiltração com tijolos cerâmicos vazados.....	122
Figura 6.35. Esboço de sistema de tratamento de águas pretas, vala de infiltração e linha de bananeiras.	123
Figura 6.36. Banhado construído seguido por vala de infiltração e linha de bananeiras.	123
Figura 6.37. Evolução do crescimento de bananeiras que receberam efluente da tecnologia viva.	124
Figura 6.38. Crescimento vigoroso de vegetação.	125
Figura 6.39. Compostagem de resíduos vegetais e de cozinha.....	126
Figura 6.40. Bananeiras que não receberam efluente da tecnologia viva.....	127
Figura 6.41. Diâmetro dos pseudocauls de bananeiras matrizes e filhotes a 0,20 cm da base.	127
Figura 6.42. Gráfico do quantis normais para dados do plantio.....	129
Figura 6.43. Gráfico do quantis normais para dados após 15 meses.....	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Características físicas, químicas e bacteriológicas de águas cinzas oriundas de chuveiros e lavatórios.....	49
Tabela 3.2. Resultados de análises físico-químicas de saída de TEvap.....	51
Tabela 3.3. Tratamento anaeróbio + <i>wetland</i> com brita e <i>wetland</i> com bambu.....	52
Tabela 3.4. Bio-rack – sistema de banhado construído compacto.....	53
Tabela 4.1. Comparação entre as normas federal e mineira que definem os padrões de qualidade de água.....	56
Tabela 4.2. Condutividade e usos das águas.....	61
Tabela 5.1. Fractal conhecimento-ação complexificado nas Tecnologias Vivas de tratamento de águas cinzas e pretas.....	71
Tabela 5.2. Capacidade de percolação de diferentes materiais de preenchimento...	83
Tabela 5.3. Datas de coleta de amostras e volume medido de águas cinzas.....	87
Tabela 5.4. Datas de coleta e volume medido de águas pretas.....	88
Tabela 5.5. Parâmetros, unidade e metodologia de análise das águas cinzas.....	88
Tabela 5.6. Parâmetros, unidade e metodologia de análise das águas pretas.....	89
Tabela 6.1. Produção de esgotos em Gaia Terranova.....	96
Tabela 6.2. Medida (cm) do perímetro dos pseudocaules no plantio e após 15 meses.....	128
Tabela 6.3. ANOVA das médias entre tratamentos.	130
Tabela 6.4. Avaliação visual de Gaia Terranova e áreas de em torno.....	131
Tabela 6.5. Custos de construção do Piloto de Banhado Construído (<i>wetland</i>). Valores de setembro de 2009.....	133
Tabela 6.6. Custos de construção do sistema filtro, banhado construído e lagoa de maturação. Valores de setembro de 2009.....	134
Tabela 6.7. Custos de construção das lagoas multifuncionais LM2 e LM3. Valores de setembro de 2009.....	135
Tabela 6.8. Custos de construção do sistema de tratamento de águas pretas. Valores de setembro de 2009.....	136
Tabela 6.9. Custos de construção de sistema completo de tratamento de águas pretas e águas cinzas. Valores de setembro de 2009.....	137
Tabela 6.10. Ganhos diretos e indiretos proporcionados pelas tecnologias vivas, <i>payback</i> , retorno sobre o investimento e recursos hídricos poupados.....	139

Tabela 6.11. Conformidade (verde) e desconformidade (vermelho) dos resultados das análises de águas cinzas tratadas em relação à legislação.....	145
Tabela 6.12. Conformidade (verde) e desconformidade (vermelho) dos resultados das análises de águas pretas tratadas em relação à legislação.....	151
Tabela 6.13. Parâmetros e valores de águas Classe 1, limites para lançamento de efluentes e conformidade das tecnologias vivas.....	156
Tabela 6.14. Comparação entre diversos sistemas e as Tecnologias Vivas.....	161

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
EPÍGRAFE.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. OBJETIVO GERAL.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1. ECOTECNOLOGIA.....	5
3.2.DEFINIÇÃO PROPOSTA PARA ECOTECNOLOGIA.....	10
3.3.DESIGN ECOLÓGICO E TECNOLOGIAS VIVAS.....	11
3.4.DEFINIÇÃO PROPOSTA PARA TECNOLOGIAS VIVAS.....	31
3.5.COMPLEXIDADE, INTER, MULTI E TRANSDISCIPLINARIDADE.....	32
3.6.OS PRINCÍPIOS DE BELLAGIO.....	43
3.7.SANEAMENTO AMBIENTAL DOMICILIAR – SAD.....	44
3.8.ÁGUAS PRETAS E ÁGUAS CINZAS.....	48
3.9.ECOTECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS.....	50
4. LEIS, RESOLUÇÕES E NORMAS.....	54
4.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	54

4.2. PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES EM CORPOS D'ÁGUA.	57
4.3. REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	59
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
5.1. GAIA TERRANOVA.....	62
5.2. PERFIL DOS MORADORES.....	65
5.3. FRACTAL CONHECIMENTO-AÇÃO.....	67
5.4. FRACTAL CONHECIMENTO-AÇÃO EXPANDIDO.....	76
5.5. <i>DESIGN</i> ECOLÓGICO E TECNOLOGIAS VIVAS.....	78
5.6. TECNOLOGIAS VIVAS IMPLANTADAS EM GAIA TERRANOVA.....	80
5.6.1. Sistema 1: piloto de banhado construído (<i>wetland</i>).....	81
5.6.2. Sistema 2: filtro, banhado construído (BC) e lagoa multifuncional 1 (LM1).....	83
5.6.3. Sistema 3: lagoas multifuncionais LM 2 e LM 3.....	84
5.6.4. Sistema 4: decanto-digestor, filtro biológico, banhado construído e vala de infiltração seguida de linha de bananeiras.....	85
5.7. PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO.....	85
5.7.1. Planejamento estatístico para Águas Cinzas.....	86
5.7.2. Planejamento estatístico para Águas Pretas.....	87
5.8. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS.....	88
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
6.1. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL.....	94
6.1.1. Sistema 1: piloto de banhado construído – monitoramento e evolução..	97
6.1.2. Sistema 2: filtro, banhado construído (BC) e lagoa multifuncional 1 (LM1).....	99
6.1.3. Sistema 3: lagoas multifuncionais LM 2 e LM 3 – construção, monitoramento e evolução.....	113

6.1.4. Sistema 4: decanto-digestor, filtro biológico, banhado construído e vala de infiltração seguida de linha de bananeiras – construção, monitoramento e evolução.....	120
6.1.5. Linha de bananeiras.....	126
6.1.6. Avaliação visual de áreas.....	130
6.2. SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA.....	132
6.2.1. Custos de construção, operação e manutenção do banhado piloto.....	133
6.2.2. Custos de construção, operação e manutenção do sistema filtro, banhado construído e lagoa multifuncional 1.....	134
6.2.3. Custos de construção, operação e manutenção das LM2 e LM3.....	135
6.2.4. Custos de construção, operação e manutenção da tecnologia viva de tratamento de águas pretas.....	135
6.2.5. Custos e benefícios diretos e indiretos.....	137
6.3. SUSTENTABILIDADE LEGAL.....	143
6.3.1. Resultados das análises de águas cinzas.....	144
6.3.2. Resultados das análises de águas pretas.....	149
6.3.3. Resumo dos resultados.....	156
6.4. COMPARAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS.....	157
6.5. SOBRE SISTEMAS VIVOS.....	165
7. CONCLUSÃO.....	168
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	173
ANEXO 1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUAS CINZAS.....	180
ANEXO 2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUAS PRETAS.....	209

1. INTRODUÇÃO

A Ciência e Tecnologia desenvolveram-se sob premissas de alta sofisticação tecnológica e científica, uso intensivo de energia e capital, decrescente utilização de mão de obra e alta produção de resíduos, poluentes e contaminantes, com centros de decisão muitas vezes distantes e impermeáveis ao diálogo com os consumidores de seus conhecimentos, produtos, serviços e, mesmo, de seus interesses localizados e mais prementes.

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de ecotecnologias seguem por caminhos pouco trilhados pela Ciência e Tecnologias convencionais, buscando a resolução de problemas globais a partir de ações locais, que se utilizam de insumos, capital, capacidade de trabalho, forças sócio-político-culturais, conhecimentos, habilidades e competências prioritariamente locais e biorregionais². Essas são também propostas da Permacultura³ e do *Design*⁴ Ecológico.

A pesquisa e desenvolvimento de tecnologias vivas para o tratamento de efluentes domésticos reutilizando suas águas e nutrientes, ao tempo que contribui para o equacionamento de grave lacuna de saneamento básico existente no país, possibilitam:

- a) O empoderamento de famílias e pequenas comunidades no encaminhamento e solução de problemas associados à falta de saneamento adequado;
- b) Redução da carga orgânica lançada em corpos d'água de maneira inapropriada;
- c) Recuperação de água e nutrientes presentes nos efluentes;
- d) Ampliação da biodiversidade local, levando à formação de teias e cadeias alimentares, ciclagem de nutrientes de forma mais eficiente, maior resiliência dos ecossistemas e capacidade renovada de prestação de serviços ambientais;
- e) Recuperação de solos desgastados e degradados ao devolver-lhes nutrientes de maneira direta (água e nutrientes dos efluentes) e indireta (utilização das plantas

² *Biorregião*: Espaço geográfico que contém um ou vários ecossistemas e se caracteriza por sua topografia, vegetação, cultura e história humanas comuns (MOUSINHO *apud* TRIGUEIRO, p.339, 2003).

³ *Permacultura* (do inglês *permanent* e *culture*, cultura permanente): conjunto de conhecimentos e técnicas tradicionais resgatados e organizados por Bill Mollison e outros, tendo por objetivo a construção de uma cultura humana em harmonia com a natureza.

⁴ *Design* é palavra inglesa que não encontra tradução adequada na língua portuguesa, podendo significar *desenho, projeto, esquema, planejamento, arte, configuração, concepção, elaboração e especificação* de um artefato, orientado por uma intenção ou objetivo, ou para a solução de um problema. Incorpora estética, funcionalidade, forma, processo e demais aspectos relativos a objetos ou processos. Seguindo variados autores, optou-se manter o termo em inglês.

manejadas dos sistemas na produção de compostos orgânicos), contribuindo para o aumento da biomassa do solo (micro e macrorganismos).

- f) Fortalecimento da segurança alimentar ao contribuir com a produção de alimentos de base orgânica, reutilizando diretamente os efluentes tratados e/ou os compostos produzidos a partir do manejo dos sistemas.

Ao propor o tema, quer-se fundir em um mesmo sistema de tratamento de efluentes, os conceitos e práticas da Permacultura, que propõe sistemas simplificados e que se utilizam de processos vivos (microrganismos, plantas, insetos, *etc.*) e Ciência, que dimensiona, explica e valida a eficiência de sistemas normalmente projetados para escalas maiores que a residencial, formando assim uma (eco)tecnologia ou tecnologia viva de tratamento de efluentes domésticos que incorpora:

- a) Baixo custo de implantação, operação e manutenção;
- b) Baixo ou positivo impacto ambiental;
- c) Necessidade de mão de obra pouco especializada a partir do projeto e implantação;
- d) Resolução de problemas ligados a efluentes residenciais e de pequenos agrupamentos urbanos, periurbanos e rurais;
- e) Promoção de saúde e bem-estar das populações da bacia hidrográfica em que se instalam as tecnologias vivas;
- f) Apropriação e domínio do conhecimento teórico-prático pela população atendida;
- g) Inserção cultural e ecossistêmica;
- h) Reutilização das águas com aproveitamento dos nutrientes para usos múltiplos;
- i) Proteção de corpos d'água e mananciais subterrâneos, evitando sua contaminação e poluição.

Tramita no Congresso Nacional (2009) Projeto de Lei (PL) que institui a Política Nacional dos Serviços Ambientais e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais, que em seu Art. 2º define os serviços ambientais como aqueles *desempenhados pelo meio ambiente que resultam em condições adequadas à sadia qualidade de vida*. Dentre as modalidades previstas, estão os *serviços de suporte e regulação, que mantêm os processos ecossistêmicos e as condições dos recursos ambientais naturais, de modo a garantir a integridade dos seus atributos para as presentes e futuras gerações*. A proposta prevê ainda o

pagamento por serviços ambientais àquelas *atividades humanas de restabelecimento, recuperação, manutenção e melhoria dos ecossistemas que geram serviços ambientais e que estejam amparadas por planos e programas específicos*. Já no Art. 9º o PL prevê:

Art. 9º O Subprograma Água tem como finalidade gerir ações de pagamento aos ocupantes regulares de áreas de até quatro módulos fiscais situadas em bacias hidrográficas de baixa disponibilidade e qualidade hídrica, atendidas as seguintes diretrizes:

- I - prioridade para bacias ou sub-bacias abastecedoras de sistemas públicos de fornecimento de água para consumo humano ou contribuintes de reservatórios;
- II - prioridade para diminuição de processos erosivos, redução de sedimentação, aumento da infiltração de água no solo, melhoria da qualidade e quantidade de água, constância do regime de vazão e diminuição da poluição;
- III - prioridade para bacias com *déficit* de cobertura vegetal em áreas de preservação permanentes;

A aprovação de semelhante Lei traz a possibilidade de o *design* ecológico e as tecnologias vivas contribuírem de maneira efetiva para a sustentabilidade socioambiental de espaços e populações rurais e peri-urbanas, contribuindo ainda para o aumento da qualidade de vida das populações urbanas, ao fornecer serviços ambientais valiosos, como água limpa, assoreamento evitado, incremento da produção da agricultura familiar, segurança alimentar e ampliação da possibilidade de permanência dessa população no campo, evitando sua vinda não planejada para os centros urbanos, diminuindo assim a crescente pressão sobre as periferias desses centros.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa é responder à seguinte questão: As tecnologias vivas de tratamento de efluentes domésticos com separação e biotratamento de águas cinzas e pretas proposto para Gaia Terranova⁵ é sustentável do ponto de vista ambiental, econômico e legal?

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos tem-se:

- a) Projetar e implantar tecnologia viva de tratamento de efluentes domésticos permitindo o reúso das águas e recuperação de nutrientes em Gaia Terranova.
- b) Observar o desempenho e intervir no sistema buscando o aperfeiçoamento de sua base ecotecnológica, ecológica e conceitual, buscando alta eficiência e fácil instalação, operação e manutenção.
- c) Levantar custos de construção, operação e manutenção do sistema.
- d) Analisar parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas afluentes e efluentes aos sistemas.
- e) Comparar os resultados dos sistemas instalados em Gaia Terranova em relação a outros sistemas e exigências da legislação brasileira em vigor.

⁵ *Gaia Terranova* é nome fantasia para designar um conjunto de duas residências rurais que vem sendo utilizadas, uma pelo autor e família como moradia, outra como futura sede da empresa Gaia Terranova Empreendimentos Sustentáveis Ltda e campo de Estudos, Pesquisas, Desenvolvimento e Práticas Sustentáveis, localizadas no município de Piranguinho-MG. As residências foram construídas de maneira mais sustentável, incorporando elementos construtivos e de projeto que diminuem o impacto ambiental tanto na construção como em sua vida útil, sendo as primeiras Casas Ecológicas da região, enquanto que o terreno foi trabalhado segundo conceitos de permacultura e agroecologia, formando Habitats Sustentáveis. Na interface entre ambos, a tecnologia viva de tratamento biológico de efluentes com reúso das águas, que promove a conexão entre terreno e casa, fechando ciclos de produção de alimentos, ciclagem de resíduos e nutrientes e aumento de energia bioquímica em estoque e fluxo no sistema.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. ECOTECNOLOGIA

Ao buscar o termo ecotecnologia, nota-se que sua evolução histórica tem sido bastante diversificada, sendo abordada e conceituada por vários autores de diferentes maneiras, algumas similares, outras antagônicas. Tem-se assim, no universo das ecotecnologias, os termos (GRAEML, 1996): tecnologia apropriada, tecnologia intermediária, tecnologia progressiva, tecnologia de terceiro mundo, tecnologia alternativa, tecnologia suave, tecnologia pé-descalço, tecnologia não-violenta, tecnologia não-poluidora e tecnologia de auxílio próprio, dentre outras.

Willoughby (1990, *apud* CORDEIRO NETO *et al.*, 2001) indica o economista Ernst Friedrich Schumacher como o primeiro a utilizar o termo “Tecnologia Apropriada”, posteriormente definindo-a como aquela que melhor se ajusta ao contexto psicossocial e biofísico prevalecente em um local e um período particular.

Buarque (1983, *apud* CORDEIRO NETO *et al.*, 2001) considera ainda que:

- a) Existem alternativas disponíveis mais eficazes que outras;
- b) É possível definir critérios e métodos de avaliação de projetos que permitam a seleção de tecnologias mais apropriadas aos casos estudados;
- c) Pode-se realizar, não somente uma melhor seleção tecnológica, mas também uma adaptação às condições locais de tecnologias disponíveis.

Cordeiro Neto *et al.* (2001) apontam diferentes dimensões de uma tecnologia apropriada, a saber:

- a) Dimensão Técnica – considera a eficiência desejada em uma determinada situação.
- b) Dimensão Ambiental – alternativas tecnológicas que se utilizem ou privilegiem fontes renováveis de energia disponíveis no nível local, economia de fontes não-renováveis, aproveitamento de resíduos, minimização de impactos ambientais.
- c) Dimensão Sócio-Cultural – adaptação da tecnologia à cultura e *habitats* locais, minimizando a transferência de mão de obra e capacitação da comunidade no manejo da tecnologia.
- d) Dimensão Política – desenvolvimento e utilização de tecnologia nacional autônoma.

- e) Dimensão Econômica – minimização dos custos de acesso e utilização da tecnologia e retorno social do investimento.

Martinez e Rodriguez (1999) utilizam recurso visual (Figura 3.1) para evidenciar uma Tecnologia Apropriada como formada, ou antes, resultado da interação entre quatro diferentes vertentes:

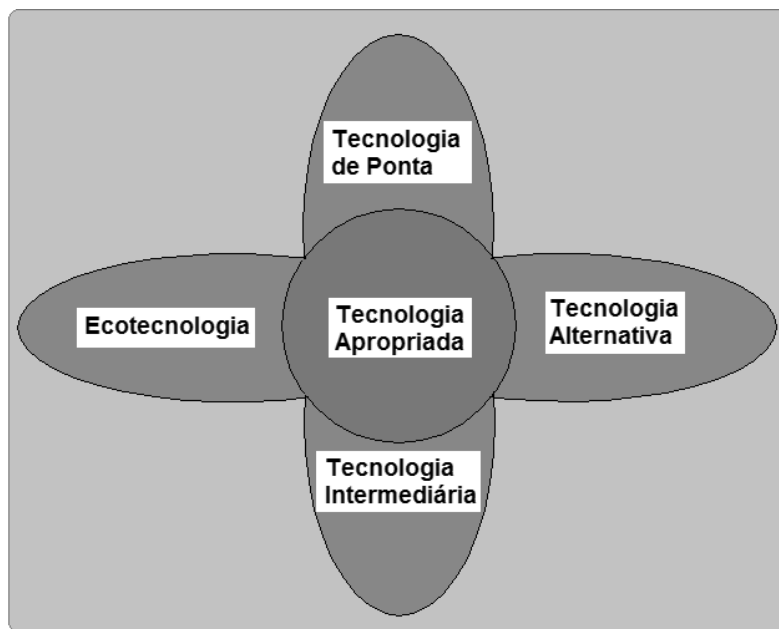


Figura 3.1. Tecnologia Apropriada.

Fonte: modificado de Martinez e Rodriguez (1999)

- a) Tecnologia de Ponta – associada à imagem de circuitos eletrônicos, robótica, *chips*, computadores, cibernética, sendo a última palavra em tecnologia.
- b) Tecnologia Alternativa – conjunto de técnicas que se opõem ao modelo tecnológico dominante, englobando:
- ✓ Processos tecnológicos descentralizados, sendo as decisões tomadas nos níveis local e regional;
 - ✓ Mínimo de especialização;
 - ✓ Grande quantidade de mão de obra e mínimo capital;
 - ✓ Produção em pequena escala;
 - ✓ Tendem à conservação dos recursos naturais não renováveis;

- ✓ Utilizam técnicas não contaminantes dos ecossistemas;
 - ✓ Estimulam o trabalho criativo.
- c) Tecnologia Intermediária – estado transitório entre uma tecnologia considerada mais primitiva e outra mais avançada.
- d) Ecotecnologia – técnicas que permitem a valorização dos recursos naturais locais assegurando sua conservação e renovação, assim como a manutenção do equilíbrio ecológico, considerando ainda o contexto cultural e as forças produtivas disponíveis.
- e) Tecnologia Apropriada – da interação entre as quatro tecnologias anteriores, surge uma Tecnologia Apropriada, criada em função de demandas localizadas e concebidas para satisfazer as necessidades de setores mais empobrecidos de uma região ou país e não demandas de mercado ou busca de resultados financeiros ou rentabilidade econômica. As principais características dessa tecnologia podem ser expressas por:
- ✓ Pequena escala – mantidas e operadas localmente;
 - ✓ Concepção simples – manutenção e reparação feitas pelas pessoas que as utilizam sem necessidade de mão de obra especializada;
 - ✓ Modularização – possibilidade de incorporar ou retirar unidades de acordo com as necessidades;
 - ✓ Recursos locais – não dependem de peças ou partes importadas;
 - ✓ Fonte energética – utilizam energias renováveis providas por animais, energia solar, hidráulica, eólica, *etc.*;
 - ✓ Consumo local – desenvolvidas a partir de necessidades locais;
 - ✓ Capital – baixo aporte financeiro;
 - ✓ Fontes de trabalho – maior utilização de mão de obra;
 - ✓ Social – facilmente incorporadas pelo meio sociocultural;
 - ✓ Criatividade – alto aporte de criatividade;
 - ✓ Participação – os usuários participam em todas as fases de seu desenvolvimento, apropriando-se do conhecimento e prática;
 - ✓ Cultural – valorizam a cultura local utilizando conhecimentos acumulados pelas comunidades ao longo de sua existência;
 - ✓ Ecológica – concebidas em sintonia com a ecologia local, buscando manter o equilíbrio dos ecossistemas, não contribuindo para a poluição e contaminação dos recursos naturais locais.

Para Leff⁶ *apud* Campos (2006) as bases das ecotecnologias se assentam sobre o mesmo tripé da sustentabilidade. Nessa visão, os processos de transformação dos recursos naturais para satisfazer necessidades sociais, para ser sustentável, deveriam aproveitar e respeitar a produtividade primária dos ecossistemas naturais, utilizando tecnologias que integrem as dimensões ambientais e econômicas ao conhecimento, saberes e valores culturais das comunidades.

Bowoder⁷ *apud* Graeml (1996) lista critérios a serem utilizados como forma de identificar ou orientar o desenvolvimento de tecnologias mais adequadas a determinadas condições, lugares e tempos (modificada por Graeml, 1996):

- a) Escolher tecnologia que utilize menos energia ou poupe recursos;
- b) Optar por uso intensivo de mão de obra desde que não comprometa a eficiência;
- c) Os custos devem ser compatíveis com os recursos locais;
- d) Apresentem alta produtividade;
- e) Sejam de fácil operação e manutenção;
- f) Optar por plantas fabris de médio e pequeno porte;
- g) Utilizar matérias primas locais;
- h) Substituir importações;
- i) Não degradar o meio ambiente;
- j) Reciclar tudo que for possível e sempre que for possível;
- k) Apresentar boa capacidade de dispersão ou replicação;
- l) Potencial de redução das disparidades sociais e não causar impactos negativos na sociedade e cultura de um povo;
- m) Apropriação local.

Chernicharo *et al.* (2001) defendem que a demanda reprimida por saneamento básico no Brasil e condições climáticas favoráveis com altas temperaturas impulsionam a adoção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos. Os requisitos que esses sistemas deveriam apresentar incorporam muitas das premissas levantadas para as ecotecnologias:

- a) Baixo custo de implantação;

⁶ LEFF, H. *Epistemologia ambiental*. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

⁷ Bowoder, B. *Appropriate technology for developing countries: some issues*. Technological Forecasting and Social Change, 15, 1979.

- b) Elevada sustentabilidade do sistema, relacionada à pouca dependência de fornecimento de energia, de peças e equipamentos de reposição *etc.*;
- c) Simplicidade operacional, de manutenção e de controle (pouca dependência de operadores e engenheiros altamente especializados);
- d) Baixos custos operacionais;
- e) Adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos);
- f) Pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado na estação;
- g) Baixos requisitos de área;
- h) Existência de flexibilidade em relação às expansões futuras e ao aumento de eficiência;
- i) Possibilidade de aplicação em pequena escala (sistemas descentralizados), com pouca dependência da existência de grandes interceptores;
- j) Fluxograma simplificado de tratamento (poucas unidades integrando a estação);
- k) Elevada vida útil;
- l) Ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha;
- m) Possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas;
- n) Existência de experiência prática.

Abiko (s/d) aponta Ernest Shumacher como o introdutor do termo Tecnologia Apropriada em 1961, a partir de sua identificação com o trabalho e vida de Ghandi, enfatizando posteriormente em seu livro *Small is Beautiful*⁸, traduzido entre nós como “O negócio é ser pequeno”, quatro critérios para este tipo de tecnologia: pequeno, simples, barato e pacífico. Abiko (*op. cit.*) relata ainda que as correntes de contracultura da década de 1960, na busca por alternativas ao *status quo* reinante, iniciaram movimentos de alimentação alternativa, medicina alternativa, agricultura alternativa e tecnologias alternativas com nomes diferentes, porém posturas semelhantes entre si: tecnologia intermediária, tecnologia alternativa, tecnologia adequada, tecnologia correta, tecnologia comunitária, ecotecnologia, tecnologia modesta, tecnologia participativa, tecnologia progressista, tecnologia radical, tecnologia doce, tecnologia suave e tecnologia apropriada.

⁸ Disponível para *download* em <<http://www.garage.com/files/SmallisBeautiful.pdf>>.

Citando Viezzer⁹ (1994) e Codetec¹⁰ (1979), Abiko (*op. cit.*) apresenta critérios, definidos por aqueles autores, para caracterizar uma tecnologia apropriada, lembrando que atualmente esses critérios devem ser ampliados incorporando questões ambientais e de sustentabilidade:

- a) Integração com o ecossistema – baixo impacto e integração com o ecossistema local;
- b) Autonomia – utilização de matérias primas e energia locais favorecendo a autonomia das regiões e países;
- c) Baixo custo – necessidade de baixo aporte de capital;
- d) Absorvedora de mão de obra – uso intensivo de mão de obra local;
- e) Capacitação acessível – a tecnologia não requer mão de obra especializada;
- f) Menos burocracia – tecnologia de domínio público, sem pagamento de patentes ou *royalties*;
- g) Adaptabilidade e simplicidade – tecnologia de fácil entendimento e absorção.

3.2. DEFINIÇÃO PROPOSTA PARA ECOTECNOLOGIA

No esforço de aglutinar as várias visões sobre o tema e definir o que se entende aqui por Ecotecnologia, propõe-se que a mesma apresente:

- Utilização preferencial de energias renováveis (solar, eólica, gravitacional, biomassa, *etc.*);
- Minimização, racionalização e otimização do uso de energia;
- Utilização intensiva de mão de obra, capacitada e empoderada para implantar, gerir, monitorar e aperfeiçoar a tecnologia com base nos recursos locais e comunitários;
- Baixo custo de instalação, operação e manutenção;
- Fácil compreensão e replicação;
- Alta produtividade e eficiência;
- Utilização de recursos ambientais, humanos, técnicos, culturais e científicos locais;

⁹ Viezzer, M., Ovalles, O. (org.) Manual Latino-Americano de Educ-Ação Ambiental. Editora Gaia, São Paulo, 1994.

¹⁰ Codetec – Unicamp. Considerações sobre Tecnologia Apropriada. Campinas, 1979.

Definindo o que se entende por Ecotecnologia, pode-se propor que:

Ecotecnologia é uma tecnologia de alta eficiência, baixo custo, fácil construção, operação e manutenção, voltada para a solução de problemas socioambientais locais com recursos, conhecimentos e estratégias locais.

3.3. DESIGN ECOLÓGICO E TECNOLOGIAS VIVAS

A Permacultura (Agricultura Permanente), movimento iniciado na Austrália, na década de 1970, por Mollison (1994) e outros, tem por proposta integrar conhecimentos tradicionais e científicos na construção da sustentabilidade, unindo componentes conceituais, materiais e estratégicos em um padrão que opere para beneficiar a vida em todas suas formas e manifestações, trabalhando com a natureza e não contra ela, partindo da observação do mundo natural e transferência dos conhecimentos adquiridos para o ambiente planejado.

O *design* permacultural incorpora os seguintes princípios:

- a) **Localização relativa** – o posicionamento dos elementos no *design* de um sistema se faz de modo a buscar a formação de redes retroalimentadas que possam aproximá-lo de sistemas vivos, autopoieticos.
- b) **Cada elemento executa muitas funções** – uma lagoa de polimento, aqui chamada Lagoa Multifuncional, cumpre a função de eliminar organismos patogênicos, modificar o microclima local, criar microecossistemas diversificados e servir de abrigo para diferentes espécies animais e vegetais, dentre outras.
- c) **Cada função importante é executada por muitos elementos** – o aumento da disponibilidade hídrica em um dado sistema pode ser conseguida pela instalação de curvas de nível no terreno, manutenção de cobertura morta sobre o solo, disposição de efluentes para irrigação, instalação de microbacias de contenção e infiltração de águas de chuva.
- d) **Planejamento energético eficiente** – a energia que chega ao sistema (sol, chuva, vento) pode ser aproveitada para enriquecer o sistema por meio da produção primária

(vegetal), produção de energia elétrica e/ou mecânica. Por outro lado, a redução do consumo e/ou sua otimização levam à otimização de todo sistema.

- e) **Recursos biológicos** – com a elevação dos níveis de energia e matéria no sistema, a biodiversidade tende a se ampliar, criando condições cada vez melhores para a instalação e o desenvolvimento da vida.
- f) **Ciclagem de energia e matéria** – sistemas vivos adotam produção e consumo em rede, significando que os resíduos de uns são o alimento de outros. Matéria e energia são assim constantemente produzidos a partir da energia solar e (re)ciclados indefinidamente pelos processos vitais do planeta. O que pode ser obtido, por exemplo, com o fechamento do ciclo de resíduos que deixam a residência, são transformados em nutrientes, reincorporados ao processo agroprodutivo local e retornando à residência na forma de novos alimentos de base orgânica.
- g) **Sistemas intensivos em pequena escala** – buscando soluções locais para problemas locais, sistemas em pequena escala podem ampliar a oferta de matéria e energia, agregando valor biológico e biodiversidade ao sistema, tornando-o mais e mais complexo.
- h) **Diversidade** – a complexidade crescente dos sistemas integrados em rede permite e fomenta relações interdependentes entre espécies, ampliando os nichos disponíveis e criando condições de multiplicação da biodiversidade local. Sistemas biológicos de tratamento de efluentes podem então lançar mão, em espaços bastante reduzidos, de uma ampla gama de espécies: de bactérias a vegetais e animais, tanto invertebrados como vertebrados, que utilizam a energia e matéria contidas nos resíduos produzidos em uma residência, presentes em águas cinzas e pretas, como alavancas de crescimento e reprodução, gerando trabalho e benefícios que retroalimentam o sistema planejado (limpando a água para posterior reúso, ampliando a oferta de biomassa que pode ser utilizada em composteiras, alimentando um pequeno lago que minimizará a temperatura diurna, atraindo anfíbios, pássaros e permitindo a criação de peixes, dentre outros).
- i) **Efeito de bordas** – em sistemas assim planejados, brotam microecossistemas que, nas interfaces criadas entre si (ecótonos), propiciam ainda maior complexidade de ambientes, produzindo riqueza biológica, econômica, estética e paisagística, resultando em qualidade de vida crescente, à medida que cresce nos moradores de

ambientes assim organizados, o entendimento e cuidado em relação às múltiplas possibilidades que se apresentam.

Maturana e Varela (2001) ao tecerem a teoria da autopoiese, propõem que os seres vivos se caracterizam pela produção contínua de si mesmos. Partindo das reações químicas que ocorrem no interior de células e que resultam em circuitos fechados que reproduzem as mesmas reações: um comando do ácido desoxirribonucleico - DNA, por exemplo, repassado pelo ácido ribonucleico – RNA para a produção de uma determinada proteína no ribossomo, retorna para o núcleo auxiliando o DNA a formular novo comando para o RNA. Os autores propõem uma visão de seres vivos como unidades autônomas, delimitadas por fronteiras bem definidas (membrana celular ou organismo, p.ex.), organizacionalmente fechados e estruturalmente abertos. A organização diz respeito às relações que ocorrem no interior de uma fronteira, à configuração de um sistema, de modo a serem reconhecidos como membros de uma dada classe (célula ou organismo, p.ex.). A estrutura diz respeito aos componentes e relações que determinam uma unidade particular (bactéria ou ser humano, p.ex.). Enquanto a organização define uma unidade autônoma, sua estrutura determina como irá operar. Na relação entre unidade autônoma (célula ou indivíduo, p.ex.) e o ambiente em que se insere, acontecem trocas e perturbações constantes, de tal modo que a unidade perturba o meio, que responde de acordo com sua própria estrutura, e é perturbada por este, de modo que a unidade responde de acordo com sua estrutura. O meio não muda a unidade, nem a unidade muda o meio. Mas ambos promovem perturbações recíprocas, que são respondidas de acordo com suas estruturas próprias. Os autores chamam a essa conjunção de acoplamento estrutural, defendendo que é este acoplamento que permite a mutabilidade da unidade autônoma, apesar de seu determinismo estrutural. Esse acoplamento estrutural leva a mudanças recíprocas entre unidade e ambiente, permitindo a evolução de ambos e a adaptação, seleção ou derivação (de espécies, p.ex.) e, no limite, à desorganização e morte de um ou outro. Em um campo expandido, a unicidade do ser humano está num acoplamento estrutural social, com a linguagem permitindo, por um lado, gerar regularidades que incluem a identidade pessoal de cada um em meio à sociedade; e, por outro lado, a ação do meio social sobre o indivíduo, provocando neste a reflexão e o olhar sobre uma perspectiva mais ampla, que leva à consciência do outro como um igual (embora distinto, diferente). A aceitação dessa igualdade na diferença, ou da diferença na igualdade, leva à legitimidade do outro e a isto os autores chamam Amor. Sem amor, sem aceitação do outro junto a nós, não há humanidade, não há

sociedade. A competição, a monocultura, a exclusão, a intolerância, levam à desagregação do elo amoroso que dá aos homens a dimensão social e humana e, numa visão expandida, coloca em risco toda esfera de vida no planeta.

Todd e Josephson (1996) citam Howard Thomas Odum como o pai da engenharia ecológica e Adey e Loveland como artistas cientistas que recriam em laboratório modelos de sistemas naturais, com ênfase na construção de micro e mesocosmos como mangues e piscinas com ondas, adaptando processos ecológicos em espaços confinados e elevando a inovação tecnológica a novos e mais altos níveis; relata ainda como Kauffman tem estudado a auto-organização gerada nos processos naturais, de moléculas a ecossistemas, propondo uma explicação de porque isto ocorre e como é possível utilizar estes atributos na tecnologia, buscando ainda elucidar o que impele sistemas vivos ao caos ou estado de equilíbrio, desenvolvendo a teoria da criticalidade, onde formas orgânicas podem alcançar estados de supracriticalidade, quando inventam novas combinações moleculares ou arranjos entre espécies, sugerindo que ecossistemas diversificados apresentam esta propriedade; ou de subcriticalidade, quando a diversidade ou a habilidade de suportar esta diversidade é comprometida. Segundo essa teoria, a vida no nível individual, de bactéria a organismos mais complexos, está posicionada no nível subcrítico, e a questão que a teoria da complexidade coloca para os *designers* ecológicos é como desenvolver tecnologias vivas que sejam supracríticas, capazes de *autodesign*, autoregulação e invenção de modo a desempenhar funções específicas, com o potencial de ampliar em muitas ordens de magnitude a atual eficiência de tecnologias baseadas na química e mecânica, possibilitando um trabalho cooperativo e colaborativo entre engenheiros e ecologistas. Na concepção das *living machines* (máquinas vivas) estão presentes o estudo de várias disciplinas da ciência materialista, bem como a prática de culturas agrícolas tradicionais, reunidas para construir novas concepções e possibilidades tecnológicas. A experiência de Todd e Josephson (1996) na *Ocean Arks Institute* (OAI, 2009) com culturas agrícolas e tratamento de esgotos, levou-os a desenvolver doze critérios de otimização, que devem ser incorporados no *design* de tecnologias vivas:

- a) **Diversidade mineral** - Estudos mostram que a diversidade biológica de microrganismos está associada à diversidade mineral de regiões com clima e tempo semelhantes. No *design* das *living machines*, a diversidade mineral deve ser incluída

utilizando rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Com uma rica base mineral, o sistema pode abrigar uma grande variedade de combinações biológicas, ampliando a capacidade do sistema para a auto-organização e otimização.

- b) **Reservatório de nutrientes** - Se rochas e minerais garantem a disponibilidade de micro e macro nutrientes a longo prazo, microrganismos e plantas necessitam dos mesmos em formas assimiláveis no curto e médio prazos. A ausência desses elementos nos sistemas leva ao seu empobrecimento biológico, o que pode ser revertido utilizando misturas orgânicas e/ou inorgânicas de forma a suprir as deficiências identificadas.
- c) **Steep gradients (gradientes acentuados)** - Na dinâmica de sistemas naturais, modificações bruscas de características como temperatura, pH, densidade, *etc.*, formando diferentes gradientes, podem acontecer de maneira bastante acentuada, desempenhando importante papel no equilíbrio e eficiência de um ecossistema. O *designer* ecológico deveria utilizar diversos materiais húmicos em vários subsistemas de modo a obter gradientes que incrementem interações bioquímicas.
- d) **Alta taxa de troca** - Um dos objetivos do *design* ecológico é criar o máximo de superfície por onde o efluente possa passar sem que a turbulência cause o rompimento das comunidades vivas associadas e sem implicar no colapso do sistema com a interrupção do fluxo. Uma possibilidade é criar camas ecológicas fluidizadas (*ecological fluidized bed*), tecnologia derivada dos filtros biológicos, nas quais uma variedade de plantas superiores se estabelece, formando extensas zonas de raízes que se lançam no efluente, aumentando a superfície nas quais comunidades altamente diversificadas se desenvolvem, incluindo zoo e fitoplanctons, bentos, pequenos peixes, *etc* e onde trocas gasosas e nutricionais acontecem tornando o sistema altamente eficiente.
- e) **Trocas periódicas e aleatórias** - Os ritmos anuais com a sucessão das estações informam os ecossistemas das mudanças que estão a caminho e assim a vida se organiza e se prepara de modo a responder convenientemente a essas mudanças. Nos sistemas construídos pelo *design* ecológico, pulsos como seco/molhado, maior/menor quantidade de efluentes, maior/menor incidência de luz podem ser implementados de modo a reproduzir os pulsos ou ritmos naturais, aumentando o rendimento total do sistema.

- f) **Design celular e a estrutura de mesocosmos** - Uma célula é um sistema completo, capaz de divisão, replicação, nutrição, síntese de materiais, digestão, excreção e comunicação com células adjacentes, exercendo ainda funções específicas em um tecido ou órgão, sendo ao mesmo tempo autônoma e interdependente. Copiando esses atributos no *design* de tecnologias vivas, a engenharia ecológica é capaz de produzir sistemas mais eficientes no uso de materiais e energia. No tratamento de efluentes, tanques com desenhos e funções diversas formam o mesocosmos, conectados de múltiplas maneiras uns aos outros, de modo a estabelecer redes de retroalimentação e complexidade crescentes, podendo mesmo expandir com o acréscimo de novos tanques, ou diminuir com a retirada dos mesmos de acordo com as necessidades, atendendo de residências e vilas até cidades inteiras.
- g) **Número mínimo de subecossistemas** - Uma questão chave no *design* das *living machines* é o número de diferentes subecossistemas necessários para que o mesocosmos seja viável, auto-organizável e capaz de se autossustentar por anos ou décadas. Um mínimo de três até vinte células são utilizadas no tratamento de diferentes tipos de esgoto. No caso de três células, a primeira é voltada para produção primária e estabelecimento de cadeia alimentar formada por (micro)organismos auto e heterotróficos, que são consumidos por peixes em uma segunda célula. Na terceira ocorre a filtração e purificação da água por meio de sistema que reproduz os alagadiços, brejos e charcos. Maior diversidade nas células leva todo sistema (mesocosmos) a maior estabilidade e robustez, embora ainda sejam necessárias pesquisas para determinar o número ideal dessas células. Como regra geral considera-se que um mesocosmos deva ter de três a quatro células ou componentes ecológicos básicos.
- h) **Comunidades microbianas** - Os microrganismos são onipresentes no planeta, ocupando todos os nichos ecológicos e ainda assim pouco conhecidos pela ciência e representam a base das tecnologias vivas como as *living machines*. No tratamento biológico de esgotos, o *design* do sistema deve prever grande diversidade de ambientes de modo a proporcionar sua ocupação por grande diversidade de microrganismos. Algas, bactérias, protozoários e fungos promovem a degradação da matéria orgânica presente nos efluentes e controlam a presença de patógenos. E uma vez que fungos são mais presentes no solo do que na água, sistemas vivos de

tratamento devem incorporar porções de terra de modo a permitir maior variedade fúngica.

- i) **Fundamentos baseados em energia solar fotossintética** - Enquanto a engenharia tradicional se ocupa de eliminar algas e plantas superiores dos sistemas de tratamento, a engenharia ecológica as incorpora, tendo a luz solar e os processos fotossintéticos como fundamentos dos sistemas projetados, necessitando menos energia, aeração e produtos químicos e proporcionando serviços ambientais relevantes: as zonas de raízes são *habitat* para diversas comunidades microbianas que auxiliam na degradação da matéria orgânica; *Hydrocotyle umbellata*, *Eichhornia crassipes* (aguapé) e jacintos d'água facilitam processos de nitrificação; uma espécie de mostarda, *Brassica juncea* (mostarda-da-india), pode incorporar mais de 60% de seu peso seco em metais retirados dos efluentes, que podem ser recuperados com a secagem e queima da planta; a *Mentha aquatica* produz compostos antibióticos que podem eliminar patógenos humanos. Muitas plantas utilizadas em sistemas vivos de tratamento de esgotos tem ainda características medicinais e no seu conjunto podem representar fonte de renda alternativa ao sistema.
- j) **Diversidade animal** - Organismos de todos os níveis filogenéticos têm papel importante no *design* de sistemas vivos. Animais são ainda pouco estudados em suas relações com sistemas construídos e muitas vezes são considerados elementos estranhos ou incômodos, como caracóis e lesmas, por exemplo. Caracóis pulmonados se alimentam de comunidades presentes no lodo e sedimentos auxiliando na sua redução, na manutenção dos tanques e ecologia dos leitos fluidizados e limpeza de áreas alagadas. Caracóis da família *Planorbidae* (caracóis chifre de carneiro) pastam e controlam algas filamentosas que podem reduzir a eficiência de sistemas de leito fluidizado. *Littorina irrorata* (caracol de alagados salinos) produz enzimas que degradam a celulose, pectina, polissacarídeos, tecidos de algas, fungos e animais e outras 19 enzimas que interagem com carboidratos, lipídeos e peptídeos. Caramujos podem indicar a chegada de toxinas no sistema, ao mover-se da coluna d'água para as folhas inferiores de plantas emersas. Quase todos os animais aquáticos se alimentam por processos de filtração, como os bivalves (excelentes filtradores), peixes, zooplâncton, rotíferos, larvas de insetos e esponjas, dentre outros. Moluscos de água doce dos gêneros *Unio* e *Anodonta*, individualmente chegam a filtrar 40 L.dia⁻¹,

retirando material coloidal e outras partículas orgânicas e inorgânicas. Muitas espécies têm seu ciclo de vida associado a peixes que não sobrevivem em ambientes poluídos ou alterados. Acredita-se que 50% das espécies de moluscos já se perderam e 2/3 das restantes estão ameaçadas de extinção. Tecnologias vivas têm um importante papel no resgate, cuidado e manutenção de algumas dessas espécies. Alimentando-se de partículas extremamente pequenas, o zooplankton auxilia na purificação das águas e em ambientes sem peixes (predadores) pode alcançar enorme diversidade. Larvas de insetos filtram a água e alimentam peixes. Peixes filtram a água, alimentando-se de fito e zooplankton, matéria orgânica, insetos, larvas, *etc.*

- k) **Trocas biológicas além do mesocosmos** - Para otimizar a auto-organização e auto-*design* das tecnologias vivas, faz-se necessário estabelecer ligações gasosas, biológicas e minerais com sistemas naturais. Isso se torna possível por meio de sementeiras múltiplas, inoculando micro e macrorganismos oriundos de ecossistemas locais pouco alterados assim como de locais poluídos, degradados, receptores de esgotos, estações de tratamento e zonas agrícolas. Para mesocosmos aquáticos incluem-se águas de lagos, riachos, brejos e charcos e plantas associadas a esses ecossistemas, retornando a cada estação para novas coletas, facilitando a inoculação de organismos mais adaptados às variações sazonais. Uma ligação direta entre a ecotecnologia e o ecossistema natural, pode promover trocas de materiais, organismos e produtos bioquímicos entre ambos, ampliando a diversidade e resiliência da tecnologia viva, funcionando ainda como um seguro para eventuais sobrecargas e/ou toxicidade afluyente.
- l) **Relação entre microcosmos, mesocosmos e macrocosmos** - O mais completo sistema de vida conhecido é a biosfera terrestre, que deve ser a base de conhecimentos, relações, práticas e soluções para o *design* e desenvolvimento de tecnologias vivas, permitindo à sociedade humana estabelecer relações simbióticas com a natureza, buscando a sustentabilidade enquanto melhora e fortalece o mundo natural. Essa simbiose, com certeza, nos levaria a estágios evolutivos e de compreensão da vida que hoje nem sonhamos.

A transição de um sistema tradicional para um sistema vivo é relatada em Martins *et al.* (2005) sobre modificações propostas para a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE)

Tramandaí, em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, pertencente à Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, que inicialmente fora projetada e operava com bacias de infiltração. Estas não se comportaram como previsto, visto que ao longo do tempo, embora fosse pequena a vazão afluente, processos de colmatção do substrato levaram a área do sistema a permanecer alagada a maior parte do tempo, inviabilizando a operação de infiltração. O constante crescimento de vegetação nativa dentro das bacias implicava ainda em frequentes serviços de remoção. Por esse motivo a concessionária decidiu implantar tecnologia denominada Banhados Construídos (*wetlands*), utilizando macrófitas emersas no processo de tratamento das águas residuárias. A reversão foi gradual, iniciando com a suspensão de corte e retirada da vegetação, transformando (não registra se de maneira natural ou sob intervenção) as bacias de infiltração em banhado de fluxo superficial. Instalada em área de 15,2 ha, a ETE apresentava eficiência de 90% na remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e 99% de coliformes fecais, sendo o afluente composto de esgoto *in natura*. Expressiva foi a evolução biológica do sistema, cuja área se complexou com diversas espécies de macrófitas aquáticas, flutuantes, submersas e emergentes como *Tipha* sp. (taboa), *Hydrocotyle ramunculoides* L.f. (cairuçu de brejo), *Hydrocotyle bonariensis* Lam. (erva-capitão), *Scirpus californicus*, *Sagittaria montevidensis* (Chapéu de Couro), *Polygonum hydropiperoides* Michx. (Erva-de-bicho), *Sagittaria montevidensis* Cham.&Schl, *Cyperus* sp. (papiro brasileiro) e *Pontederia lanceolata* Nutt. Também a fauna diversificou no local, com a presença de aves diversas, peixes como Jundiá (*Rhamdia* sp.) e Cascudo (*Hypostomus commersoni*), anfíbios, répteis (jacarés e cobras) e mamíferos como ratão-do-banhado (*Myocastor coypus*) e capivara (*Hydrochoerus hydrochoeris*).

As macrófitas aquáticas são de interesse para o presente trabalho por diversos motivos: (i) pela sua capacidade de transformar nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, *etc.*) presentes na água em biomassa, que pode ser utilizada na produção de adubos, artesanato, alimentação humana e animal, construção civil, fitoterápicos, *etc.*; (ii) por abrigar organismos e microrganismos que, em associação com exsudados de suas raízes, rizomas, folhas e caules, promovem ou facilitam a mineralização de compostos orgânicos presentes nas águas residuárias; (iii) por sua capacidade de mobilizar nutrientes na coluna d'água, retirando-os dos sedimentos e disponibilizando-os no meio; (iv) pela sua capacidade de produzir oxigênio (algas perifíticas, autótrofos fotossintetizantes de vida livre, macrófitas submersas)

diretamente no fluído (fotossíntese, durante o dia), parte do qual será consumido durante a noite (devido à respiração); (v) por disponibilizar nutrientes para toda uma cadeia trófica, que inicia com a comunidade perifítica e fitoplancton, espalhando-se pelo zooplâncton, organismos micro e mesobentônicos (platelmintos, anelídeos, moluscos, crustáceos, larvas de insetos, *etc.*) e comunidades maiores, como peixes, mamíferos e pássaros; (vi) pela capacidade que apresentam de absorver e/ou eliminar poluentes e contaminantes, como fenóis, fosfatos, compostos nitrogenados e metais pesados como cobre, chumbo, zinco e manganês; inibição do desenvolvimento e eliminação de bactérias patogênicas por meio da excreção de compostos orgânicos bactericidas por raízes, rizomas e comunidades microbianas associadas (ESTEVES, 1998).

Um inconveniente bastante citado em relação às macrófitas, diz respeito ao crescimento desordenado em ambientes eutrofizados, podendo causar problemas físicos em reservatórios e usinas hidrelétricas e, também, toxicológicos (devido à presença de cianotoxinas) em relação à água para consumo humano e animal. O crescimento exagerado das macrófitas aquáticas é, neste trabalho, benéfico, uma vez que a biomassa e os nutrientes por elas acumulados, podem ser periodicamente retirados dos sistemas e utilizados na produção de fertilizantes (compostos, húmus) e alimento para peixes como tilápias, carpas e pequenos mamíferos que eventualmente se deseje associados aos sistemas de tratamento de efluentes.

Esteves (1998) descreve macrófitas aquáticas como vegetais que durante sua evolução retornaram do ambiente terrestre para o aquático. A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº. 1 (COPAM-CERH-MG, 2008) as define como um conjunto de plantas desde algas macroscópicas e musgos até as plantas vasculares (Art. 2º), colonizando os mais diversos ecossistemas, como rios, lagoas, brejos, águas salobras e salgadas. Sendo ainda as principais responsáveis pela produção de biomassa em ecossistemas lênticos (lagos, lagoas, brejos), a maioria das macrófitas aquáticas é capaz de suportar longos períodos de seca, quando profundas modificações fisiológicas, anatômicas e fenotípicas as transformam em formas terrestres (ESTEVES, 1998).

A figura 3.2. mostra algumas macrófitas de região litorânea em um ecossistema lacustre.

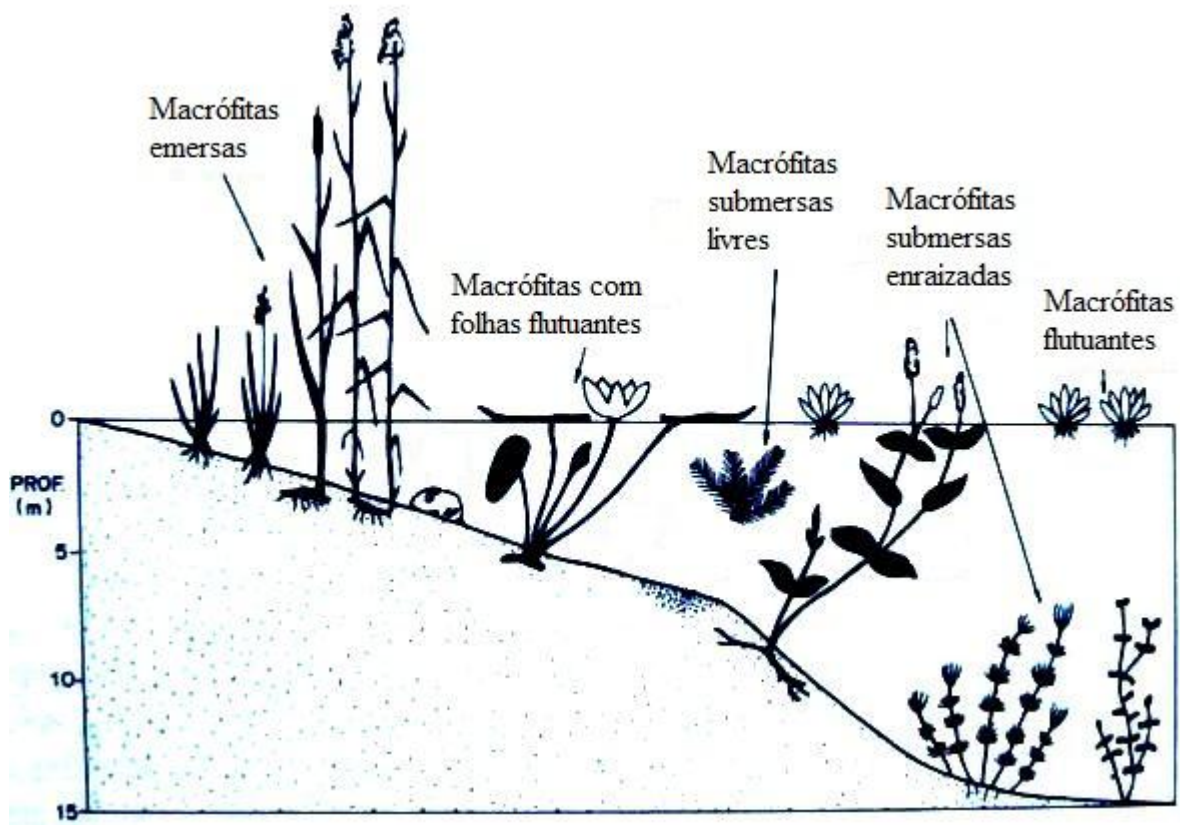


Figura 3.2. Macrófitas aquáticas de região litorânea lacustre.

Fonte: modificado de Esteves (1998).

Os grupos principais das macrófitas aquáticas podem ser organizados em (ESTEVES, 1998):

- a) **Emersas** – suas raízes estão fixadas nos sedimentos e as folhas apresentam-se fora d'água. Como exemplo tem-se: *Typha* (Taboa), *Pontederia*, *Echinodorus*, *Eleocharis* (junco), *etc.*
- b) **Folhas flutuantes** – raízes fixadas nos sedimentos com folhas flutuantes. Ex.: *Nymphaea* (lírio d'água), *Vitória* e *Nymphoides*.
- c) **Submersas enraizadas** – raízes fixadas nos sedimentos e planta crescendo totalmente submersa, tendo a maioria órgãos reprodutivos flutuantes na superfície ou aéreos. Ex.: *Myriophyllum* (pinheirinho d'água), *Elodea*, *Egeria*, *Hydrilla*, *Vallisneria*, *Mayaca* e a maioria do gênero *Potamogeton*.
- d) **Submersas livres** – rizóides pouco desenvolvidos permanecendo flutuando submergidas na água em locais de pouca turbulência, geralmente presas ao pecíolo e talos de macrófitas aquáticas flutuantes e caules de macrófitas emersas, emitindo

flores emersas durante o período reprodutivo (exceto *Ceratophyllum*). Ex.: *Utricularia* e *Ceratophyllum*.

- e) **Flutuantes** – flutuam na superfície da água. Ex.: *Eichhornia crassipes* (aguapé), *Salvinia* (orelha de rato), *Pistia* (alface d'água), *Lemna* (lentilha d'água), *Azolla* (musgo d'água).

Bennyus (2003) escreve sobre a Biomimética, que propõe: (1) a natureza como modelo, (2) a natureza como medida e (3) a natureza como mentora. Fruto de uma nova e radical forma de ver, perceber e interagir no e com o mundo, a Biomimética vê a Vida Planetária como fonte primeira de estudos e pesquisas na solução de problemas atuais e desenvolvimento de novas, altamente eficientes e elegantes tecnologias. Presente no planeta Terra quase que desde seu surgimento, a Vida, em seus quase 4 bilhões de anos de existência, enfrentou todo tipo de adversidades sendo obrigada a múltiplas evoluções e adaptações, gerando soluções locais e globais de toda ordem, para todo tipo de problemas. Mantendo-se durante tanto tempo, a Vida é a metáfora primeira se desejarmos construir uma civilização sustentável, quiçá, uma biocivilização¹¹ planetária, onde a Vida esteja no centro do processo civilizatório e produtor de riquezas.

Hawken, Lovins e Lovins (2004) nos trazem informações, pesquisas e casos de profundas mudanças que vem ocorrendo no seio do Capitalismo ao buscar a reconciliação da relação entre o humano (aqui entendido como negócios) e os sistemas vivos, aproximação que, no entender dos autores, dominará o século 21. E essa reconciliação se dá em função de muitos setores, empresas e indivíduos perceberem, valorarem e incorporarem o ambiente natural, os ecossistemas e a vida planetária como bases sobre as quais se assentam a produção de bens e riquezas, de modo que, comprometidas as bases, compromete-se a própria continuidade do sistema e da civilização como se conhece atualmente.

¹¹ Para o economista e sociólogo Ignacy Sachs (2008), o trinômio biodiversidade-biomassa-biotecnologias pode nos levar à construção de uma “biocivilização”, *socialmente incluyente e ambientalmente sustentável, baseada nos conceitos da agroecologia e da revolução duplamente verde (agregando a produtividade da agricultura e o respeito à natureza através de técnicas acessíveis aos agricultores familiares) e promovendo os usos múltiplos da biomassa como alimento para homens e animais, adubo verde, bioenergias, materiais de construção, fibras, plásticos, um leque cada vez mais amplo de bioprodutos da química verde saindo das biorefinarias, fármacos e cosméticos.*

Yeang (2007) considera que atualmente muitos projetistas tendem a conceber o meio ambiente como uma zona exclusivamente física e espacial, omitindo quaisquer considerações sobre os componentes biológicos do ecossistema do terreno sobre o qual se projeta, como a transformação, circulação e acumulação de matéria e energia pela intervenção de organismos vivos e processos físico-químico naturais. Na biosfera, o fluxo de matéria e energia tende a ser cíclico, trazendo amplas consequências ao projeto, uma vez que toda edificação se faz com matéria e energia retiradas do ambiente, reorganizadas de acordo com o pretendido e, posteriormente, descartadas ao término de sua vida útil. Ciclos dentro de ciclos formando redes de interações entre seres vivos e ambiente deveriam ser considerados nos projetos, já que o ambiente construído passa a ser parte do ambiente natural modificado, estabelecendo entre ambos múltiplas relações de interdependência. O acesso e permanência de pessoas no ambiente construído gera demandas constantes de matéria e energia, supridas por infraestruturas (vias de acesso, saneamento, energia, comunicação, etc.) que interagem com o ecossistema de em torno, que por sua vez interagem com a bacia hidrográfica mais próxima e desta com outras bacias, ecossistemas, biomas e biosfera. O projeto demanda, então, uma visão holista e global da gestão de recursos materiais e energéticos, que inicia com os impactos de implantação, segue ao longo de toda vida útil das estruturas construídas e inclui sua demolição, ciclagem, reaproveitamento ou disposição no ambiente e/ou áreas controladas.

Ryn e Cowan (2007) no prefácio da edição de décimo aniversário de seu livro *Ecological Design*, trazem algumas considerações de especial interesse para este trabalho. Logo no início perguntam: *Como podemos criar sistemas de tratamento de esgotos que melhorem, ao invés de danificarem, os ecossistemas de em torno?* (pag. ix). E ainda, à página seguinte: *É tempo de parar de desenhar/projetar (designing) tendo máquinas por imagem e começar a desenhar/projetar de modo a honrar a complexidade e diversidade da vida* (pag. x), para logo após definir o *design* ecológico como *qualquer forma de design que minimize impactos ambientais destrutivos, integrando o próprio design com os processos vivos*. A publicação apresenta, na concepção dos autores, os cinco princípios do *Design Ecológico*:

- a) **Primeiro Princípio: As soluções emergem do lugar** – as soluções emergem de onde vem o problema, sendo imprescindível conhecer o espaço, o lugar onde se deseja construir uma solução: clima, ventos, chuvas, sazonalidades, história, vegetação, topografia, conhecimentos tradicionais, materiais construtivos, população, plantas,

animais, solos, *etc.* A sustentabilidade inicia em atos modestos de responsabilidade e continua com a valoração dos conhecimentos e a complexidade dos ecossistemas locais. O tratamento de efluentes, por exemplo, pode-se utilizar das *wetlands* ou banhados construídos para ciclar os nutrientes dos esgotos, ao tempo em que evita a contaminação de corpos d'água e propicia *habitat* para novas espécies, gerando ciclos positivos de embelezamento, saúde e prosperidade.

- b) **Segundo Princípio: *Design* orientado pela contabilidade ecológica** – um processo cuidadoso de contabilidade e valoração ambiental orienta de modo produtivo e proveitoso o *design*, considerando e incorporando as externalidades ao processo produtivo de bens e serviços, e orientando para uma produção mais limpa, segura e eficiente. Diferentes níveis de precisão deveriam refletir, ao menos qualitativamente, os principais impactos, como por exemplo:

- Agricultura: quantidade de energia, água, nutrientes, solo, paisagem;
- Construção: materiais, energia, água, toxinas;
- Produtos diversos: materiais, energia, resíduos, *etc.*

O ciclo de vida dos produtos deveriam ser estudados e incorporados a todo processo, desde sua concepção até o descarte final, assim como o fluxo de energia necessária, tanto na produção como na manutenção e disposição final, levando em conta o consumo de energias fósseis e renováveis, lixo, reciclagem, resíduos, água, *etc.*, permitindo a otimização de toda cadeia produtiva.

- c) **Terceiro Princípio: *Design* com a Natureza** – no processo evolutivo a vida planetária criou soluções simples e elegantes para muitos dos problemas que enfrenta, gerando padrões saudáveis que permitem sua manutenção há quase 4 bilhões de anos. Desenhando/planejando (*designing*) tendo por base padrões saudáveis nos coloca em sintonia e compatibilidade com o mundo vivo. Aqui se tem algumas premissas como:

- **Resíduos são recursos** – no ambiente natural não existe lixo e nas teias de vida os resíduos de uns são o alimento de outros, orientando para a construção de sistemas sociais e produtivos que reproduzam esse padrão. Os processos produtivos estão ainda no princípio de ecossistemas industriais que otimizem energia, insumos, resíduos;

- **Paisagens ativas** – observar a paisagem, os padrões, as soluções criadas por e em diferentes ecossistemas auxilia a desenvolver uma percepção diferenciada, que reflete no *design* de maneira inovadora;
 - **Autodesign** – o núcleo de uma rede inteligente se baseia em um sistema auto-organizado, auto-desenhado (*self-designing*), uma dança na qual os elementos do sistema podem ressonar juntos, compartilhando informações localmente, de modo a produzir integração em escalas mais amplas. Semeando diversidade, basta deixar que uma rede inteligente se desdobre e o sistema espontaneamente responderá, exibindo novos e inusitados comportamentos.
- d) **Quarto Princípio: Todos somos *designers*** – todos os dias as pessoas fazem escolhas que determinam seu futuro: onde e como viver, como gastar suas energias e recursos, em que investir seu tempo. Todas essas questões envolvem dimensões do *design*. As escolhas no nível pessoal e coletivo determinam como serão os produtos e serviços no futuro, como viveremos e como viverão os que vierem depois de nós. Cultivar uma inteligência do *design* amplia a participação e influência pessoal e coletiva no mundo. A palavra *design* vem do latim *signare*, significando “traçar, definir, indicar” que, frequentemente, tem sido usado para excluir mais que incluir. O *design* ecológico, ao mergulhar na fonte de vida ao redor, chama a uma participação inclusiva, na qual todos têm voz ativa.
- e) **Quinto Princípio: Tornar a Natureza visível** – enquanto os sistemas de produção de alimentos, água, energia e resíduos se tornam mais e mais intrincados e distantes do cotidiano das pessoas, mais difícil fica entendê-los e questioná-los. Ao colocar a natureza longe do cotidiano, a ética em relação à vida se distancia também. Tornando a tecnologia e suas consequências visíveis, dando visibilidade aos ciclos naturais do nascer e por do sol e da lua, do regime de chuvas, dos ventos e brisas, das plantas e animais, o *design* ecológico pode redesenhar a presença humana no planeta, cumprindo uma função ética, estética, cultural, evolutiva e espiritual.

Orr (2002) defende o *design* ecológico como um entrelaçamento cuidadoso dos propósitos humanos com os grandes padrões e fluxos do mundo natural e o estudo desses padrões e fluxos de modo a direcionar as ações humanas. Segundo o autor, os pioneiros do *design* ecológico começaram com a observação de que a natureza vem desenvolvendo

estratégias de sucesso para a vida planetária por mais de 3,8 bilhões de anos, sendo assim, um modelo adequado para a sociedade humana planejar:

- Fazendas que trabalhem como florestas e pradarias;
- Edifícios que incorporem capital natural como árvores;
- Sistemas de tratamento de efluentes que trabalhem como banhados (*wetlands*);
- Materiais que imitem a elegância de plantas e animais;
- Indústrias que trabalhem como ecossistemas;
- Produtos que se tornem parte de ciclos como o fluxo de matéria no ambiente natural.

Para Orr (2002), nossas intenções são o produto de muitos fatores, dos quais quatro se destacam em relação ao panorama ecológico. O primeiro diz respeito à religiosidade humana, que nos leva a criar ou descobrir significados que nos colocam como parte de algo maior que nós mesmos. Numa sociedade científica, o capitalismo, comunismo, consumismo, ambientalismo, cientificismo e vários outros –ismos, substituíram a religiosidade, a espiritualidade, como algo antagônico à crescente racionalidade. No entanto, sociedades com muito menos informações científicas e tecnológicas tem feito muito melhores escolhas em termos ambientais. Crenças míticas e religiosas, tidas como errôneas, pouco evoluídas ou primitivas, tem muitas vezes se relacionado com o ambiente natural de forma mais adequada do que as decisões tomadas com base em informações científicas e presumida racionalidade. Dessa forma, soluções para problemas ambientais devem ser concebidos em ressonância com nossas camadas emocionais mais profundas e ecologicamente saudáveis¹². Segundo, como *Homo sapiens*, somos seres limitados e nossa história de guerras e conflitos não nos coloca em posição de muita sabedoria perante o mundo natural, indicando a necessidade de uma abordagem mais humilde, precavida e conscia para o *design* ecológico. Terceiro, nossa evolução incorpora toda cadeia de processos físicos e bioquímicos que vão de criaturas unicelulares a seres humanos. Como parte dessa longa cadeia viva, nossa natureza é biofílica, sugerindo que somos mais saudáveis com mais e não menos natureza: trabalhamos melhor com luz solar, no contato com animais, com ar limpo e vivendo em lugares que incluem árvores, flores e água corrente, do que em lugares desprovidos dessas redes. Como consequência, precisamos criar lugares que ressonem com nosso passado evolutivo e pelo qual tenhamos profunda afeição. Um quarto ponto nos alerta em relação a todo conhecimento

¹² A **Ecologia Profunda** é um conceito filosófico que vê a humanidade como mais um fio na teia da vida, conectada e interconectada com toda existência, fazendo parte e não estando acima ou além desta.

humano acumulado e que, no entanto, é uma fração minúscula de tudo que ainda não sabemos: para cada pergunta respondida pela ciência e tecnologia, dez outras se apresentam. Pela perspectiva evolutiva, somos seres recém chegados à ecosfera, com um futuro ainda bastante incerto, e alvo de piadas dos deuses e deusas dos antigos mitos. O *design* ecológico não é tanto como fazer as coisas, mas como fazê-las de modo gracioso e integrado a um determinado contexto ecológico, social e cultural, com o intuito de perdurar por um longo período. A intenção embasada por essa mentalidade cria espaços biológicos e culturais diversificados, integrados de maneira harmoniosa, utilizando o fluxo de energia solar, gerando pouco ou nenhum resíduo, contabilizando todos os custos e respeitando padrões culturais e sociais mais amplos. Isso requer uma nova maneira de pensar, ser, estar e agir, superando a velha mentalidade de como fazer as mesmas coisas de sempre com maior eficiência e aprofundar as perguntas que se tornam a base do *design* ecológico:

- A sociedade precisa disso?
- Isso é ético?
- Qual impacto isso gera na comunidade? Esses impactos são desejáveis, mitigáveis, aceitáveis?
- Sua produção e uso são seguros?
- É justo?
- Pode ser consertado, reutilizado ou reciclado?
- Qual seu custo total ao longo de sua vida útil?
- Há um jeito melhor de fazê-lo?

Ou ainda: quem decide sobre os impactos em um determinado local, ecossistema ou comunidade?, implicando em que o *design* ecológico não é um procedimento individual, isolado e excludente, mas com implicações culturais, políticas, sociais, espaciais, ecológicas, requerendo soluções negociadas entre *designers* e interessados diretos e indiretos (*stakeholders*). O modelo deixa de ser a eficiência e produtividade e passa a ser a saúde e o bem-estar de todos, iniciando com microorganismos e passando pelo solo, água, ar, plantas, animais e seres humanos. E uma vez que o ser humano é falível e não tem como permanecer consciente da totalidade de relações, interrelações, conexões e redes que se estabelecem

dentro e entre os diferentes níveis desse novo *design*, o caminho da precaução, humildade e abertura deveria permear todo processo.

Por fim, Orr (2002) defende que o objetivo maior do *design* ecológico não é o de uma jornada para algum destino utópico, mas antes uma jornada de volta para casa, uma ferramenta de navegação que nos orienta a reassumirmos nosso papel principal sobre o planeta, que honra a vida, a ecologia, a evolução, a diversidade, a dignidade humana, o espírito e as necessidades humanas de pertencimento e conexão.

A Carta da Terra (A CARTA DA TERRA EM AÇÃO, 2010), resultado de 10 anos de diálogo intercultural iniciado no âmbito das Nações Unidas ao longo da década de 1990, ganhou corpo e se desenvolveu como uma iniciativa da sociedade civil global, por meio da Comissão da Carta da Terra, entidade internacional independente que concluiu e divulgou o documento em 2000. A Carta da Terra é uma declaração de princípios éticos fundamentais para a construção de uma sociedade justa, sustentável e pacífica, incorporando toda família humana, toda comunidade de vida e as futuras gerações. Abordando quatro temas principais que se desdobram em 16 subtemas, os princípios da Carta da Terra guardam muitos pontos em comum com a proposta do *design* ecológico¹³ e por isso é aqui apresentada:

I. RESPEITAR E CUIDAR DA COMUNIDADE DE VIDA

1. Respeitar a Terra e a vida em toda sua diversidade.
2. Cuidar da comunidade da vida com compreensão, compaixão e amor.
3. Construir sociedades democráticas que sejam justas, participativas, sustentáveis e pacíficas.
4. Assegurar a generosidade e a beleza da Terra para as atuais e futuras gerações.

II. INTEGRIDADE ECOLÓGICA

5. Proteger e restaurar a integridade dos sistemas ecológicos da Terra, com especial atenção à diversidade biológica e aos processos naturais que sustentam a vida.

¹³ Ver a íntegra da Carta da Terra em <http://www.cartadaterrabrasil.org/prt/text.html> .

6. Prevenir o dano ao ambiente como o melhor método de proteção ambiental e, quando o conhecimento for limitado, assumir uma postura de precaução.
7. Adotar padrões de produção, consumo e reprodução que protejam as capacidades regenerativas da Terra, os direitos humanos e o bem-estar comunitário.
8. Avançar o estudo da sustentabilidade ecológica e promover o intercâmbio aberto e aplicação ampla do conhecimento adquirido.

III. JUSTIÇA SOCIAL E ECONÔMICA

9. Erradicar a pobreza como um imperativo ético, social e ambiental.
10. Garantir que as atividades e instituições econômicas em todos os níveis promovam o desenvolvimento humano de forma equitativa e sustentável.
11. Afirmar a igualdade e a equidade dos gêneros como pré-requisitos para o desenvolvimento sustentável e assegurar o acesso universal à educação, assistência de saúde e às oportunidades econômicas.
12. Defender, sem discriminação, os direitos de todas as pessoas a um ambiente natural e social capaz de assegurar a dignidade humana, a saúde corporal e o bem-estar espiritual, com especial atenção aos direitos dos povos indígenas e minorias.

IV. DEMOCRACIA, NÃO-VIOLÊNCIA E PAZ

13. Fortalecer as instituições democráticas em todos os níveis e prover transparência e responsabilização no exercício do governo, participação inclusiva na tomada de decisões e acesso à justiça.
14. Integrar, na educação formal e na aprendizagem ao longo da vida, os conhecimentos, valores e habilidades necessárias para um modo de vida sustentável.
15. Tratar todos os seres vivos com respeito e consideração.
16. Promover uma cultura de tolerância, não-violência e paz.

O Guia para Ação, em A Carta da Terra em Ação (2010) apresenta princípios que tem por objetivo assegurar que as ações de todos sejam coerentes com a essência da Carta da Terra, podendo ainda ser incorporado como um roteiro para o *design* ecológico:

- a) **Comece com a Carta da Terra** – deixe que a Carta da Terra seja seu guia básico quando estiver planejando e agindo para tornar realidade a visão da Carta da Terra.
- b) **Seja um exemplo vivo** - empenhe-se em viver plenamente – na prática – o espírito da Carta da Terra na sua vida diária, na sua casa, no trabalho, na sua comunidade.
- c) **Assuma o poder que possui** - aja com firmeza, acredite que você pode fazer a diferença e que suas atividades irão catalisar os esforços de muitos outros.
- d) **Coopere, coopere** - multiplique a forma de gerar mudanças construindo parcerias, colaborando com outros e buscando soluções do tipo ganha-ganha, superando o velho padrão do ganha-perde.
- e) **Potencialize o poder de outros** - compartilhe poder e seja inclusivo. Ajude outros a fortalecer a capacidade de resolver problemas, tomar decisões e liderar, liberando assim a criatividade de todos.
- f) **Promova o respeito e o entendimento** - empenhe-se em construir relacionamentos de confiança e respeito mútuo entre indivíduos e grupos de diversas culturas e comunidades, e resolva diferenças através de diálogos de forma que produzam aprendizado e crescimento de todos.
- g) **Facilite a auto-organização** - facilite a disseminação de iniciativas inspiradas pela Carta da Terra sem tentar controlá-las, contando com a capacidade dos grupos humanos de se auto-organizar e alcançar resultados positivos na medida em que o propósito maior esteja claro.
- h) **Foque as causas de raiz** - focalize o pensamento e a ação nas causas de raiz dos principais problemas e desafios que a humanidade enfrenta, e não permita que pressões e práticas dos sistemas não-sustentáveis existentes o impeçam de agir.
- i) **Seja comprometido e, no entanto, flexível** - seja firme no seu comprometimento com os princípios e assegure que tudo que faz seja consistente com os valores da Carta da Terra. E seja sempre flexível à medida que as circunstâncias mudem (sem, porém, abrir mão do que é essencial).

- j) **Aja com engenhosidade** - não permita que seus pensamentos e ações sejam limitados pela dependência do dinheiro; use sua imaginação e seja estratégico, criativo e engenhoso para fazer as coisas acontecerem, não obstante os obstáculos existentes.
- k) **Use a tecnologia com sabedoria** - lembre-se que um grande número de pessoas não tem acesso a tecnologias avançadas. Ao usar tecnologias, assegure que elas sejam apropriadas.
- l) **Proteja a integridade da Carta** - seja sempre fiel ao espírito do texto original da Carta e só a conecte a organizações, produtos e eventos que sejam consistentes com os seus valores e a visão que ela transmite.

3.4. DEFINIÇÃO PROPOSTA PARA TECNOLOGIA VIVA

Uma ecotecnologia, imbuída dos conceitos, interligação sistêmica e complexidade propostas pelo *Design Ecológico* (que estabelece relações interdependentes entre partes ou componentes econômicos, ambientais, sociais, culturais, educacionais, espaciais, temporais, éticos, estéticos, científicos e tecnológicos), e ainda agregando seres vivos (microrganismos, vegetais e animais) ao conjunto, reveste-se de qualidades que superam a visão mecânica de mundo, ciência e tecnologia tradicionais. Uma tecnologia que ganhou pertinência ao se tornar ecotecnologia, ganha agora vida, ao se tornar uma Tecnologia Viva. Em outras palavras, uma tecnologia promotora de soluções individuais e coletivas que tem a Vida como foco, tanto a humana como a não-humana.

Ampliando a definição anteriormente proposta para ecotecnologia, poder-se-ia acrescentar agora uma definição para Tecnologia Viva, que mantém a idéia de uma tecnologia apropriada para um determinado ambiente, ecossistema, cultura, região, economia, sociedade, conhecimentos e tradições, ampliada de modo a incorporar outros dois itens:

- Facilitação, ampliação e promoção de melhorias constantes (quantidade e qualidade) no ambiente em que atua (natural, social, cultural, econômico, político, etc.);
- Incorporação de ciclos e redes retroalimentadas e autopoieticas onde os produtos, serviços e resíduos gerados sejam constantemente reciclados.

Uma Tecnologia Viva, evoluída de uma Ecotecnologia, poderia ser assim definida:

Tecnologia Viva é uma tecnologia de alta eficiência, baixo custo, fácil construção, operação e manutenção, que incorpora seres vivos e padrões desenvolvidos pela vida planetária, interligada sistemicamente ao seu em torno (natural, social, cultural, econômico, político, etc), criando soluções para problemas socioambientais locais, com recursos, conhecimentos e estratégias locais.

3.5. COMPLEXIDADE, INTER, MULTI E TRANSDISCIPLINARIDADE

Um sistema vivo é um sistema complexo. Nossa sociedade vai-se tornando a cada dia mais e mais complexa. Daí a certeza de que, no campo da complexidade, visões e soluções lineares e reducionistas não terão como dar respostas adequadas. Nicolescu (1999) diz da complexidade que, sendo uma complexidade desordenada, seu conhecimento não faria sentido. Por outro lado, como apontam as teorias quânticas ou cosmológicas mais recentes, se está diante de uma complexidade ordenada, de padrões até então não percebidos e mensurados, carregando uma ordem e simplicidade de uma nova natureza, sendo este, justamente, o objeto de estudo e compreensão de um novo conhecimento, complexo.

O termo *complexidade*, do latim *complexus*, significando o que é *tecido em conjunto*, tem em Edgar Morin talvez seu maior teórico, defensor e disseminador. A escola filosófica da complexidade, ao contrário da visão cartesiana de fracionar e reduzir para compreender, vê o mundo de forma indissociada, fruto de interações, alimentações, retroalimentações, processos e ligações que não podem ser compreendidos de maneira isolada. Para Morin (2002), o humano, como unidade complexa, é ao mesmo tempo biológico, social, afetivo e racional, assim como a sociedade é ao mesmo tempo histórica, econômica, sociológica, religiosa, etc. Unidades complexas são multidimensionais, formadas por texturas e interligações, tecidas em conjunto, que não podem ser compreendidas isoladamente, o que nos leva ao conhecimento pertinente, que reconhece este caráter multidimensional e busca integrar não apenas as partes entre si, mas também as partes e o todo.

A noite escura se torna clara com o despontar da lua, assim como o dia claro escurece com a passagem das nuvens. O Yin e o Yang chineses que se mesclam formando o Tao. Não há escolha a ser feita entre um e outro, apenas o entendimento de que ambos compõem uma unidade maior. Condições controladas de laboratório simplificam e quebram as inúmeras relações que ocorrem em condições reais, de campo, permanecendo a essência, a alma do sistema, os padrões que interligam as partes, que explicam e nutrem as relações entre os componentes, distantes da mensuração e compreensão. Esses, os componentes, as partes, não são expressão última da realidade, nem podem sê-lo, uma vez que perderam a essência dada pelas relações, pelos padrões subjacentes às formas.

Uma Ciência feita de partes quebradas, de padrões rompidos, de reduções e simplificações perigosas leva à cegueira paradigmática, excluindo opostos complementares, complexos, como sujeito/objeto, alma/corpo, matéria/espírito, qualidade/quantidade, sentimento/razão liberdade/determinismo, existência/essência (MORIN, 2002). As Ciências Exatas, herdeiras de Newton, Descartes, Bacon e tantos outros, querendo compreender e explicar o mundo reduzindo a complexidade do cotidiano a meros componentes estáticos, controláveis, mensuráveis com régua e compasso, conectados por processos meramente mecânicos, se de um lado contribuíram para grande avanço em todas as áreas do conhecimento, por outro têm levado a todos aos limites desta forma de pensar-ser-estar no mundo. Posto que, a pessoa/sociedade formada, informada, conformada e deformada pelo pensamento-visão das partes, da extremada especialização, deixa de perceber o todo, o complexo, as interligações e conexões, as contradições, delírios e superações da exuberante explosão de vida que nos inunda a todos, todos os dias, há quase 4 bilhões de anos.

A matemática clássica e a geometria euclidiana, lidando com quantidades e fórmulas, não têm como representar sistemas dinâmicos, sistemas vivos, sistemas complexos que incorporam e descrevem qualidades e padrões, como o redemoinho num corpo aquoso ou cone de vento, interligando-os ao movimento e estrutura de galáxias espiraladas como a Via Lactea; ou ainda descrever uma nuvem, relâmpago ou delta de um rio; ou ainda a folha de uma samambaia e sua relação com a floresta. Para a descrição de estruturas complexas presentes na natureza, uma nova matemática e geometria se fizeram necessárias. Mandelbrot criou em 1975 a expressão “fractal” (do latim *fractus*, quebrado) para identificar uma nova

geometria, não-euclidiana, capaz de representar fenômenos e estruturas complexas, a geometria fractal¹⁴.

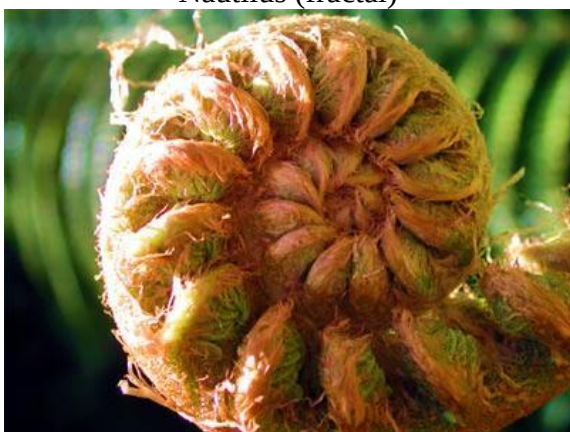
Uma propriedade fundamental do fractal é que seus padrões característicos são encontrados em diversos níveis, de modo que qualquer parte, em qualquer escala, guarda semelhança com o todo, ao que se chama *autossimilaridade*. Capra (2006) dá vários exemplos de autossimilaridade na natureza: rochas em montanhas se assemelham a montanhas; ramificações de relâmpagos ou nuvens que se repetem várias vezes; linhas litorâneas que reproduzem em diferentes escalas as praias, baías e promontórios; ramos de árvores e vasos sanguíneos que guardam similaridade entre si, apontando para padrões primários, subjacentes às estruturas, seja nos níveis micro, meso ou macrocósmico, como mostra a Figura 3.3.



Nautilus (fractal)



Amonite (fóssil)



Broto de samambaia



Galáxia M74¹⁵

Figura 3.3. Exemplos de autossimilaridade do fractal nautilus na natureza.

¹⁴ Ver o sítio <http://mandelbrot.ovh.org/> onde se pode experimentar a criação *on line* de fractais.

¹⁵ Fonte: http://imgsrc.hubblesite.org/hu/db/images/hs-2007-41-a-large_web.jpg

A Curva de Koch exemplifica a formação de um fractal, partindo de uma figura simples (Figura 3.4) que se vai complexificando:

1. Segmento de reta;
2. Dividido o segmento em três partes de mesmo tamanho, dobra-se o segmento central construindo um triângulo equilátero sem a linha de base;
3. Em cada um dos quatro segmentos obtidos, reproduz-se os passos 1 e 2, refinando os detalhes da figura;
4. Reproducindo o mesmo processo inúmeras vezes, obtém-se a Curva de Koch, representando um floco de neve.

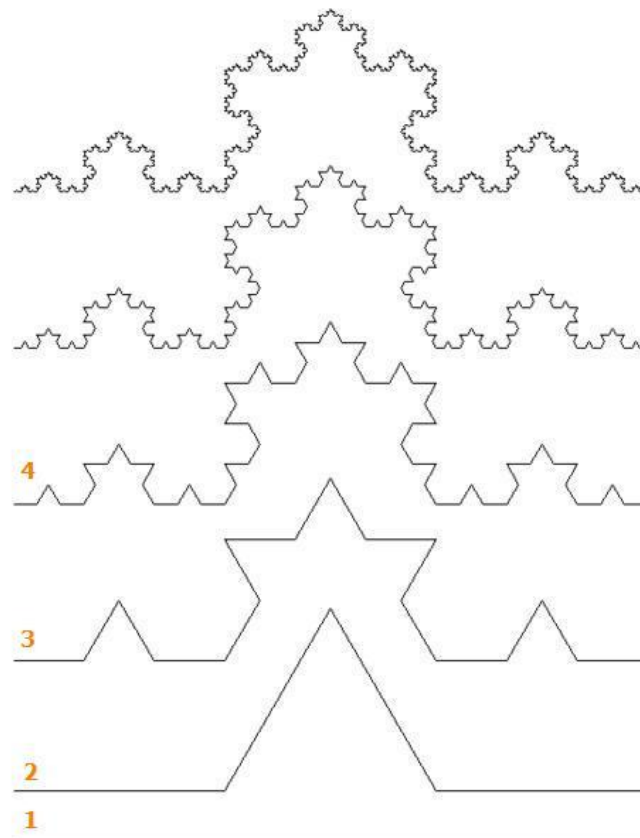


Figura 3.4. Construção da Curva de Kock.

Observando a geometria fractal é fácil perceber que, em um mesmo espaço, o comprimento total da linha vai aumentando, aumentando assim a área total da figura. Ryn e Cowan (2007) dizem que em sistemas convencionais de tratamento de esgotos, as bactérias

fluem juntamente com a água a ser tratada, absorvendo substâncias em sua vizinhança imediata por meio de processos relativamente ineficientes de difusão. Por outro lado, em sistemas de tratamento ecológicos, a estrutura fractal das raízes de aguapé se expandem pelo fluido, criando vastas áreas de interações biológicas entre estas, microrganismos e fluido, facilitando trocas químicas e potencializando a filtragem de nutrientes de maneira extremamente eficiente.

Voltando a Nicolescu (1999), o modelo cartesiano de fracionar os fenômenos na tentativa de compreendê-los e explicá-los, originou uma miríade de disciplinas, desdobrando-se em outras tantas com a especialização crescente, fracionando cada vez mais o entendimento dos objetos de estudo ao tempo que gera imensas quantidades de informação. A necessidade de manter-se algum contato entre as disciplinas originou, em meados do século XX, a pluri e interdisciplinaridade. A *pluridisciplinaridade*, ou *multidisciplinaridade*, sendo o estudo de um objeto de uma dada disciplina por várias disciplinas ao mesmo tempo, mantém a estrutura da pesquisa disciplinar, embora agora enriquecida por diferentes visões, como um quadro, uma obra de arte, sendo estudada por disciplinas como ótica, história da arte, história das religiões, química, física, etc. Já a *interdisciplinaridade* transfere métodos de uma disciplina para outra, originando novos campos de aplicação e/ou estudos, distinguindo-se três diferentes graus, explicados por exemplos: (a) *aplicação* – transferência dos métodos da física nuclear para a medicina, originando novos tratamentos para o câncer; (b) *epistemológico* – métodos da lógica formal aplicados ao direito produzindo análises na epistemologia do direito; (c) *criação de novas disciplinas* – matemática aplicada a fenômenos meteorológicos ou bolsa de valores originando a teoria do caos. Em cada um dos diferentes graus, a interdisciplinaridade permanece atrelada à pesquisa disciplinar, podendo gerar novas e mais especializadas disciplinas. A *transdisciplinaridade*, por sua vez, está ao mesmo tempo *entre* as disciplinas, *através* das disciplinas e *além* das disciplinas, tendo por objetivo a compreensão do mundo presente, buscando a unidade do conhecimento. Se a pesquisa disciplinar envolve, não raro, fragmentos de um único nível de Realidade¹⁶, a transdisciplinaridade se interessa pela ação simultânea de diversos níveis de Realidade. Segue que a visão transdisciplinar propõe considerar a Realidade como multidimensional,

¹⁶ Nicolescu (1999), p. 25: *Deve-se entender por nível de Realidade um conjunto de sistemas invariantes sob a ação de um número de leis gerais: por exemplo, as entidades quânticas submetidas às leis quânticas, as quais estão radicalmente separadas das leis do mundo macrofísico. Isto quer dizer que dois níveis de Realidade são diferentes se, passando de um ao outro, houver ruptura das leis e ruptura dos conceitos fundamentais (como por exemplo, a causalidade).*

estruturada em múltiplos níveis, substituindo a visão clássica de uma Realidade unidimensional, com um único nível de manifestação. Se a lógica clássica mantém separados e mutuamente excludentes os opostos aparentes, a lógica do terceiro incluído os unifica em novo nível de realidade, que por sua vez passa a fazer parte de nova dualidade que se unificará em novo nível de realidade e assim por diante. A Figura 3.5 exemplifica essa evolução. No Nível de Realidade 1, os contraditórios A e Não-A estão presentes e não podem se conciliar, o que ocorre no Nível de Realidade 2, por meio do terceiro termo T, que inclui os contraditórios do nível anterior em não contraditórios nesse nível. Por outro lado, no Nível 2, o termo T pode se transformar em um novo contraditório (A') para esse nível de Realidade, oposto ao Não-A'. Essa nova contradição, se não pode ser resolvida nesse nível de Realidade, o é no Nível de Realidade 3, onde A' e Não-A' são incluídos por T' e assim por diante, seguindo por infinitos níveis de Realidade.

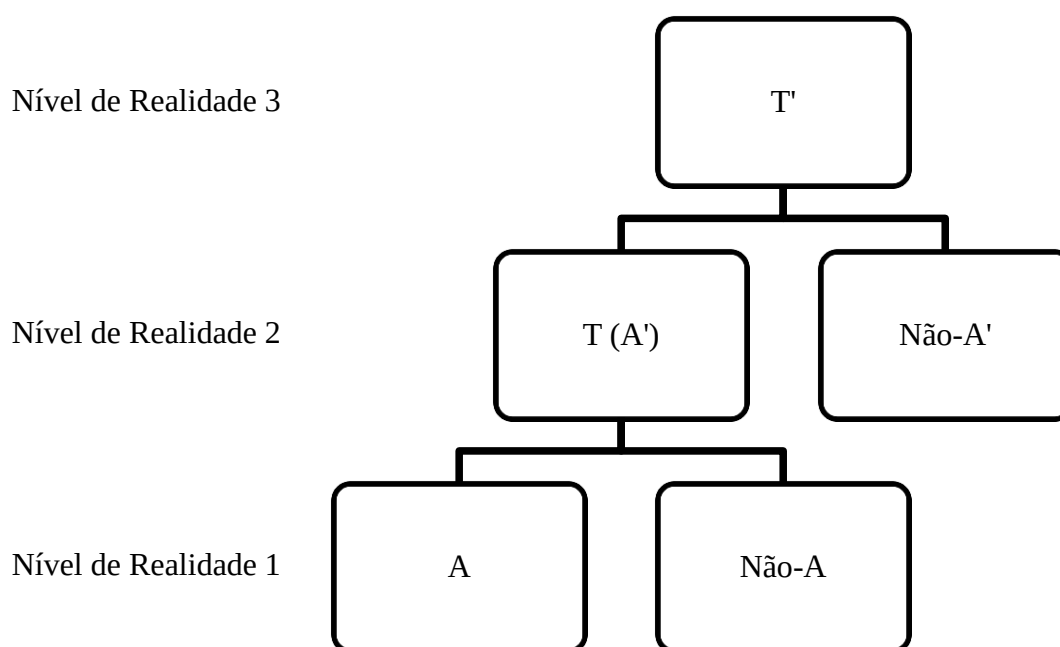


Figura 3.5. Níveis de Realidade e par de contraditórios.

Nicolescu (1999) esclarece que a metodologia da pesquisa transdisciplinar se assenta sobre três pilares: (a) os níveis de Realidade; (b) a lógica do terceiro incluído¹⁷; e (c) a

¹⁷ A lógica clássica está baseada em três axiomas: (a) *Identidade*: A é A; (b) *Não-contradição*: A não é não-A; (c) *Terceiro excluído*: não existe um terceiro termo T (de terceiro incluído) que é ao mesmo tempo A e não-A. No entanto, com o advento da física quântica, essa lógica tem sido questionada. Nicolescu (1999) aborda a questão dizendo que a lógica quântica introduz diferentes percepções, valores e verdades ao axioma da não-

complexidade, sendo a *disciplinaridade, multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade, as quatro flechas de um mesmo arco, o do conhecimento* (NICOLESCU, 1999, p. 48). Morin (2003) acrescenta que essa nova abordagem do conhecimento exige uma reforma do pensamento que, por sua vez, exige uma reforma da Universidade: *Falo de uma reforma que leve em conta nossa aptidão para organizar o conhecimento – ou seja, pensar* (MORIN, 2003, p. 83). O pensamento complexo incorpora e extrapola o pensamento linear, cartesiano, próprio para a descrição de sistemas simplificados, mas não suficiente para lidar com questões mais complexas. Segue Morin (2003) considerando que, sobre o papel da Universidade, esta tem a função de: (a) ritualizar uma herança cultural de valores, saberes e ideias que permitem conservar, memorizar, integrar os conhecimentos; (b) regenerar esta herança ao fazer sua releitura constante, atualizando-a e transmitindo-a; e (c) gerar novos saberes, ideias e valores que farão parte da herança comum futura. Dessa forma, a Universidade é ao mesmo tempo conservadora, regeneradora e geradora de novos conhecimentos, devendo adaptar-se às necessidades da sociedade contemporânea ao mesmo tempo em que mantém viva sua missão transecular de conservar, transmitir e enriquecer o patrimônio cultural universal. Se a complexidade exige uma nova forma de pensar, exigindo a reforma do pensamento cartesiano, o mesmo se aplica à Universidade, cuja reforma incluiria uma

(...) reorganização geral para a instauração de faculdades, departamentos ou institutos destinados às ciências que já realizaram uma união multidisciplinar em torno de um núcleo organizador sistêmico (Ecologia, Ciências da Terra, Cosmologia) (MORIN, 2003, p. 83).

A presente dissertação envereda pelos caminhos propostos de reforma do pensamento, complexidade e lógica do terceiro incluído, buscando pela integração de conhecimentos e práticas a partir do Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Itajubá, programa que se propõe interdisciplinar, intuindo a necessidade de

contradição, superando a visão binária por outra onde a Realidade se reveste de diferentes níveis e um terceiro termo T, que seja ao mesmo tempo A e não-A torna-se possível. No nível da mecânica clássica, por exemplo, onda e partícula são mutuamente excludentes: ou uma ou outra, e a luz não pode ser devidamente explicada, uma vez que se comporta como onda e partícula ao mesmo tempo. No entanto, para a mecânica quântica essa contradição desaparece, pois a dualidade é vista sob um nível de realidade diferente, onde um terceiro elemento “pacífica” a dualidade, incorporando onda e partícula como *quantum*, quantidade elementar, indivisível de energia eletromagnética.

incorporar a reforma da Universidade em consonância com a reforma do pensamento; e os estudos, pesquisas e práticas sustentáveis desenvolvidos em Gaia Terranova, local de aprendizado prático, intuitivo e vivencial do autor.

Essa reforma do pensamento e do processo educativo encontra ecos em diferentes trabalhos, além dos de Morin, com diferentes enfoques mostrando horizontes novos para a educação, ciência e tecnologia, como aqueles de Howard Gardner e colegas da Universidade de Harvard que propõem as Múltiplas Inteligências e Daniel Goleman que propõe a Inteligência Emocional e, mais recentemente, a Inteligência Ecológica.

Questionando a visão tradicional de inteligência restrita a processos racionais, Gardner (1995) e colegas da Universidade de Harvard propuseram a teoria das Múltiplas Inteligências, inicialmente sete:

- **Lógico-matemática** - capacidade de confrontar e avaliar objetos e abstrações, discernindo as suas relações e princípios subjacentes. Matemáticos, cientistas e filósofos como Henri Poincaré, Albert Einstein, Marie Curie, dentre outros, apresentam essas características.
- **Linguística** - caracteriza-se por um domínio e gosto especial pelos idiomas, palavras e escrita. Predomina em poetas, escritores e linguistas, como T. S. Eliot, Jorge Amado e Guimarães Rosa.
- **Musical** - habilidade para compor e executar padrões musicais, executando pedaços de ouvido, em termos de ritmo e timbre, mas também escutando-os e discernindo-os. Pode estar associada a outras inteligências, como a lingüística, espacial ou cinestésico-corporal. É predominante em compositores, maestros, músicos, críticos de música como por exemplo, Ludwig van Beethoven, Caetano Veloso e Phillip Glass.
- **Espacial** - capacidade de compreender o mundo visual com precisão, permitindo transformar, modificar percepções e recriar experiências visuais até mesmo sem estímulos físicos. Predomina em arquitetos, artistas, escultores, cartógrafos, navegadores e jogadores de xadrez, como Michelangelo, Garry Kasparov e Milton Santos.
- **Cinestésico-corporal** - capacidade de controlar e orquestrar movimentos do corpo. É predominante entre atores e aqueles que praticam a dança ou esportes: Pelé, Garrincha, Ana Botafogo.

- **Intrapessoal** - capacidade de se conhecer, estando mais desenvolvida em escritores, psicoterapeutas, conselheiros, místicos e espiritualistas como Karl Gustav Jung, São Francisco, Dalai Lama.
- **Interpessoal** - habilidade de entender as intenções, motivações e desejos dos outros. Encontra-se mais desenvolvida em políticos, religiosos, comunicadores e professores, como Mahatma Gandhi, Chacrinha e Lula.

Posteriormente¹⁸, as sete inteligências foram acrescidas de outras duas, embora a última ainda não estabelecida:

- **Naturalista** - sensibilidade para compreender e organizar os objetos, fenômenos e padrões da natureza, como reconhecer e classificar plantas, animais, minerais, incluindo rochas e gramíneas e toda a variedade de fauna, flora, meio-ambiente e seus componentes. É característica de paisagistas, arquitetos, mateiros, botânicos. São exemplos deste tipo de inteligência Charles Darwin, Rachel Carson e Alexander von Humboldt.
- **Espiritual/Existencial** - investigada no terreno ainda do "possível" e carecendo de maiores evidências. Abrange a capacidade de refletir e ponderar sobre questões fundamentais da existência e da transcendência. Seria característica de líderes espirituais e de pensadores filosóficos como Jean-Paul Sartre, Margaret Mead, Dalai Lama e Charles Darwin.

Desse amálgama de inteligências, saberes, formas, conteúdos, singularidades, pluralidades, conceitos, conhecimentos, teorias e práticas, emergem também novas formas de ver, olhar, ser, estar, viver e conviver no mundo. E com eles, novas abordagens para a Ciência e Tecnologia, como as propostas pela Engenharia Ecológica e principalmente a Permacultura e o *Design* Ecológico, que dão conteúdo às Tecnologias Vivas que se estuda em Gaia Terranova.

Fruto de uma visão e entendimento emergentes de mundo, também nos processos de aprendizagem organizacional, nas empresas, no mundo dos negócios, é crescente a tomada de

¹⁸ Ver http://pt.wikipedia.org/wiki/Inteligências_múltiplas

decisões baseadas não apenas em planilhas, gráficos, SWOTs e demais ferramentas, mas também da intuição e presença a partir de um ponto de quietude interna, que parece mesclar misticismo, espiritualidade, ciência e negócios. A *Society for Organizational Learning* (SOL, 2010), formada por Peter Senge (considerado o guru da gestão empresarial) e cientistas do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) propõe uma revolucionária metodologia para a tomada de decisões, tendo por premissa a capacidade de Presenciar, chamada de Teoria U.

A teoria usa a letra U como metáfora do caminho que desce por um lado, aquietando na base e sobe pelo outro. Trata da necessidade de sentir, perceber intimamente e se integrar ao objeto, condição ou processo que se deseja mudar, habilidade que decorre de um estado de mente, coração e vontade abertos para a possibilidade de aprender não apenas usando a experiência anterior, mas a construção prática de uma visão de futuro compartilhada, construída coletivamente, a partir de um sentimento, uma percepção expandida a partir de um centro interno. Não mais o velho roteiro de mudanças organizacionais apoiadas em reunir informações, decidir, envolver pessoas, monitorar e controlar, que já não responde às necessidades da sociedade contemporânea, especialmente em temas complexos como sustentabilidade, por exemplo. Iniciar a mudança a partir de dentro, do envolvimento pessoal e coletivo, com um sentido de pertença a algo maior é o novo caminho proposto. Estabelecida em três etapas, a teoria propõe inicialmente parar e observar (fazer o *download*), eliminando da mente os padrões pré-estabelecidos; sentir, se inteirar, entrar no campo da presença pessoal, o ponto cego, interno, não visível externamente; e a partir desse ponto do sentir, dessa presença interior, manifestar a realidade, a ação, a concretude manifesta no campo externo. Mente aberta, coração aberto e vontade aberta.

A Revista IDEIA SOCIOAMBIENTAL (2010), traz artigo com versão editada e traduzida por Maria Cristina d'Arce, do livro *The blind spot of leadership: accessing the power of Presencing*, de Otto Scharmer da SOL, que explica resumidamente a proposta e inclui habilidades de liderança focando o futuro que emerge:

1. **Parar o *downloading*: desacelerar para escutar** – bons líderes são bons ouvintes e podem acessar o que chamam Escuta Generativa, que conecta com esferas mais profundas do ser, algo muito superior ao ego. O desafio aqui é modificar a qualidade da atenção individual e coletiva das pessoas, ou seja, o modo como se conectam uns

aos outros, passando de uma atitude defensiva e reativa, para outra dialógica e generativa.

2. **Sentir: ir aos lugares de maior potencial e observar, observar** – o fator limitante de uma mudança transformacional é a incapacidade de sentir, de ver mais profundamente, de se conectar interna e externamente, individual e coletivamente. Para inovar é preciso ir pessoalmente aos lugares, conversar com as pessoas, entrar em contato com os problemas à medida que se desdobram. E adquirir a capacidade de equilibrar a percepção interna, o sentir, o integrar dado pela presença e a percepção externa, a atitude, o fazer acontecer, a manifestação.
3. **Aquietar-se: conectar-se com a fonte do conhecimento interior e permitir que ele emerja** – na raiz da grande liderança está o poder de conectar-se com uma fonte mais profunda de potencial e possibilidades pessoais, nossa essência. Dessa sintonia profunda reverbera uma conexão mais ampla, que se expande para a sociedade e o ambiente natural.
4. **Cristalizar visão e intenção** – sustentada essa conexão mais profunda, o líder assume consigo mesmo um forte compromisso, cristalizando sua visão e intenção.
5. **Prototipar e desempenhar** – o método convencional de intervenção e mudança organizacional pede por análises mais ou menos criteriosas, seguidas de planejamento e ação, enquanto nesse novo método, o que se busca é a construção de um protótipo a partir da clarificação da questão, seguida de observação, construção, mais observação, adaptação e assim por diante. Aprende-se fazendo, interagindo, ressonando. O protótipo é o ato instantâneo que flui diretamente da conexão profunda, interna, sentida e em ressonância com a possibilidade futura que se desdobra. É um ato de criação.

De todos os campos do saber e fazer chegam informações de mudanças de padrões, conceitos e atitudes. Aos poucos fica evidente a correção de Einstein quando afirmava que um problema não poderia ser resolvido com o mesmo estado mental que o criou. Os problemas que criados ao adotarmos uma visão de mundo mecânica, cartesiana, necessitam de novo estado mental que permita solucioná-los. Um terceiro termo T que apazigue os opostos.

3.6. OS PRINCÍPIOS DE BELLAGIO

EAWAG (2005) declara que, no entender do Conselho Colaborativo de Abastecimento de Água e Saneamento (*Water Supply and Sanitation Collaborative Council – WSSCC*), organização global reconhecida pela Organização das Nações Unidas, a Década Internacional da Água e Saneamento, promovida pela Organização Mundial da Saúde, não gerou os resultados esperados para as populações urbanas mais pobres do planeta. Assim, em fevereiro de 2000, reunidos em Bellagio, Itália, um grupo de especialistas de diversas organizações internacionais, propuseram algumas diretrizes para os futuros planejamentos e implementações de sistemas de saneamento ambiental. Estas diretrizes foram formalmente endossadas pelos membros do Conselho durante seu 5º Fórum Global, ocorrido na cidade de Foz de Iguaçu, no Brasil, em novembro de 2000, e ficaram conhecidas como os “Princípios de Bellagio”:

- Dignidade humana, qualidade de vida e segurança ambiental ao nível doméstico devem estar no centro de abordagens sensíveis e responsáveis em relação às demandas e necessidades locais e nacionais.
- Soluções devem estar disponíveis para todo espectro de necessidades sociais, econômicas, ambientais e de saúde.
- O ambiente doméstico e de vizinhança devem ser protegidos.
- As oportunidades econômicas da recuperação e utilização de resíduos devem ser aproveitadas.
- Alinhado com os princípios da boa governança, a tomada de decisões deve incorporar a participação de todos os interessados, especialmente os consumidores e provedores de serviços.
- A tomada de decisões em todos os níveis deve ser baseada em opções de escolha.
- Incentivos para fornecimento e consumo de serviços e facilidades devem ser consistentes com as metas e objetivos globais.
- Os direitos dos consumidores e provedores devem ser equilibrados pela responsabilidade para com a comunidade humana e ambiental.

- Resíduos devem ser considerados recursos, e seu manejo deve ser holístico e fazer parte de processos integrados de gerenciamento de recursos hídricos, fluxo de nutrientes e resíduos.
- A produção deve ser reduzida, assim como a promoção da eficiência e segurança hídrica e ambiental.
- O descarte de resíduos deve ser minimizado, promovendo a eficiência e redução da poluição.
- Esgotos devem ser reciclados e adicionados ao orçamento hídrico.
- O domínio no qual os problemas de saneamento ambiental são resolvidos devem se manter no menor nível possível (domicílio, comunidade, cidade pequena, distrito e cidade maior) e esgotos diluídos o menos possível.
- Os resíduos devem ser geridos tão próximo quanto possível de sua fonte.
- A água deve ser usada minimamente para o transporte de resíduos.
- Tecnologias adicionais de tratamento de esgotos e reúso devem ser desenvolvidas.

3.7. SANEAMENTO AMBIENTAL DOMICILIAR - SAD

Na busca por uma atuação baseada nos Princípios de Bellagio (EAWAG, 2005), o Conselho criou um Grupo de Trabalho em Saneamento Ambiental com o intuito de promover mudanças nos programas tradicionais de planejamento e implementação de sistemas de saneamento, concebendo o Saneamento Ambiental Domiciliar - SAD (*Household-Centred Environmental Sanitation* – HCES), que rompeu radicalmente com as velhas abordagens de planejamento e implementação centralizadas, propondo agora a residência e sua vizinhança como centros do processo de planejamento (Figura 3.6), de modo a criar e manter condições onde:

- As pessoas permaneçam saudáveis e produtivas;
- O ambiente natural seja protegido e melhorado.

A abordagem SAD (EAWAG, 2005) trabalha com a ideia de zonas, propondo a resolução do problema de saneamento o mais próximo possível de sua origem, no caso o

domicílio. Não sendo possível, negociações devem ser feitas junto aos níveis adequados, seja vizinhança, município, estado ou país. Essa abordagem tem como resultado o empoderamento e envolvimento direto das pessoas na resolução dos problemas de saneamento, evitando exportar os resíduos produzidos na residência para a vizinhança, por exemplo, ou para o município. Tem então um componente de assunção pessoal/familiar de responsabilidades pelos resíduos que as pessoas/famílias produzem no dia a dia.

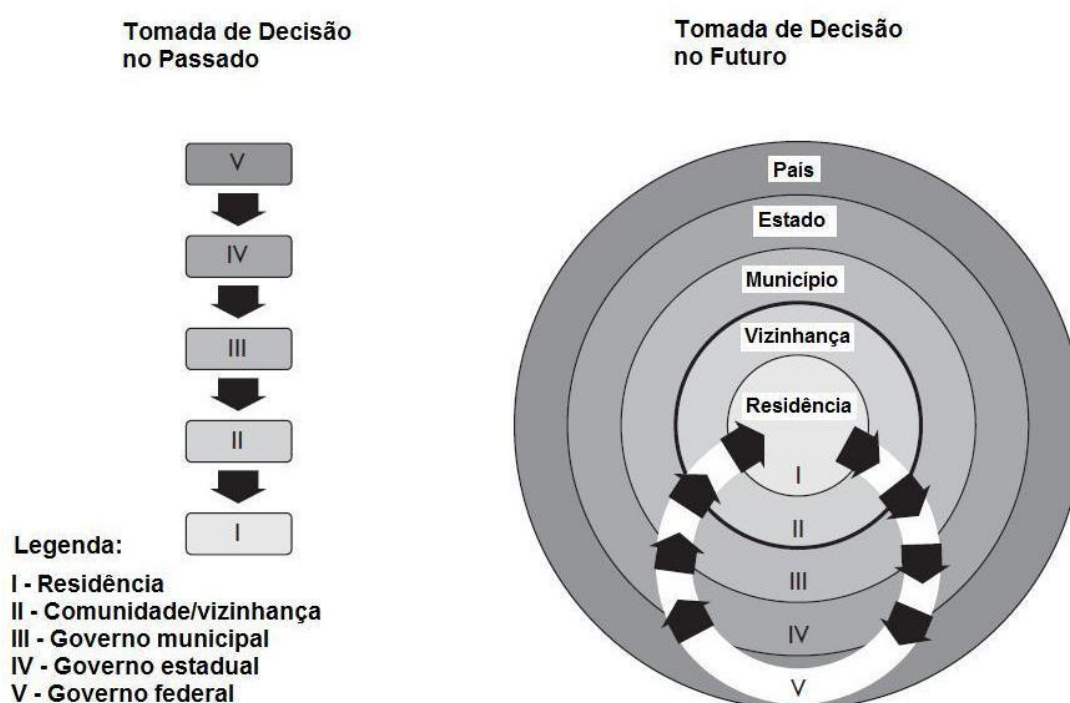


Figura 3.6. Modelo de Saneamento Ambiental Domiciliar – HCES Model

Fonte: modificado de EAWAG (2005).

Sistemas tradicionais são lineares, com água potável sendo importada de uma determinada zona para ser utilizada em outra e os resíduos desta sendo exportados para outras. A proposta SAD (EAWAG, 2009) prevê um sistema circular, com o máximo possível de reuso dos recursos, inclusive resíduos humanos após tratamento adequado. Isso tem como vantagem um consumo menor de água, com menor disposição de resíduos, que podem ser utilizados como base para produção local de alimentos, desempenhando um papel importante no design de sistemas sustentáveis, que incluem ainda a captação e utilização das águas de chuvas.

A implementação dessa nova abordagem tem por objetivo proporcionar serviços sustentáveis de saneamento para todos, buscando equilíbrio entre as necessidades das pessoas e aquelas do meio-ambiente, de modo a proporcionar uma vida sadia na Terra. A abordagem SAD (EAWAG, 2005) recomenda que:

- a) As pessoas e sua qualidade de vida devem estar no centro de qualquer sistema de saneamento ambiental.
- b) Todo sistema de saneamento ambiental deve ser projetado buscando equilíbrio entre economia e meio ambiente.
- c) Soluções para problemas de saneamento devem ser dadas o mais próximo possível de sua origem.
- d) Resíduos, sejam líquidos ou sólidos, devem ser tratados como recursos.
- e) Sistemas de saneamento ambiental devem ser “circulares” – planejados para minimizar entradas e reduzir saídas.
- f) Problemas relacionados ao saneamento ambiental devem ser tratados de maneira integrada, como parte de um sistema maior de recursos hídricos, gestão de resíduos e produção de alimentos.

A abordagem SAD foi posteriormente adotada por um grupo de especialistas que a sintetizaram de acordo com os Princípios de Bellagio, que pode ser resumida em 10 passos, como mostra a Figura 3.7. Cada ciclo ou estágio do programa/projeto está relacionado a ações, iniciando o projeto com um pedido de assistência por parte da comunidade, empresa, poder público, organização, *etc.*. Seguem o pré-planejamento com o início do processo de consulta e a preparação, com a avaliação do estado atual e prioridades dos usuários, a identificação de opções e a avaliação da viabilidade dos serviços combinados. Com a aprovação do projeto consolida-se e finaliza-se o plano de saneamento, seguindo a implementação, monitoramento e avaliação, retroalimentando o sistema com as lições aprendidas que servirão de base para novos programas e políticas de saneamento.

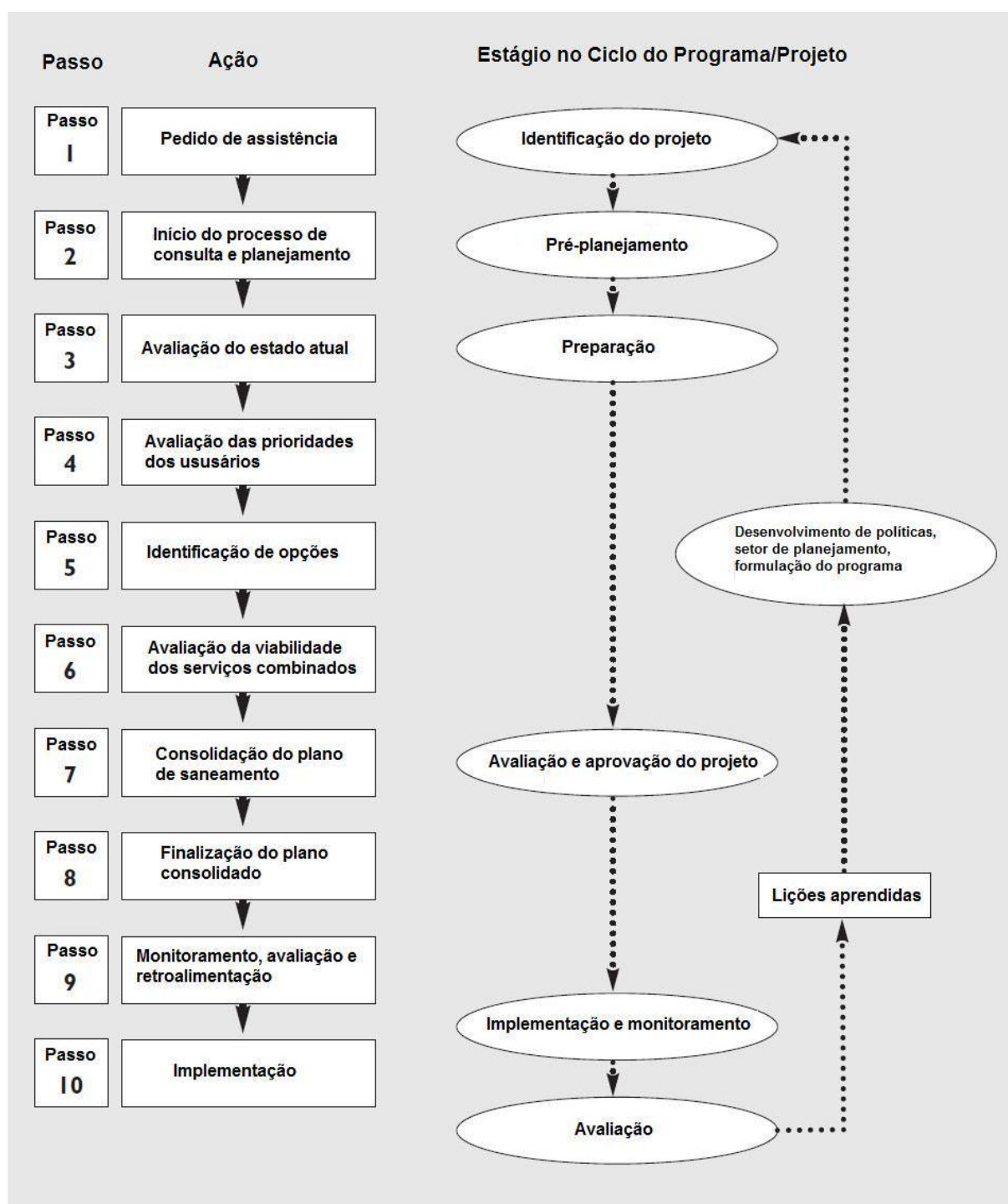


Figura 3.7. Dez passos da abordagem SAD.

Fonte: modificado de EAWAG (2005).

3.8. ÁGUAS PRETAS E ÁGUAS CINZAS

Ludwig (2006) considera todas as águas servidas, à exceção daquelas oriundas dos vasos sanitários, como águas cinzas e, sem os citar, indica que alguns autores excluem das águas cinzas aquelas vindas da pia de cozinha e lavagem de fraldas.

Águas pretas são águas residuárias provenientes de vasos sanitários, contendo em sua quase totalidade água como veículo de transporte para matéria fecal e urina. A separação das águas residuárias e a instalação de vasos sanitários com caixa acoplada (6 litros) permitem um consumo bastante reduzido de água, aumentando a concentração de matéria orgânica presente no efluente. Por ser separada das águas cinzas, as águas pretas não carregam consigo sabões, detergentes e demais elementos que poderiam interferir na degradação do material. Desse modo o sistema como um todo ganha em eficiência na mineralização da matéria orgânica e tende a necessitar de área e volume menores, diminuindo custos de implantação e manutenção.

ANA-FIESP-SINCUSCON (2005) identificam águas cinzas para reúso como efluentes domésticos oriundos de banheiras, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupa, excluídas águas do vaso sanitário e pia de cozinha, citando os principais critérios direcionadores de um programa de reúso dessas águas:

- a) Preservação da saúde dos usuários;
- b) Preservação do meio ambiente;
- c) Atendimento às exigências relacionadas às atividades a que se destina;
- d) Quantidade suficiente ao uso a que será submetida.

No presente trabalho, águas cinzas são aquelas que incluem também as oriundas das pias de cozinha, entendendo que o principal cuidado em relação ao uso de águas servidas está associado à possível presença de microrganismos patogênicos, sendo estes virtualmente ausentes nestes aparelhos. No entanto, bom ressaltar que os múltiplos usos que a população faz de pias, tanques, banheiras, chuveiros e lavatórios não exime as águas cinzas de conter tais microrganismos, visto muitos terem o costume de lavar-se no chuveiro após o uso da bacia sanitária e lavar feridas, fraldas com fezes e roupas íntimas em pias, tanques e chuveiros, dentre outros. A Tabela 3.1 mostra a caracterização de águas cinzas oriundas de banheiros de

complexo esportivo e edifício residencial no sul do país, evidenciando composição diversa em relação a usos em função de costumes e gênero.

Tabela 3.1. Características físicas, químicas e bacteriológicas de águas cinzas oriundas de chuveiros e lavatórios.

Parâmetros	Concentrações		
	(1)	(2)	(3)
Coliformes fecais (MPN.100mL ⁻¹)	1,1x10 ⁴	1,7x10 ⁴	3,6x10 ⁵
Coliformes totais (MPN.100mL ⁻¹)	>1,6x10 ⁵	>1,6x10 ⁵	>1,6x10 ⁵
Óleos e graxas	18,2	14,8	26,7
pH	7,11	6,91	7,10
DBO (mg.L ⁻¹)	258	174	384
DQO (mg.L ⁻¹)	470	374	723
Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	180	100	188
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	6,7	5,0	8,2
Surfactantes (mg.L ⁻¹)	2,18	1,46	3,42
Contagem bacteriológica (UFC - mg.L ⁻¹)	8,5x10 ⁵	3x10 ⁵	8,5x10 ⁵
Cloretos (Cl - mg.L ⁻¹)	26,9	14,7	29,4
Nitrato (NO ₃ ⁻ N mg.L ⁻¹)	27,5	1,52	4,09
Nitrito (NO ₂ ⁻ N mg.L ⁻¹)	<0,003	0,027	0,489
Fósforo total (mg.L ⁻¹)	0,43	0,31	1,79
Turbidez (UT)	340,7	373,2	297,2
Dureza total (CaCO ₃ mg.L ⁻¹)	5,7	13,6	10,7
Condutividade (µs/cm)	125,9	105,8	222

Fonte: modificado de Santos e Zabracki (2003); Fonini, Fernandes e Pizzo (2004) apud ANA-FIESP-SINCUSCON (2005)

(1) Edifício residencial em Curitiba-PR

(2) Banheiro masculino de complexo esportivo universitário em Passo Fundo-RS

(3) Banheiro feminino de complexo esportivo universitário em Passo Fundo-RS

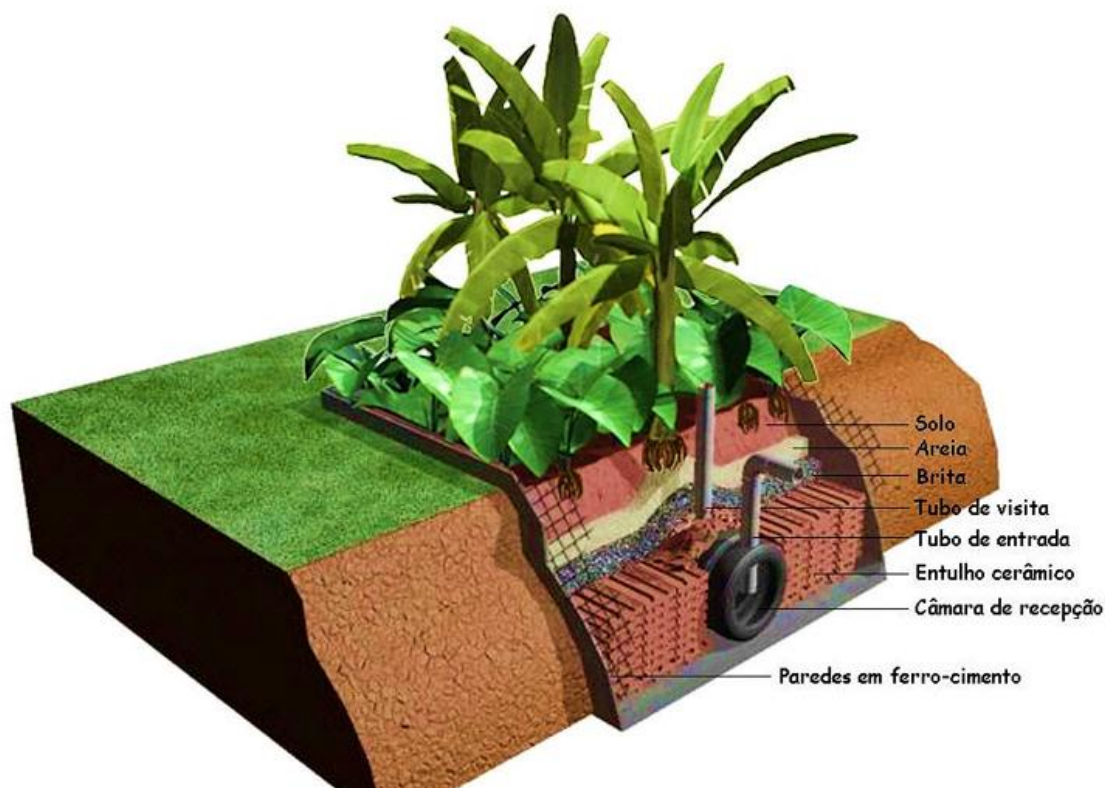
Os resultados indicam, na avaliação de ANA-FIESP-SINCUSCON (2005):

- a) Alto teor de matéria orgânica, representada pela DBO, podendo gerar sabor e odor;
- b) Elevado teor de surfactantes, podendo ocasionar formação de espumas e odor;
- c) Elevada concentração de nitrato;

- d) Alto teor de fósforo, indicando presença de detergentes superfosfatados e matéria fecal;
- e) Turbidez elevada, mostrando presença de sólidos em suspensão.

3.8. ECOTECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

Galbiati (2009) estudou um tanque de evapotranspiração – TEvap, para tratamento de águas pretas de residência em Campo Grande, MS, partindo de experimentos práticos de Permacultura e buscando as bases para seu correto dimensionamento e avaliação de resultados. A Figura 3.8 mostra um TEvap, composto por uma câmara anaeróbia feita com pneus, circundada por material de entulho e a partir do qual, em camadas sucessivas, estão presentes pedra brita, areia, solo e plantas.



Fonte: Galbiati (2009).

Figura 3.8. Corte em perspectiva de um tanque de evapotranspiração – Tevap.

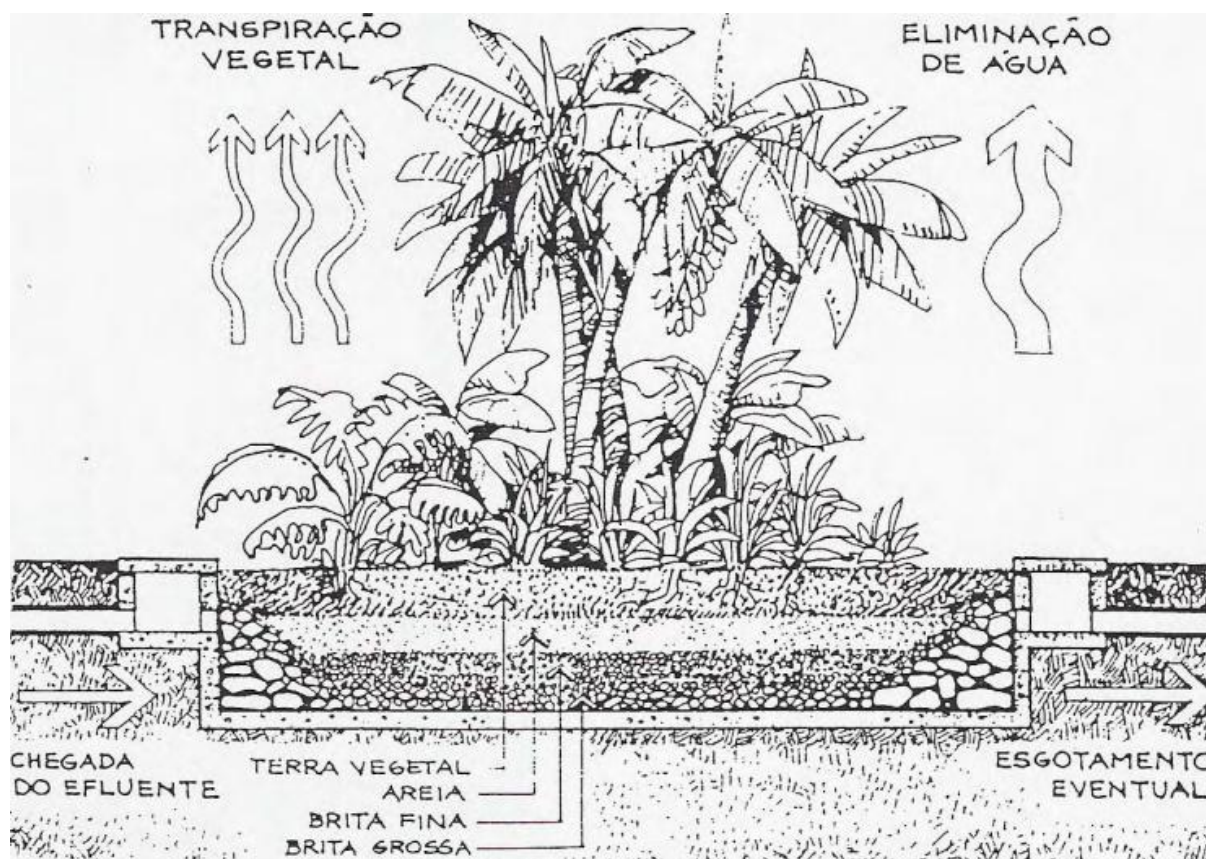
Os resultados obtidos por Galbiati (2009), são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Resultados de análises físico-químicas de saída de Tevap.

Parâmetros	Média de saída do TEvap
pH	7,81
Oxigênio Dissolvido (OD, mg.L ⁻¹)	0,00
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	2,45
Turbidez (NTU)	88,01
Alcalinidade (mgCaCO ₄ .L ⁻¹)	1061,56
Demanda Química de Oxigênio (DQO, mg.L ⁻¹)	406,05
Sólidos Totais (ST, mg.L ⁻¹)	746,75
Sólidos Suspensos Totais (SST, mg.L ⁻¹)	37,74
Coliformes totais (NMP)	3,24x10 ⁷
Coliformes termotolerantes (<i>E. Colli</i> , NMP)	3,71x10 ⁶

Fonte: Galbiati (2009).

Ercole (2003) apresenta um sistema modular com separação das águas para o tratamento de águas cinzas, um LET – leito de evapotranspiração, cujo desenho geral pode ser como o da Figura 3.9, retirado de Mascaró (1991).



Fonte: Mascaró (1991) *apud* Ercole (2003).

Figura 3.9. Leito de evapotranspiração – LET.

Zanella (2008) realizou experimentos com efluentes de reatores anaeróbios pós-tratados em banhados construídos (*wetlands*), utilizando como meios de suporte pedras brita nº. 1 e anéis de bambu, obtendo resultados melhores para a brita. Os valores médios encontrados pelo autor estão relacionados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Tratamento anaeróbio + *wetland* com brita e *wetland* com bambu.

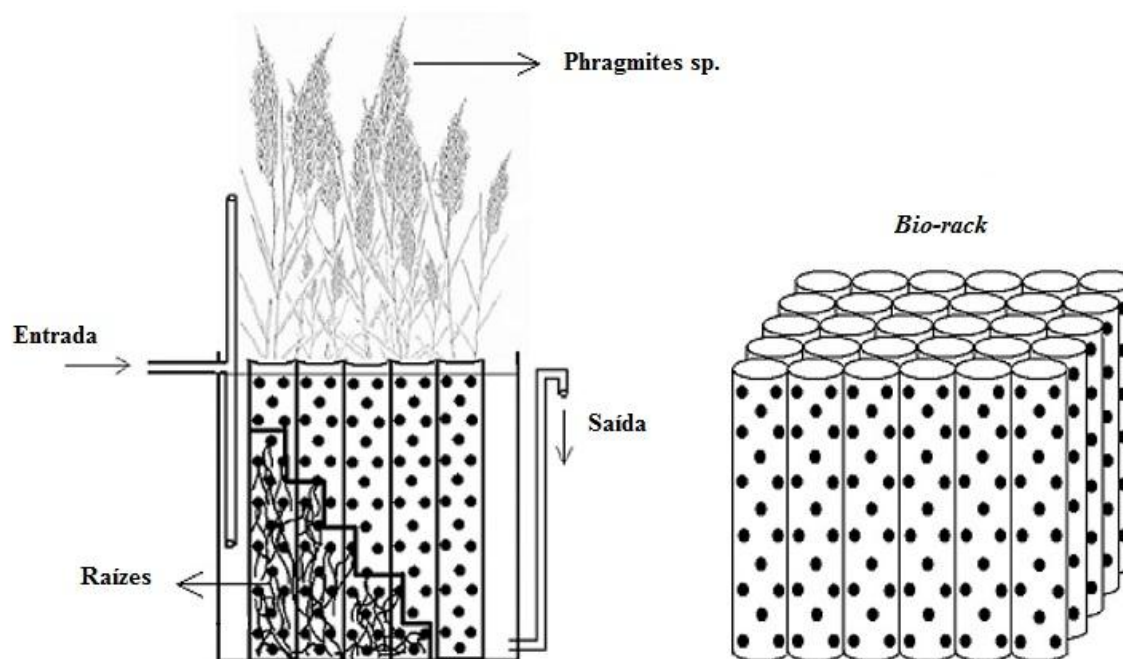
Parâmetros	Tratamento anaeróbio + <i>wetland</i> com brita e <i>wetland</i> com bambu
pH	6,5 a 8,5
Oxigênio Dissolvido (OD, mg.L ⁻¹)	1,8 a 3,3
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	0,56 a 0,63
Turbidez (NTU)	12,5 a 48,1
Alcalinidade (mgCaCO ₄ .L ⁻¹)	276 a 326
Demanda Química de Oxigênio (DQO, mg.L ⁻¹)	57,6
Eficiência de remoção de DQO (%)	23,1 a 63,9
Sólidos Suspensos Totais (SST, mg.L ⁻¹)	10,8 a 17,9
Coliformes totais (NMP)	4,0x10 ⁴ a 6,0x10 ⁶
Coliformes termotolerantes (<i>E. Colli</i> , NMP)	1,0x10 ³ a 6,0x10 ⁵

Fonte: Zanella (2008)

Valipoura, Ramanb e Ghole (2009) realizaram estudos com bio-racks, um tipo de banhado construído compacto (Figura 3.10) para o tratamento de efluentes domésticos, utilizando *Phragmites sp* como planta de ensaio. A Tabela 3.4. apresenta os dados obtidos em relação a alguns parâmetros de interesse do presente trabalho. Os autores citam as vantagens do sistema de *bio-rack* em relação aos banhados contruídos tradicionais:

- Mais barato para contruir e operar;
- *Design* simplificado;
- Fácil manutenção;
- Requer menor área;
- Requer tempo mínimo de detenção hidráulica (6 a 18 horas) com alta eficiência de tratamento;
- Pode ser utilizado em efluentes domésticos com grande quantidade de sólidos suspensos;
- Por meio da zona de raízes, amplia a área superficial para o crescimento de microrganismos;

- Proporciona condições ideais para o crescimento de bactérias úteis para a mineralização dos efluentes;
- Dificulta a colmatação do substrato e o colapso do sistema;
- Não gera odor devido à alta eficiência na transferência de oxigênio;
- Tem um vasto campo de aplicação, possibilitando a geração de emprego e renda na sua produção.



Fonte: Valipoura, Ramanb e Ghole (2009).

Figura 3.10. Bio-rack – sistema de banhado construído compacto.

Tabela 3.4. Bio-rack – sistema de banhado construído compacto.

Parâmetros	Bio-rack wetland system
pH	7,23
Oxigênio Dissolvido (OD, mg.L ⁻¹)	3,28
Demanda Química de Oxigênio (DQO, mg.L ⁻¹)	84,4
Eficiência de remoção de DQO (%)	75,15
Sólidos Suspensos Totais (SST, mg.L ⁻¹)	46
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT, mg.L ⁻¹)	307,2
Coliformes totais (NMP)	3,88x10 ⁵

Fonte: VALIPOURA, RAMANB e GHOLE (2009).

4. LEIS, RESOLUÇÕES E NORMAS

Ao poluir as águas, ares e solos; ao degradar ecossistemas e dizimar espécies, a sociedade vai-se “desenvolvendo”, “progredindo” e, ao mesmo tempo, colocando a mesma sociedade sob risco de doenças, mortes e auto-destruição. A legislação vem então para limitar e estabelecer parâmetros “aceitáveis” para esse “desenvolvimento”, esse “progresso”. No caso das águas e especialmente das águas residuárias, seguiu-se a legislação federal (CONAMA, 2005) e mineira (COPAM-CERH-MG, 2008), esta mais restritiva que aquela e, embora ambas estabeleçam padrões para lançamento de efluentes em corpos d’água, impedindo esses lançamentos naqueles corpos d’água Classe 1 (próprio para consumo humano após tratamento simplificado), adotou-se como meta comparar os resultados das tecnologias vivas também com esses parâmetros, tendo como utopia a possibilidade de um sistema de tratamento residencial que gere efluentes com a mesma qualidade de águas potáveis.

4.1. QUALIDADE DAS ÁGUAS

Com o objetivo de enquadrar as águas resultantes do processo de tratamento biológico de efluentes residenciais instalados em Gaia Terranova, considerou-se como referência a Resolução CONAMA Nº. 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2005), que “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”, complementada pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº. 1, de 05 de maio de 2008 (COPAM/CERH-MG, 2008) que dispõe sobre o mesmo assunto, embora sendo ainda mais restritiva.

Tomando por base o conjunto residência-sistema de tratamento de efluentes (tecnologias vivas), e considerando que em estado de mestria as águas que saem devam ter a mesma ou melhor qualidade das que entram, tomou-se como referência inicial as classes de águas de maior qualidade (Classe 1) e, portanto, mais restritivas quanto ao uso. Essas são águas próprias de ecossistemas preservados, com pouca ou nenhuma ação antropogênica e representam o máximo que se poderia obter em eficiência do sistema de tratamento proposto e implantado.

Tendo esse conjunto de águas e seus parâmetros como “objetivo utópico” e, de outro lado os parâmetros permitidos para lançamento de efluentes em corpos d’água, as análises efetuadas junto ao sistema evidenciam a qualidade das águas pós-tratamento, possibilitando que sejam enquadradas em alguma das classes definidas pelas normas. Os dados obtidos para os parâmetros definidos permitiram ainda intervir nos sistemas de modo a buscar seu aperfeiçoamento em direção ao “objetivo utópico”.

Em seu Artigo 4º a Resolução CONAMA Nº. 357/2005 classifica as águas doces em cinco classes, sendo de especial interesse para o presente estudo as Classe Especial e Classe 1:

I - classe especial: águas destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- à proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA Nº. 274, de 2000;
- à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº. 1/2008 em seu Art. 4º reproduz o disposto na Resolução CONAMA Nº. 357/2005 e acrescenta o termo filtração (o negrito diferencia as normas):

Art. 4º As águas doces estaduais são classificadas em:

I – classe especial: águas destinadas:

- ✓ ao abastecimento para consumo humano, **com filtração** e desinfecção;

O Art.13, da Resolução CONAMA Nº. 357/2005 e o Art. 12 do COPAM/CERH-MG Nº. 1/2008 determinam que “nas águas de classe especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água”, não informando os parâmetros para análise de potabilidade, indicando apenas sua filtração e desinfecção. No entanto, a Resolução CONAMA Nº. 20, de 18 de junho de 1986 (CONAMA, 1986), que classifica as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, indica em seu Art. 3º:

Art. 3º - Para as águas de Classe Especial, são estabelecidos os limites e/ou condições seguintes:

COLIFORMES: para o uso de abastecimento sem prévia desinfecção os coliformes totais deverão estar ausentes em qualquer amostra.

De modo a facilitar a leitura e compreensão, a tabela 3.1 compara as condições e padrões definidos pela Resolução CONAMA Nº. 357/2005 e COPAM/CERH-MG Nº. 1/2008 para as águas de Classe 1, anotando nesta última os acréscimos em negrito (grifo do autor). Muitos dos parâmetros contidos na legislação foram omitidos na Tabela 4.1 por não fazerem parte do monitoramento realizado neste trabalho.

Tabela 4.1. Comparação entre as normas federal e mineira que definem os padrões de qualidade de corpos d'água Classe 1.

Parâmetros	Resolução CONAMA Nº. 357 (BRASIL, 2005), Art. 14	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº. 1 (MINAS GERAIS, 2008), Art. 13
Coliformes termotolerantes	para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA Nº. 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou	para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA no 274, de 29 de novembro de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100

Parâmetros	Resolução CONAMA N°. 357 (BRASIL, 2005), Art. 14	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N°. 1 (MINAS GERAIS, 2008), Art. 13
	mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A <i>E. Coli</i> poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;	mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 (seis) amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A <i>E. coli</i> poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes observando-se os mesmos limites;
Oxigênio Dissolvido, em qualquer amostra, não inferior a	6 mg/L O ₂ ;	6 mg/L O ₂ ;
Turbidez	até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);	até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);
pH	6,0 a 9,0.	6,0 a 9,0; e
Sólidos em suspensão totais		50 mg/L.
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L	500 mg/L

Fonte: CONAMA (2005) e COPAM/CERH-MG (2008).

4.2. PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES EM CORPOS D'ÁGUA

Sobre disposição de efluentes em corpos d'água, o Art. 29 da CONAMA N°. 357/2005 determina que, mesmo tratado, o efluente não poderá causar poluição ou contaminação das águas.

O Art. 32 da CONAMA N°. 357/2005 é reproduzido pelo Art. 27 da COPAM/CERH-MG N°. 1/2008, acrescido do grifado em negrito (grifo do autor):

Art. 27. Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes de poluição, mesmo que tratados.

§ 1º Nas demais classes de água, o lançamento de efluentes deverá, simultaneamente:

I - atender às condições e padrões de lançamento de efluentes;

II - não ocasionar a ultrapassagem das condições e padrões de qualidade de água, estabelecidos para as respectivas classes, nas condições da vazão de referência; e

III - atender a outras exigências aplicáveis, **especialmente aquelas estabelecidas nos planos de recursos hídricos.**

§ 2º No corpo de água em processo de recuperação, o lançamento de efluentes observará as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final.

O Art. 29 da COPAM/CERH-MG N°. 1/2008 reproduz o Art. 34 da CONAMA N°. 357/2005, ambos tratando da disposição de efluentes de fontes diversas. Valores de pH são mais restritivos na legislação mineira, que acrescenta ainda diversos itens restritivos ao § 4º e valores ao § 5º, facilmente identificados em negrito (grifo do autor):

Art. 29. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

§ 1º O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 4º Condições de lançamento de efluentes:

I - pH entre **6,0** a 9,0;

II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura, **desde que não comprometa os usos previstos para o corpo d'água;**

III - materiais sedimentáveis: até 1 mL.L⁻¹ em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

VI - ausência de materiais flutuantes;

VIII - DQO - até 180 mg/L ou:

- ✓ **tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais;**
- ✓ **tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 70% e média anual igual ou superior a 75% para os demais sistemas;**

X – Sólidos em suspensão totais até 100 mg/L, sendo 150 mg/L nos casos de lagoas de estabilização.

4.3. REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos publicou em 2005 a Resolução No. 54 (CNRH, 2005), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências, adotando em seu Art. 2º algumas definições e em seu Art. 3º as modalidades de reúso:

Art. 2º Para efeito desta Resolução, são adotadas as seguintes definições:

I - água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

II - reúso de água: utilização de água residuária;

III - água de reúso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

IV - reúso direto de água: uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

V - produtor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que produz água de reúso;

VI - distribuidor de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que distribui água de reúso; e

VII - usuário de água de reúso: pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que utiliza água de reúso.

Art. 3º O reúso direto não potável de água, para efeito desta Resolução, abrange as seguintes modalidades:

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

§ 1º As modalidades de reúso não são mutuamente excludentes, podendo mais de uma delas ser empregada simultaneamente em uma mesma área.

§ 2º As diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reúso definidas nos incisos deste artigo serão estabelecidos pelos órgãos competentes.

EWATRO (2002) indica que o principal fator limitante para o reúso de águas residuárias é em relação à segurança e saúde públicas devido à provável presença de microrganismos patogênicos e/ou parasitas, a depender das condições epidemiológicas da localidade/região/país e do nível de tratamento dos efluentes, sendo necessário o estabelecimento de padrões regulatórios para uso, advindos de estudos prévios e de várias experiências.

Florêncio *et al.* (2006) relatam grande disparidade entre os cientistas em relação ao uso seguro de águas residuárias, tratadas ou não. Diretrizes da Organização Mundial da Saúde – OMS para uso agrícola de esgotos sanitários, corroborada por diretrizes do PROSAB, em

que técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, caso dos tanques sépticos e reatores UASB, associados a técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização de exposição aos riscos associados a esses patógenos, vale dizer irrigação subsuperficial, admitem a presença nos efluentes tratados de até 10^6 NMP.100mL⁻¹ de *E. coli*, sendo dispensável o padrão de ovos de helmintos que, em outros usos deve ser menor ou igual a 1.L⁻¹.

Utilizou-se ainda o trabalho de Anderson e Cummings (1999), que relacionaram a condutividade e usos da água, apresentado na Tabela 4.2. Ressalte-se considerar a generalidade das informações.

Tabela 4.2. Condutividade e usos das águas.

Condutividade ¹²³	Usos das águas
0 a 800 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ 0 a 800 $\mu\text{mho.cm}^{-1}$ 0 a 0,8 mS.cm^{-1}	• Água potável para humanos (desde que sem poluição orgânica e não muito sólidos em suspensão) • Geralmente boa para irrigação, embora alguns cuidados devam ser tomados acima de 300 $\mu\text{S/cm}$ (0,3 mS/cm) • Adequado a todos os animais
800 a 2.500 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ 800 a 2.500 $\mu\text{mho.cm}^{-1}$ 0,8 a 2,5 mS.cm^{-1}	• Pode ser consumida por humanos, embora se prefiram águas na metade inferior do intervalo, se disponível • Quando utilizada para irrigação requer manejo especial, incluindo solos adequados, boa drenagem e considerações sobre tolerância das plantas à salinidade. • Adequado a todos os animais.
2.500 a 10.000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ 2.500 a 10.000 $\mu\text{mho.cm}^{-1}$ 2,5 a 10,0 mS.cm^{-1}	• Não recomendado para consumo humano, embora águas até 3000 $\mu\text{S/cm}$ (3,00 mS/cm) possam ser consumidas se nenhuma outra estiver disponível. • Normalmente não adequada para irrigação, podendo até 6000 $\mu\text{S/cm}$ (6,0 mS/cm) ser utilizada em culturas tolerantes utilizando técnicas adequadas. Acima de 6000 $\mu\text{S/cm}$ (6,0 mS/cm) irrigações de emergência são possíveis. • Aves e suínos podem beber essa água, respeitando o limite de 6000 $\mu\text{S/cm}$ (0,60 mS/cm) • Recomenda-se análise da água
Acima de 10.000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ 10.000 $\mu\text{mho.cm}^{-1}$ 10,0 mS.cm^{-1}	• Inadequada para consumo humano e irrigação • Inadequada para porcos, aves ou qualquer animal em lactação • Bovinos de corte podem consumir até 17.000 $\mu\text{S/cm}$ (17,0 mS/cm) e ovinos adultos podem tolerar 23.000 $\mu\text{S/cm}$ (23,0 mS/cm), contudo é possível que águas abaixo desses níveis possam conter concentrações inaceitáveis de alguns íons.

Condutividade ^{1 2 3}	Usos das águas
	Análise química detalhada deve ser considerada antes de sua utilização.
	• Água acima de 50,000 µS/cm (50 mS/cm) corresponde à salinidade marinha e pode ser utilizada em descargas de vasos sanitários, desde que a corrosão no sistema seja controlada

Fonte: modificado de Anderson e Cummings (1999)

¹ µS/cm: Anderson e Cummings (1999)

² µmho/cm: IGAM (2008)

³ mS/cm: Tecnologia viva

5. MATERIAL E MÉTODOS

Definido o entendimento aqui adotado de Ecotecnologia e Tecnologias Vivas, as bases conceituais que norteiam seu desenvolvimento e aplicação e os objetivos que se deseja alcançar com a implantação de um sistema de tratamento biológico de efluentes domésticos com reúso das águas em Gaia Terranova, segue a descrição da metodologia de trabalho adotada.

5.1. GAIA TERRANOVA

Gaia Terranova é nome fantasia para designar um conjunto de duas residências e seus terrenos, localizados na zona rural do município de Piranguinho, MG, que vem sendo utilizadas pelo autor como moradia, futura sede da empresa Gaia Terranova Empreendimentos Sustentáveis Ltda (empresa graduada no Programa de Pré-Incubação da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI em 2008 e atualmente incubada no Centro Gerador de Empresas de Itajubá – CEGEIT) e campo de Estudos, Pesquisas, Desenvolvimento e Práticas Sustentáveis. A Figura 5.1 mostra a localização de Gaia Terranova, nas coordenadas geográficas 22°42'35" de latitude sul e 45°53'19" de longitude oeste.

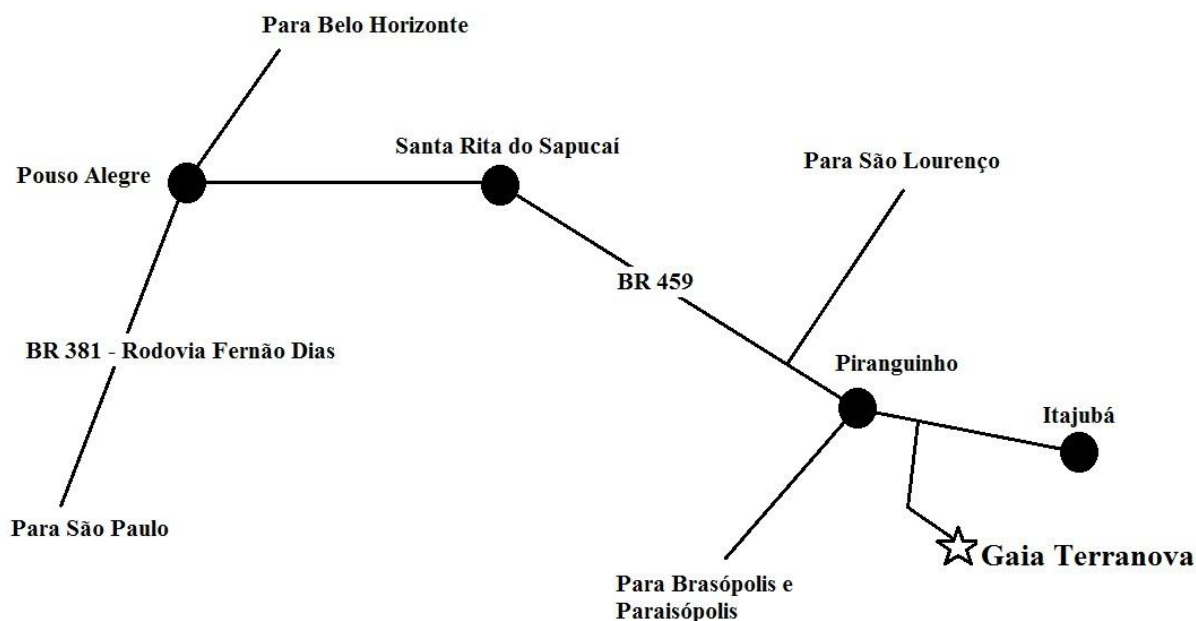


Figura 5.1. Localização de Gaia Terranova em relação a cidades maiores do Sul de Minas Gerais.

As residências (Figura 5.2.a) foram construídas incorporando elementos, conhecimentos e processos de gestão zero de resíduos, tratamento biológico de efluentes com reúso das águas, captação, reservação e utilização de água de chuva, eficiência energética, bioconstrução, iluminação passiva, recuperação e reutilização de materiais diversos (madeiramento, vitrôs, portas, janelas, cerâmicas, etc), *design* ecológico, permacultura, agroecologia, implantação de pequeno sistema agroflorestal, produção orgânica de alimentos, compostagem, minhocultura, recuperação de solos degradados, avaliação de impactos ambientais, planejamento estratégico, uso e ocupação do solo, sistemas de informação geográfica, manejo do solo, resgate de técnicas construtivas tradicionais e estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental.

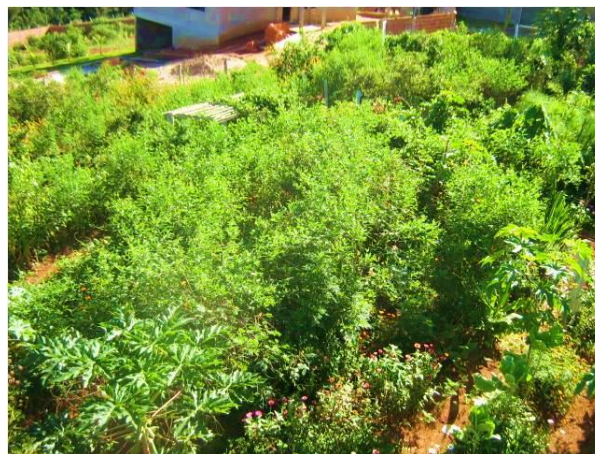
O terreno (Figura 5.2.b) foi trabalhado segundo conceitos da permacultura, agroecologia e *design* ecológico, formando Habitats Sustentáveis, caracterizados por vários microecossistemas construídos, que vem ampliando e fortalecendo a biodiversidade local e auxiliando na recuperação de solos degradados, recarga de lençol freático, produção de alimentos, fortalecimento da agricultura familiar e mudanças de padrões e comportamentos locais em relação ao uso, ocupação e gestão do solo.

Na interface entre as Casas Ecológicas e Habitats Sustentáveis, as tecnologias vivas de tratamento biológico de efluentes permitindo o reúso das águas, promovem a relação terrenos-

casas fechando ciclos de produção de alimentos e tratamento e reúso de resíduos, buscando ainda otimizar e armazenar energia solar, principalmente pela fotossíntese (produção de biomassa vegetal) e energia hídrica, por meio de curvas de nível, microbacias de contenção e lagoas de polimento e reservação (as lagoas multifuncionais LM1, LM2 e LM3).



a. Casa Ecológica



b. Habitat Sustentável

Figura 5.2. Gaia Terranova

Buscou-se, dessa forma, construir moradias com maior eficiência, conforto, valor agregado e responsabilidade socioambiental, aproximando as casas de espaços mais sustentáveis. Constituindo-se nas primeiras Casas Ecológicas da região, o local e sua proposta têm despertado interesse espontâneo de veículos de comunicação de massa local (Itajubá Notícias e O Sul de Minas), regional (EPTV, afiliada à Rede Globo de Televisão) e estadual (Rede Minas, emissora pública do Estado de Minas Gerais), bem como recebido visitantes isolados e grupos organizados de estudantes de graduação, com destaque para os cursos da UNIFEI de Engenharia de Produção, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Mecânica e de pós-graduação dos cursos de Especialização e Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. O interesse crescente em relação à proposta de Gaia Terranova aponta para um possível amadurecimento da possibilidade de se incorporar novas visões de mundo, saberes, conhecimentos, práticas e abordagens sustentáveis na relação do humano com o meio em que se insere, com o planeta em que vive, superando a velha abordagem cartesiana de mundo, que o percebe e quer fracionado, recortado e reduzido a engrenagens e processos mais mecânicos que vivos.

Entendendo que a Vida é a mestra primeira quando se busca pela sustentabilidade, uma vez que permanece e evolui no planeta há quase 4 bilhões de anos, é nos processos vitais que se pode buscar os conhecimentos básicos para evoluir a sociedade humana para um patamar sustentável em relação ao planeta que habita. A presente dissertação parte então, não de condições controladas de laboratório, mas de tentativas de reproduzir sistemas naturais em microescala que permitam solucionar problemas relacionados principalmente a esgotos domésticos, antes que os mesmos sejam socializados na forma de poluição e contaminação de toda uma bacia, região, ecossistema e biosfera, dificultando ou mesmo inviabilizando sua solução.

Várias versões de sistemas de tratamento são descritas neste trabalho, todas fruto de acompanhamento direto, aprendizado e intervenção em condições de campo, primeiramente de maneira empírica, buscando seu aperfeiçoamento em relação à aceitação cultural, espacial, sensorial (estética, visual e olfativa, principalmente), para em seguida proceder às análises de parâmetros legais que determinam a qualidade de um corpo d'água em diferentes classes.

Em certo sentido, inverte-se a lógica da Ciência Clássica, que fraciona a realidade para compreendê-la, mecanizando processos, linearizando relações complexas e especializando o entendimento de mundo, para agora reproduzir a diversidade de vida e as relações e teias que tece em sua relação com o meio, para em seguida medir, analisar e refletir sobre os resultados que se obtém por meio desta abordagem.

5.2. PERFIL DOS MORADORES

Sendo o dimensionamento e construção do sistema de tratamento de águas pretas baseado em parte nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 7.229/1982, NBR 7.229/1993 e NBR 13.969/1997), foram considerados os hábitos e os valores dos ocupantes da residência, entendendo que estes podem interferir nos resultados finais do estudo.

O Instituto Akatu de Consumo Consciente vem realizando pesquisas nos últimos anos visando acompanhar a evolução do consumidor brasileiro e, em 2007, publicou a pesquisa “Como e por que os brasileiros praticam o consumo consciente?” em que agrupa os entrevistados em quatro diferentes níveis de consumo consciente (AKATU, 2007):

- a) Consumidores indiferentes – adotam no máximo dois comportamentos.
- b) Consumidores iniciantes – adotam de três a sete comportamentos.
- c) Consumidores engajados – adotam de oito a 10 comportamentos.
- d) Consumidores conscientes – adotam de 11 a 13 comportamentos.

Os comportamentos adotados pela pesquisa são os relacionados a seguir, e tomando-os por base, tem-se que os moradores da residência em estudo compõem o grupo dos Consumidores Conscientes, uma vez que adotam 11 (*itálico*) das 13 condutas ou indicadores da pesquisa:

- 01. Evita deixar lâmpadas acesas em ambientes desocupados.*
- 02. Fecha a torneira enquanto escova os dentes.*
- 03. Desliga aparelhos eletrônicos quando não está usando.*
- 04. Costuma planejar as compras de alimentos.*
- 05. Costuma pedir nota fiscal quando faz compras.*
- 06. Costuma planejar compra de roupas.
- 07. Costuma utilizar o verso de folhas de papel já utilizadas.*
- 08. Lê o rótulo atentamente antes de decidir a compra.*
- 09. A família separa o lixo para reciclagem (lata, papel, vidro, PET, garrafas).*
- 10. Espera os alimentos esfriarem antes de guardar na geladeira.*
- 11. Comprou produtos feitos com material reciclado, nos últimos 6 meses.*
- 12. Comprou produtos orgânicos, nos últimos seis meses (por ex.: alimentos sem agrotóxicos, carne sem hormônios ou antibióticos).*
- 13. Procura passar ao maior número possível de pessoas as informações que aprende sobre empresas e produtos.

Os moradores adotam ainda outras iniciativas que os aproximam dos conceitos de sustentabilidade, como: redução do consumo de água (arejadores nas torneiras, captação de água da chuva complementando o abastecimento público, caixa acoplada de 6 litros no vaso sanitário); reaproveitamento e seleção de materiais (compostagem, separação de resíduos e destinação correta); produção e consumo de alimentos orgânicos; e não consumo de carnes

vermelha e branca, mantendo o consumo de peixes de maneira esporádica (menos de uma vez ao mês).

Dadas as características dos moradores, da proposta de ocupação do solo, construção da residência, implantação das tecnologias vivas de tratamento dos efluentes e mesmo do Curso de Especialização em Meio Ambiente Recursos Hídricos - CEMARH e Mestrado em Meio Ambiente Recursos Hídricos – MEMARH, ambos da UNIFEI, que se propõem interdisciplinares, adotou-se como metodologia de trabalho a difícil tarefa de tentar integrar em um todo coerente duas visões de mundo que se supõe antagônicas. De um lado o conhecimento e visão sistêmica, orgânica, integradora e não raro generalista de mundo, próprio do hemisfério direito do cérebro. De outro, o conhecimento científico dado pela razão, pelo planejamento, coleta, análise e discussão dos dados levantados na construção e monitoramento das tecnologias vivas, elementos próprios do hemisfério direito do cérebro.

Esse processo está descrito no tópico Fractal Conhecimento-Ação, tentativa de ampliar as possibilidades de trabalhos científicos incorporando partes, processos, saberes e diferentes inteligências a uma estrutura montada apenas sobre processos racionais, expressos pela lógica-matemática e linguística.

5.3.FRACTAL CONHECIMENTO-AÇÃO

Tomando por ilustração a Figura 3.3 - Modelo de Saneamento Ambiental Domiciliar – HCES Model, percebe-se que a estrutura linear e hierárquica dos processos (esquerda) dá lugar a uma estrutura mais complexa (direita), formada por zonas interconectadas e retroalimentadas, originando uma estrutura mais horizontal e em rede, com ampla comunicação entre as partes sem perder a visão do todo.

O método de trabalho adotado nesta pesquisa propõe reproduzir a complexidade dos sistemas vivos no *design* de sistemas de tratamento de efluentes e usar as águas tratadas e os nutrientes de esgotos domiciliares na ampliação da qualidade e quantidade de biodiversidade local, considerando os padrões subjacentes às formas e estruturas na manutenção do fluxo de matéria e energia, autopoiese, aprendizado, comunicação, acoplamento estrutural e coevolução (MATURANA e VARELA, 2001) entre cultura e natureza. Para isso, parte de um padrão simples de construção de conhecimento-ação (Figura 5.3), atuando como um fractal

que se amplifica e torna-se complexo em diferentes níveis ou camadas, formando uma estrutura de conhecimento não-linear.

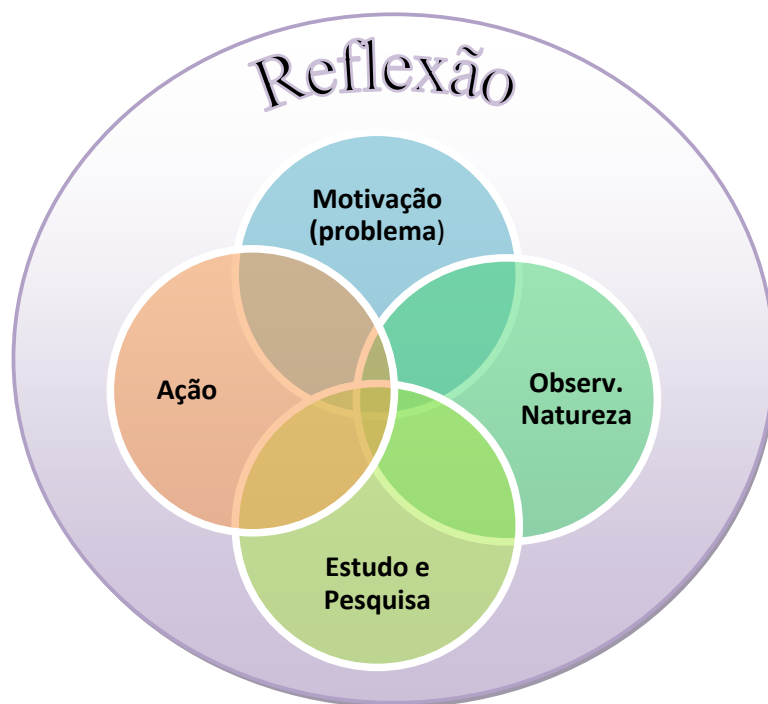


Figura 5.3. Fractal de conhecimento-ação.

Sempre permeados pela Reflexão, que relaciona constantemente os quatro componentes do fractal conhecimento-ação, interligados em rede e retroalimentados entre si, estabelece-se um moto contínuo que engloba:

1. **Motivação (problema)** - como tratar biologicamente e reaproveitar água e nutrientes de esgotos residenciais? – questionamentos internos a partir de dificuldades, problemas ou situações externas que demandam a construção de soluções sustentáveis;
2. **Observação da Natureza** - observação do ambiente natural e dos processos vitais envolvidos na ciclagem de nutrientes, autodepuração dos corpos d'água e evolução de ecossistemas alterados – aprendizado direto, vivencial, mediado por processos intuitivos, sensitivos, artísticos, emocionais e espirituais;
3. **Estudo e pesquisa** - revisão de literatura, conhecimento acadêmico e técnico-científico - aprendizado mediado pela razão;
4. **Ação (solução)** - estágios sucessivos de ação respondendo e buscando integrar os questionamentos, observação da natureza e estudo e pesquisa na implantação de

tecnologias vivas de tratamento biológico de efluentes domésticos em escala real, seguido do monitoramento e análises laboratoriais buscando a validação das soluções propostas em termos da aproximação de soluções mais sustentáveis e baseadas em padrões vivos.

Retomando os níveis de Realidade e o Terceiro incluído, as inteligências múltiplas, os princípios do *design* ecológico e da permacultura, o saneamento domiciliar doméstico – SAD, a complexidade, inter, multi e transdisciplinaridade, as ecotecnologias e as tecnologias vivas em relação ao problema central de como tratar biologicamente e reaproveitar água e nutrientes de esgotos residenciais, a metodologia proposta trilhou por cinco grandes áreas, sempre embasada pelo fractal conhecimento-ação (reflexão, motivação/problema, observação da natureza, estudo e pesquisa e ação/solução), presente em cada uma das grandes áreas bem como seus temas, tendo como ponto de partida ou elo de ligação entre as áreas e temas, a seguinte questão: como o *Design* Ecológico poderia conceber (Concepção) Tecnologias Vivas para o tratamento de efluentes domésticos, de modo que seu Desempenho pudesse ser mensurado e validado (Validação) dentro da visão técnico-científica atual?

Essa complexidade foi retratada na Figura 5.4, que forma uma espiral em que cada uma destas áreas está associada em rede às demais, formando uma estrutura mais ampla de conhecimento-ação.

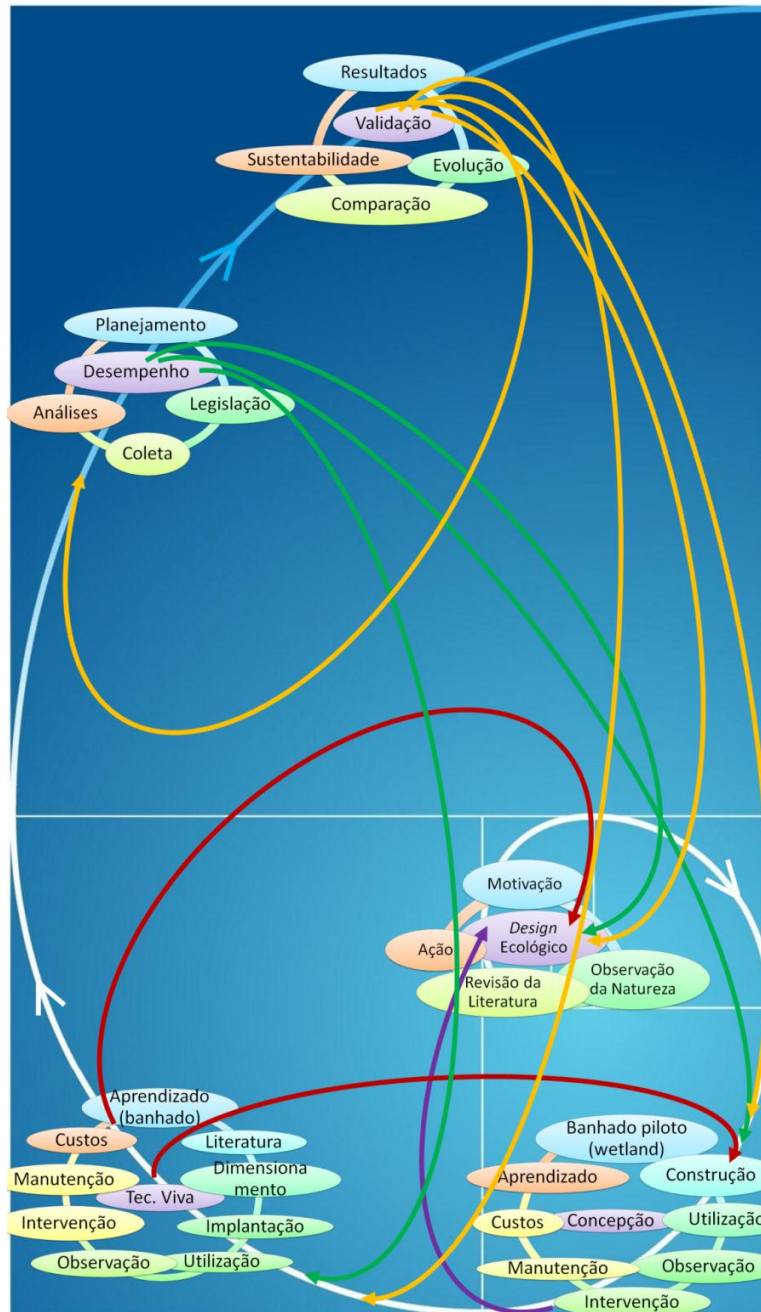


Figura 5.4. Espiral conhecimento-ação da ecotecnologia de tratamento biológico de efluentes residenciais.

Assim, se o *Design* ecológico tem como pano de fundo o fractal conhecimento-ação, também a área da Concepção e cada um de seus temas (banhado piloto, construção, utilização, observação, etc.) constantemente foram trabalhados sob o mesmo fractal de conhecimento-ação: reflexão, motivação/problema, observação da natureza, estudo e pesquisa e ação/solução, o mesmo valendo para as outras áreas e temas.

A Tabela 5.1 apresenta o desdobramento dessa espiral, partindo do fractal metodológico do *Design* ecológico e seguindo para a Concepção das Tecnologias vivas, a aferição de seu Desempenho e sua Validação em termos que possam aproximá-la de uma tecnologia sustentável. Ao fractal metodológico seguem reflexões sobre questões que nortearam todo processo e o resultado destas reflexões. A cada passo as relações vão-se complexificando, sendo muitas das vezes quase impossível caminhar linearmente e os limites entre teoria e prática, reflexão e ação, observação e estudo ficaram tênues ao ponto de se dissolverem, conferindo um carácter transdisciplinar ao trabalho.

Tabela 5.1. Fractal conhecimento-ação complexificado nas Tecnologias Vivas de tratamento de águas cinzas e pretas.

I - Design Ecológico		
Fractal metodológico	Reflexão	Resultado
Motivação	Problema: Como tratar biologicamente e reaproveitar água e nutrientes de esgotos residenciais?	
Observação da Natureza	Como se dá o tratamento e purificação da água no ambiente natural?	Experiência pessoal do autor. Vivência no ambiente natural.
Estudo e Pesquisa	O que propõe a literatura técnico-científica e de base permacultural para esses casos?	Permacultura, Prosab, ABNT, CEMARH, MEMARH, etc.
Ação	Como desenvolver uma tecnologia ambientalmente amigável (ecotecnologia) para o tratamento de águas cinzas?	Solução: implantação de sistema piloto de banhado construído (<i>wetland</i>).

II - Concepção		
Fractal metodológico	Reflexão	Resultado
Motivação	Como construir um sistema de baixo custo e fácil replicação tratando diferentemente águas pretas e cinzas?	Recepção de águas cinzas provenientes do atendimento de 4 a 5 pessoas. Reaproveitamento de materiais de construção. Coleta de plantas e solo de banhados locais. Plantio das espécies.
Observação da Natureza	Como o sistema implantado responde à demanda?	Observação: Visual e olfativa: evolução, odores, composição floral;

II - Concepção		
		Biodiversidade: atração de pássaros, borboletas, abelhas, vermes; Cultural: aceitação da ecotecnologia; Estética: paisagismo.
Estudo e Pesquisa	O que propõe a literatura técnico-científica e de base permacultural para esses casos?	Permacultura, Prosab, ABNT, CEMARH, MEMARH, etc.
Ação	Intervenção no sistema	Aperfeiçoamento do banhado.
	Manutenção	Podas e reutilização das plantas para compostagem.
	Custos	Levantamento dos custos de construção e manutenção.
	Aprendizado prático	Funcionamento adequado da ecotecnologia.

III - Tecnologia Viva		
Fractal metodológico	Reflexão	Resultado
Motivação	Como desenhar, dimensionar e projetar Tecnologias Vivas para o tratamento das águas cinzas e águas pretas em sistemas independentes, tendo por base os aprendizados com o sistema piloto?	<i>Design</i> de sistemas para o tratamento de águas cinzas e pretas a partir do aprendizado com o banhado piloto.
Observação da Natureza	Como se daria o fluxo do efluente e sua relação com os componentes bióticos e abióticos dos sistemas? Como o sistema evolui ao longo do tempo?	Planejamento dos sistemas. Sensorial: visual, olfativa. Biodiversidade: atração de pássaros, anfíbios e insetos; criação de peixes (tilápia); colonização por plantas não existentes nos arredores. Cultural: aceitação das tecnologias vivas. Estética: paisagismo.
Revisão de literatura	O que propõe a literatura técnico-científica?	Teoria orientando a prática (CEMARH, MEMARH, Prosab, ABNT, Permacultura, Biomimética, Autopoiese).
Ação	Dimensionamento	Sistema de tratamento de águas cinzas e águas pretas para 4 pessoas.
	Implantação	Sistema de águas cinzas: filtro, banhado e lagoas multifuncionais (várias versões).

III - Tecnologia Viva		
Fractal metodológico	Reflexão	Resultado
		Sistema de águas pretas: decanto-digestor, filtro biológico, banhado construído, vala de infiltração, linha de bananeiras.
	Utilização	Recepção de efluentes de 3 pessoas.
	Intervenção	Aperfeiçoamento do sistema de tratamento de águas cinzas (versão 03).
	Manutenção	Podas e reutilização das plantas para compostagem.
	Custos	Levantamento dos custos de construção e manutenção.

IV - Desempenho operacional		
Fractal metodológico	Reflexão	Resultado
Motivação	Os sistemas atendem à legislação mais restritiva de lançamento de efluentes? Como validar os resultados das análises?	Definição de parâmetros físicos, químicos e biológicos para análise. Planejamento estatístico.
Observação da Natureza	Como plantas e (micro)organismos se relacionam e evoluem nos sistemas?	Crescimento de plantas e raízes e relações com o funcionamento dos sistemas, produção de biomassa, ampliação da biodiversidade com a chegada (sem intervenção humana consciente) de novas espécies vegetais, visita de animais, etc.
Revisão de literatura	Legislação ambiental, artigos científicos	COPAM-CERH, CONAMA, ABNT.
Ação	Coleta de efluentes e medição de volumes	Coleta de amostras (compostas para águas pretas) para análise.
	Análises laboratoriais	Sólidos, DQO, pH, condutividade, alcalinidade, turbidez, OD, coliformes.

V - Validação		
Fractal metodológico	Reflexão	Resultado
Motivação	Os resultados laboratoriais das tecnologias vivas confirmam a expectativa de sustentabilidade?	Comparação dos resultados das análises laboratoriais e restrições legais.
Observação da	Existem diferenças visíveis,	Evolução de linha de bananeiras

V - Validação		
Fractal metodológico	Reflexão	Resultado
Natureza	quantitativas e qualitativas entre áreas do terreno que receberam ou não os efluentes tratados?	que receberam ou não os efluentes tratados (análise estatística). Percepção da evolução biológica junto aos sistemas implantados.
Revisão de literatura	Sistemas domiciliares e/ou permaculturais publicados.	Comparação entre diferentes sistemas.
Ação	Análise estatística e discussão dos resultados do monitoramento das tecnologias vivas.	Comparação em relação à legislação federal e mineira, ABNT e outros sistemas.
	Análise de custos e retorno sobre o investimento.	Viabilidade das tecnologias vivas em termos financeiros (orçamento do empreendimento).
	As tecnologias vivas se apresentam como alternativas sustentáveis para o tratamento domiciliar de águas cinzas e pretas?	Resultado final do trabalho.

Simplificando a metodologia que orientou esse trabalho, pode-se propor uma organização mais linear, expressa na Figura 5.5, que mostra as fases consecutivas do problema à solução proposta, que se desdobra em novo esquema (Figura 4.6) que parte do dimensionamento à validação da ecotecnologia.

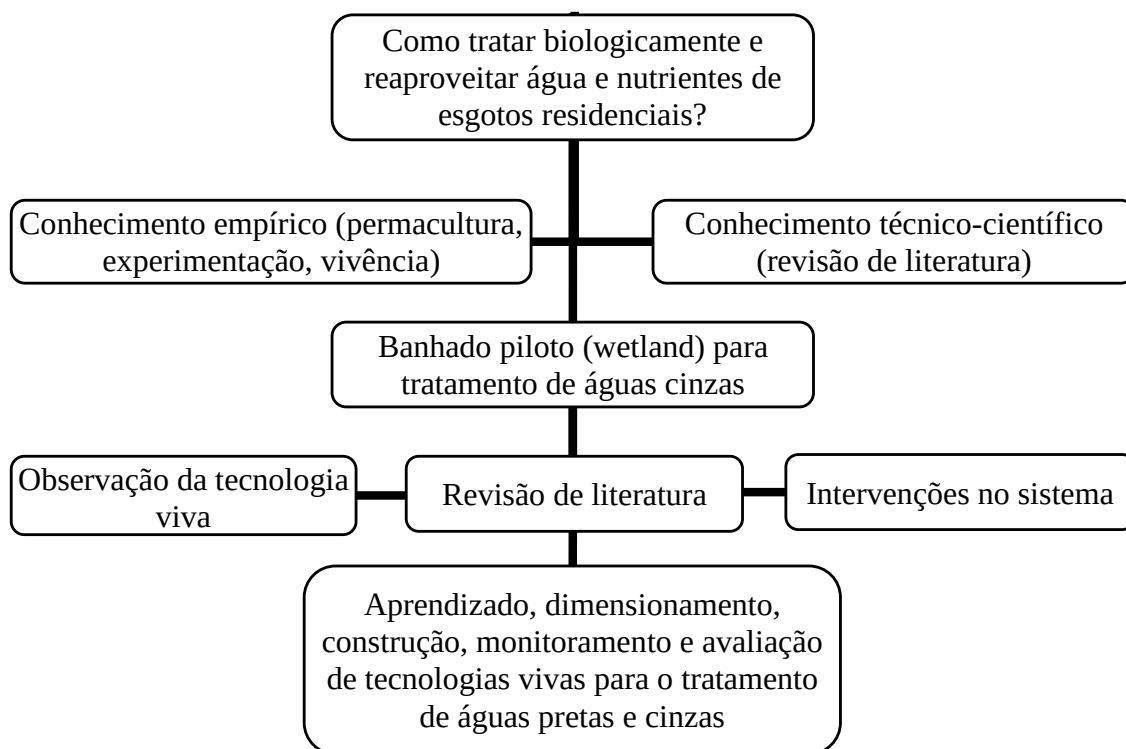


Figura 5.5. Esquema simplificado de construção de solução para o problema proposto a partir de um sistema piloto.

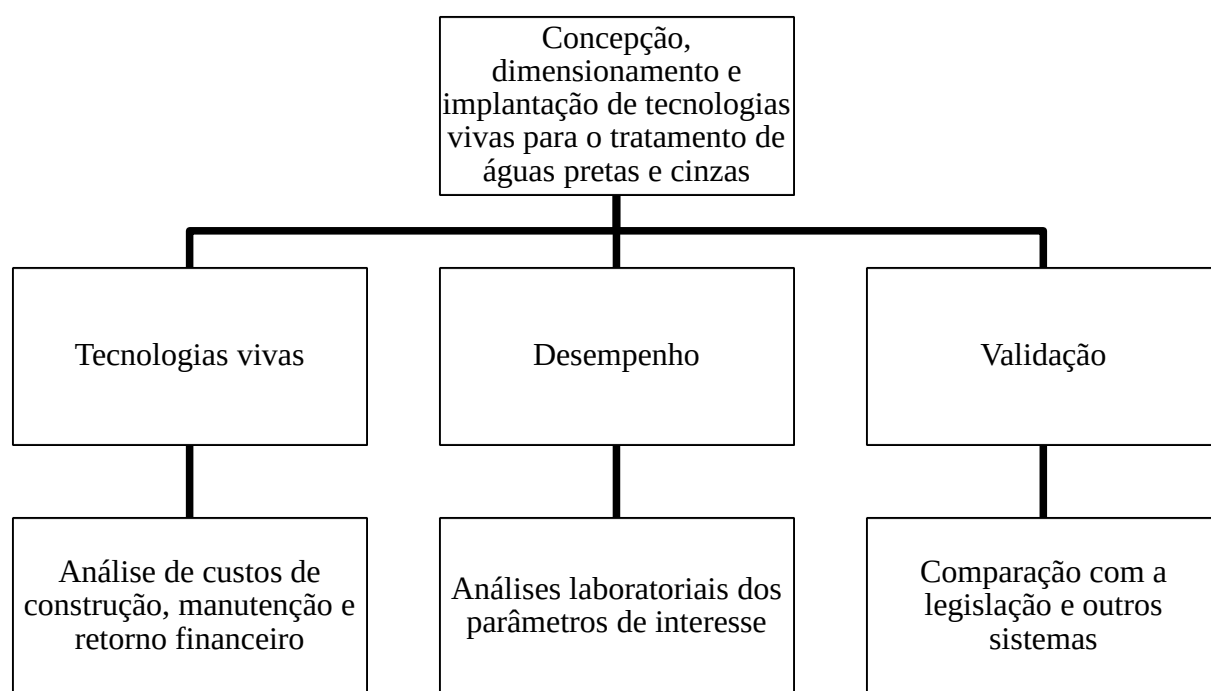


Figura 5.6. Esquema simplificado da metodologia de concepção, construção, desempenho e validação das tecnologias vivas.

5.4. FRACTAL CONHECIMENTO-AÇÃO EXPANDIDO

Se o fractal conhecimento-ação representa as tecnologias vivas, de sua concepção à validação, descrita na presente dissertação, é ao mesmo tempo parte de uma ação mais complexa que se desenvolve em outros níveis de realidade, tendo como fundamento o *Design Ecológico* (início, base, padrão de relacionamento e planejamento). As tecnologias vivas são o Terceiro elemento que pacifica e integra a Casa Ecológica com o Habitat Sustentável de Gaia Terranova. O conjunto casa/tecnologia viva/terreno, por sua vez, é visto como uma unidade ou fractal que se associa a outras unidades semelhantes (conjunto casa/tecnologia viva/terreno em uma mesma vizinhança, bacia hidrográfica ou biorregião), formando as Comunidades Sustentáveis. O Terceiro elemento, que une, pacifica e conecta os interesses pessoais/privados (conjunto casa/tecnologia viva/terreno) e coletivos/comunitários (comunidade sustentável) é a Educação para a Sustentabilidade, elevando todo sistema a um novo nível de realidade, mais próximo da sustentabilidade, graficamente representado pela espiral da Figura 5.7. Cada um desses passos, etapas ou elementos são retroalimentados entre si, formando uma rede de tecitura crescentemente complexa e interconectada.

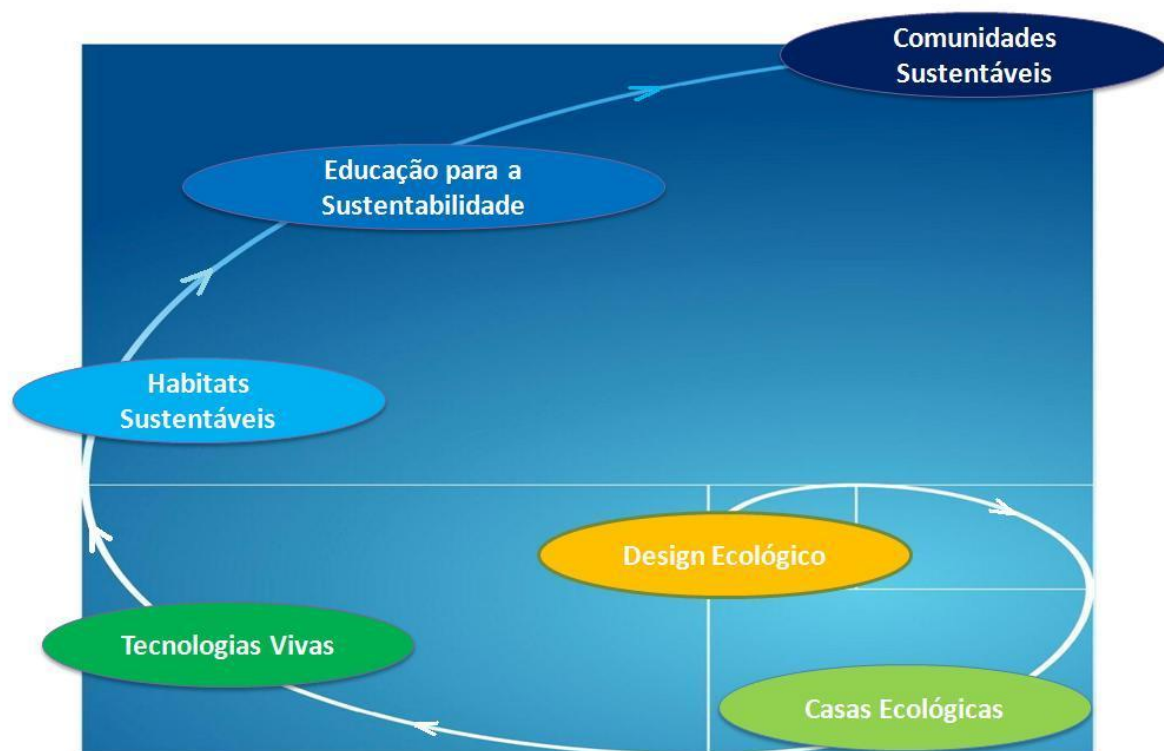


Figura 5.7. Espiral evolutiva do fractal metodológico proposto.

Outra forma de dizer o mesmo reproduz, com modificações, a Figura 3.5 quando foram apresentados os níveis de realidade e pares de contraditórios. Aqui o Design Ecológico assume o papel organizador e orientador de modo a superar as contradições de um nível, permitindo que as mesmas se ajustem em um nível superior, como mostra a Figura 5.8.

- a) **Nível de Realidade 1** – casa e terreno dissociados e a idéia de que o desenvolvimento e permanência do humano no planeta se dá às custas do ambiente natural, que deve ser “dominado”, e a “impossibilidade” de se viver de maneira harmônica com o meio estão presentes no modo como vivemos e moramos, criando o primeiro contraditório.
- b) **Nível de Realidade 2** – a superação do primeiro contraditório se dá por meio das Tecnologias Vivas, baseadas em modelos ecológicos, que promovem a ponte e interações entre casa (casa ecológica) e terreno (habitat sustentável). Estas por sua vez podem ser vistas como um contraditório às tecnologias duras, expressas pelas tecnologias tradicionais baseadas em modelos mecânicos;
- c) **Nível de Realidade 3** – a Educação para a Sustentabilidade promove a compatibilização entre diferentes visões de mundo, que por sua vez concebem diferentes tecnologias. A educação para a sustentabilidade, ao propor uma visão mais ampla de mundo e educação, mostra-se aparentemente em contradição com a educação tradicional, fruto do pensamento cartesiano e da visão mecânica de universo que fraciona a realidade e especializa o conhecimento.
- d) **Nível de Realidade 4** – as Comunidades Sustentáveis marcam a transição de saberes, fazeres, conceitos e práticas insustentáveis rumo à sustentabilidade, fomentando uma convivência harmoniosa dentro do tecido social e deste com a biosfera. Os processos de produção de bens, produtos e serviços estão agora em sintonia com os processos vivos e a humanidade passa a se ver como um todo indissociado da biosfera, parte integrante do sistema que mantém a vida no planeta.

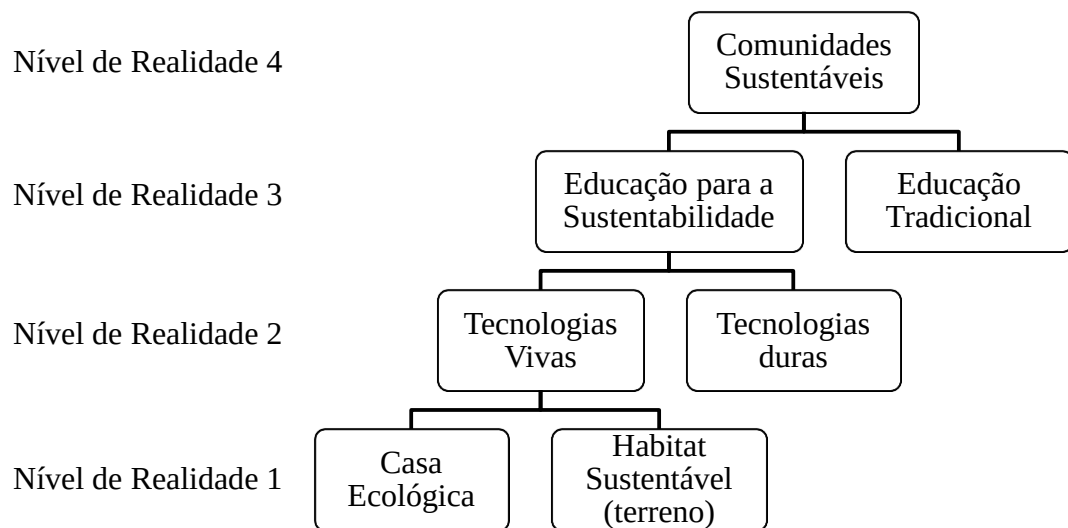


Figura 5.8. Níveis de Realidade e par de contraditórios em Gaia Terranova.

5.5. DESIGN ECOLÓGICO E TECNOLOGIAS VIVAS

O Design Ecológico tece relações entre a Casa Ecológica e o Habitat Sustentável por meio das Tecnologias Vivas de tratamento de efluentes domésticos, que por sua vez fornece água e nutrientes para plantas diversas. A manutenção periódica dos sistemas consiste na retirada de excesso de matéria orgânica vegetal, formada por folhas e plantas que crescem de maneira mais acelerada em função das águas e nutrientes disponíveis, e que são depositadas ao lado dos sistemas, misturadas com galhos, folhas e demais materiais orgânicos juntados à partir do manejo do Habitat Sustentável, onde são compostadas de modo a resgatar nutrientes por meio da decomposição da matéria vegetal. O produto das composteiras é então distribuído nas hortas, no terreno, ou deixados no local para se incorporarem ao solo e, nesse caso, novas intervenções no sistema dão origem a novos locais para a compostagem, feita de maneira natural, ao ar livre e sem maiores intervenções além de eventuais revolvimentos dos montes.

As tecnologias vivas são compostas por:

- Sistema 1: piloto de banhado construído para tratamento de águas cinzas;
- Sistema 2: filtro, banhado construído (BC) e lagoa multifuncional 1 (LM1) para o tratamento de águas cinzas;

- Sistema 3: lagoas multifuncionais LM 2 e LM 3 para o polimento do efluente e reservação de água;
- Sistema 4: decanto-digestor, filtro biológico, banhado construído e vala de filtração seguido de linha de linha de bananeiras para o tratamento e disposição final de águas pretas.

A figura 5.9 mostra um esboço do terreno, a posição das casas, a posição relativa das tecnologias vivas e composteiras e os fluxos dos efluentes após seu tratamento. O *design* partiu do conceito de aumentar a quantidade de matéria e energia estocadas no sistema, utilizando fluxos abundantes e graciosos oferecidos pelo sol e águas de chuvas. A energia do sol, como visto, é captada por plantas que a transformam em energia química e nutrientes, posteriormente liberados no ambiente pela compostagem. As águas de chuva são também grandes aliadas, uma vez que sua energia potencial (nuvens), transformada em energia cinética (chuva que cai), é acumulada no terreno por meio das curvas de nível e bacias de contenção, que interrompem seu escoamento superficial (energia cinética se transformando em potencial), ganhando tempo para infiltrar no solo e dissipando energia de modo mais vagaroso, ampliando a umidade do terreno ao longo dos meses e recuperando lençóis freáticos em um nível mais profundo. A matéria orgânica, cortada e disposta no solo, forma camadas protetoras, evitando o ressecamento da superfície, mantendo sua umidade e proporcionando *habitat* ideal para que fungos, bactérias e pequenos animais possam realizar a decomposição dessa mesma matéria, liberando nutrientes e enriquecendo todo sistema. De maneira direta as Tecnologias Vivas contribuem nessa rede ao tratar e recuperar nutrientes, dispondo ainda de espaço para reservação de água de chuva e ofertando excedentes para o crescimento vigoroso da biomassa.

Procede-se assim ao acúmulo de matéria e energia no sistema, buscando que com o tempo se torne autossuficiente, quiçá autopoietico, reproduzindo o mesmo conhecimento acumulado por uma floresta, por exemplo, que cicla seus nutrientes e evolui até alcançar seu clímax.

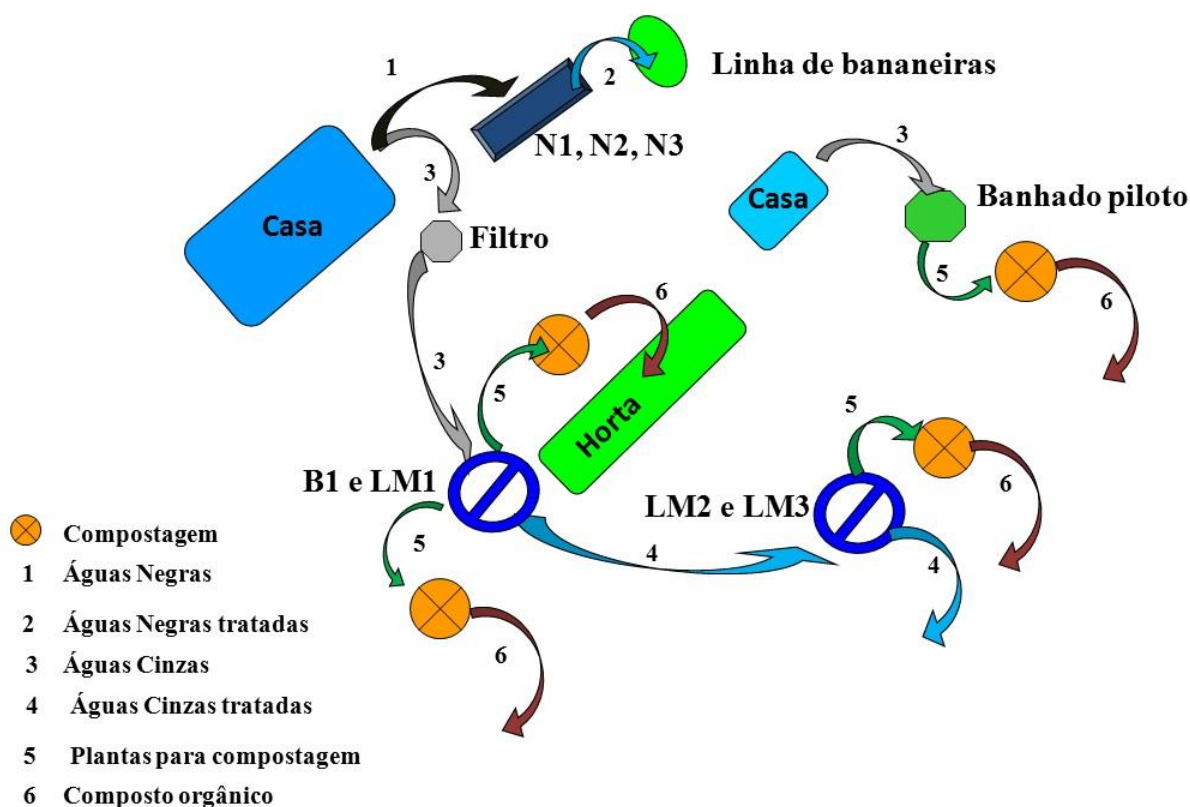


Figura 5.9. Esboço do *design* e fluxo de matéria e energia das tecnologias vivas instaladas em Gaia Terranova

5.6. TECNOLOGIAS VIVAS IMPLANTADAS EM GAIA TERRANOVA

Sanguinetto (2009) buscou em sua monografia de especialização, canais de comunicação entre soluções desenvolvidas por comunidades tradicionais adotadas, resgatadas e desenvolvidas pela Permacultura (MOLLISSON, 1994); a visão da ciência tradicional normatizando técnicas, dimensionamentos e processos (ABNT, 1982; ABNT, 1993; ABNT 1997); e visões emergentes: (1) pesquisando, propondo e dimensionando sistemas de baixo custo, alta eficiência e fácil instalação, operação e manutenção, como o trabalho desenvolvido no âmbito do PROSAB¹⁹, especialmente o Edital 02 que trata do Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (CHERNICHARO *et al*, 2000 e CHERNICHARO *et al*, 2001) que

¹⁹ O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - **PROSAB** - tem por objetivo apoiar o desenvolvimento de pesquisas e o aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias e resíduos sólidos que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção e que resultem na melhoria das condições de vida da população brasileira, especialmente as menos favorecidas. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/index.html>>. Acesso em 13 set 2009.

apresentam soluções consideradas tecnologias consolidadas, e (2) artigos mais recentes voltados para o design ecológico e tecnologias vivas (TODD e JOSEPHSON, 1996) e engenharia ecológica (ELSEVIER, 2009), dando origem a vários sistemas de tratamento de efluentes domésticos instalados em Gaia Terranova.

Fruto desse trabalho, as recomendações de projeto e dimensionamento foram acatadas e incorporadas em Gaia Terranova, que instalou tecnologia viva de tratamento de águas pretas, sistema composto por:

- a) Decanto-digestor;
- b) Filtro biológico;
- c) Banhado construído ou *wetland*;
- d) Vala de infiltração; e
- e) Linha de bananeiras, como receptoras finais do efluente e seus nutrientes.

A tecnologia viva de tratamento de águas cinzas, estas em maior quantidade e menor contaminação, forma um sistema composto por:

- a) Banhados construídos ou *wetlands*, responsáveis pelo tratamento primário e secundário do afluente; e
- b) Lagoas multifuncionais para polimento final e reservação de água.

Iniciando com um piloto de banhado construído, seguiram-se a instalação das tecnologias vivas, descritas a seguir, que foram evoluindo ao longo do tempo como resposta a constantes observações e intervenções do autor.

5.6.1. Sistema 1: piloto de banhado construído (*wetland*)

Instalado de maneira empírica, seguindo sistemas semelhantes propostos pela Permacultura e como forma de aprendizado pela prática, o banhado construído (*wetland*) visou atender o tratamento de águas cinzas oriundas de habitação ocupada por 4 a 5 pessoas, trabalhadores da construção civil, no período de janeiro a abril de 2008, período de construção da residência da família. As paredes do banhado foram feitas com rochas da região (granito rosa), recortadas manualmente pelos trabalhadores da pedreira, medindo por volta de 30 cm x 30 cm (largura x altura), com profundidade variável entre 15 e 30 cm. Foi utilizado concreto na base do sistema, como forma de evitar o contato direto do afluente (águas cinzas) com o solo local, e planejado para funcionar como um banhado de fluxo horizontal subsuperficial.

Trabalhando com a proposta de sistemas simplificados e de fácil reprodução, passíveis de serem compreendidos e replicados por não-especialistas, estimou-se a capacidade de percolação de diferentes materiais, necessário para o cálculo do volume de água armazenada em diferentes etapas das tecnologias vivas. Utilizou-se para isso um recipiente plástico graduado, facilmente encontrado em comércio de artigos populares. Considerando que esse tipo de recipiente não se presta a medidas cientificamente confiáveis, apenas como referência para cálculos simplificados de campo, tem-se em seu baixo custo e facilidade de aquisição as justificativas para seu uso. Utilizando bureta com capacidade de 50mL e bequer de 200mL (poderia ser um outro recipiente plástico graduado), a estimativa da capacidade de percolação foi medida por meio de conta simples:

$$CP = \frac{\text{Volume do material}}{\text{Volume do líquido}}$$

Onde:

CP – capacidade de percolação

Volume do material – volume medido de 500mL do material de estudo

Volume do líquido – volume de água gasto no preenchimento dos espaços vazios do material de estudo

Preenchendo o recipiente plástico com 500mL de material seco em condições de campo, mediu-se a quantidade de água gasta até sua completa saturação. Conhecendo o volume do material e da água gasta, e lembrando que esta é apenas uma estimativa grosseira, tem-se a seguinte capacidade de percolação para diferentes materiais, coletados no local de seu uso:

- Areia média (180/500): 0,36
- Latossolo vermelho (270/500): 0,54
- Entulho peneirado [composto principalmente por massa de assentamento: terra, areia, cimento, cal - aparência semelhante a solo] (250/500): 0,50
- Entulho grosseiro: 0,60
- Pedra brita no. 1 (290/500): 0,58

As medidas obtidas foram comparadas com a literatura (Tabela 5.2.) e, ao menos para areia média e solo (não especificado pelos autores; latossolo em nosso experimento), o valor

encontrado se mantém dentro das faixas de referência, indicando que o proposto poderia ser de utilidade mais ampla.

Tabela 5.2. Capacidade de percolação de diferentes materiais de preenchimento.

Capacidade de percolação	Gomes (2005)	Ribeiro (2007)	Zanella (2008)	Método empírico proposto
Areia média	0,35 a 0,4			0,36
Solo	0,5 a 0,6	0,43 a 0,62		0,54 (latossolo)
Entulho peneirado (n. 4)				0,50
Entulho grosseiro				0,60
Pedra brita no. 1			0,45	0,58

5.6.2. Sistema 2: filtro, banhado construído (BC) e lagoa multifuncional 1 (LM1)

Após os aprendizados com o piloto de banhado construído, foram implantados novos sistemas para atender às necessidades dos moradores da casa maior em Gaia Terranova. A drenagem da residência separa, na origem, as águas pretas do vaso sanitário das águas cinzas, oriundas de dois banheiros (chuveiros e pias), uma lavanderia (tanque e máquina de lavar) e cozinha (pia), encaminhando-as para tratamentos diferenciados. O sistema, composto por filtro e um pequeno banhado construído seguido de lagoa de polimento (Lagoa Multifuncional 1 – LM1), foi concebido para tratar águas cinzas de modo a utilizá-las na irrigação de pequeno sistema agroflorestal, pomar e reaproveitamento de nutrientes via compostagem do excedente de plantas retiradas com o manejo periódico.

Filtro

O aprendizado obtido por meio da observação e estudo do filtro do banhado piloto e da revisão de literatura realizada, permitiram a construção de um novo filtro para retenção de material particulado carregado pelas águas cinzas da residência. Esse filtro não foi dimensionado, mas construído a partir da reutilização de antiga caixa d'água de 500 litros, obtida em ferro-velho da região e preenchida em camadas com diferentes materiais. Essas camadas foram separadas com sacos de plástico trançado (sacaria de ração, farinha de trigo, etc.) abertos e com malha mais folgada, de modo a permitir a passagem da água sem deixar

que os elementos filtrantes se misturassem. Do fundo para o topo, tem-se uma primeira camada feita com entulho de obra, seguida por uma camada de areia média-grossa, pedra brita Nº. 1 e leve camada de solo, sobre o qual foram plantadas espécies mais adaptadas a ambientes úmidos, como lírio-do-brejo, papiro e taboa, todas transplantadas do banhado piloto.

Banhado construído e lagoa multifuncional 1

Durante o planejamento do sistema, havendo dificuldades em se obter informações sobre dimensionamento de banhados (*wetlands*), optou-se por fazê-lo empiricamente, tendo em vista o aprendizado com o banhado piloto. Na construção do banhado e lagoa foram utilizadas: lona plástica duas faces, facilmente encontrada em lojas de produtos rurais; pedra brita Nº 1 no banhado; pequena porção de areia ou terra no fundo do banhado para evitar que o peso das pedras perfure o plástico; e tijolos comuns para dar o acabamento. Os tijolos foram colocados sem qualquer argamassa, facilitando o manuseio e eventuais modificações do sistema, podendo ser retirados e utilizados em outros espaços quando o solo já estiver suficientemente acomodado e colonizado pela vegetação.

5.6.3. Sistema 3: lagoas multifuncionais LM 2 e LM 3

Com o objetivo de dar sequência ao polimento do efluente oriundo do sistema banhado construído e lagoa multifuncional 1 (LM1) e atuar como sistema de reservação de água, instalou-se na parte baixa do terreno de Gaia Terranova, outras duas lagoas multifuncionais, que são chamadas de lagoa multifuncional 2 (LM2) e lagoa multifuncional 3 (LM3). O material utilizado foi novamente o plástico dupla face recoberto por terra nas bordas, que se mostrou bastante resistente, adequado e de baixo custo, e blocos de pedra rosa com função meramente ornamental, restantes do primeiro sistema, o piloto de banhado construído. Os efluentes que passam pelo banhado construído e lagoa multifuncional 1 são drenados por mangueira preta comum (mangueira feita com plástico reciclado, baixo custo e boa durabilidade, facilmente obtida em lojas de material de construção e de produtos agropecuários), furada ao longo de sua extensão de modo a irrigar subsuperficialmente o terreno.

5.6.4. Sistema 4: decanto-digestor, filtro biológico, banhado construído e vala de infiltração seguido de linha de bananeiras

O sistema foi dimensionado e construído seguindo as recomendações de Sanguinetti (2009), que baseou seu trabalho nos conceitos da permacultura (MOLLISON, 1994), *design* ecológico (TODD e JOSEPHSON, 1996), engenharia ecológica (ELSEVIER, 2009), e normas NBR 7.229 (ABNT, 1982 e ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997).

O sistema foi construído com tijolos comuns assentados com argamassa de areia, cal e cimento (traço 8:2:1), rebocado em sua parte interna, base de concreto nas três câmaras e laje no decanto-digestor e filtro biológico. Na parte superior das câmaras foi prevista uma abertura quadrada de 0,25m de lado, recoberta por placa de concreto, que permite acesso ao interior das câmaras. As tubulações são de PVC, marca Tigre®, sendo a de entrada com diâmetro de 100mm, enquanto as de ligação e saída com diâmetro de 50mm. Posteriormente, foi instalado um tê na entrada para desvio e coleta dos afluentes em tambor metálico com capacidade para 50 litros, de modo a se fazer a homogeneização do efluente e a composição das amostras. Foram instaladas duas torneiras plásticas nos pontos de amostragem: uma na saída do filtro biológico e outra na saída do banhado construído. O filtro biológico tem como material de preenchimento varas de bambu, esmagadas nos nós de modo a se abrirem em tiras, posicionadas de modo inclinado dificultando o escoamento laminar do esgoto. O banhado construído tem ao fundo material filtrante composto por entulho de obra, seguido por piso de tábuas reaproveitadas e, acima destas, camada de pedra brita Nº 1.

Os sistemas serão melhor visualizados em Resultados e Discussão, opção adotada pelo autor de modo a facilitar o entendimento do leitor em relação à proposta do fractal metodológico e seu desdobramento em termos de intervenções e evoluções dos sistemas construídos.

5.7. PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO

Este trabalho tem como um dos objetivos específicos, analisar parâmetros físicos, químicos e biológicos das águas afluentes e efluentes dos sistemas, o que deu subsídios para responder parte (ambiental e legal) da questão levantada em Objetivo Geral: As tecnologias

vivas de tratamento de efluentes domésticos com separação e biotratamento de águas cinzas e pretas proposto para Gaia Terranova é sustentável do ponto de vista ambiental, econômico e legal? A resposta ao quesito legal exige clareza nos dados de entrada e saída dos sistemas, ou seja, clareza na resposta a duas questões: (1) Quais os valores dos parâmetros medidos na entrada dos sistemas?; e (2) Quais os valores dos parâmetros medidos na saída dos sistemas?. Para Triola (2008, p. 17), se os dados amostrais não forem coletados de maneira apropriada, eles podem ser de tal modo inúteis, que nenhuma manipulação estatística poderá salvá-los. Dessa forma, procedeu-se ao planejamento da coleta, análise e comparação com a legislação para eventuais modificações nos sistemas, como mostra a Figura 5.9.

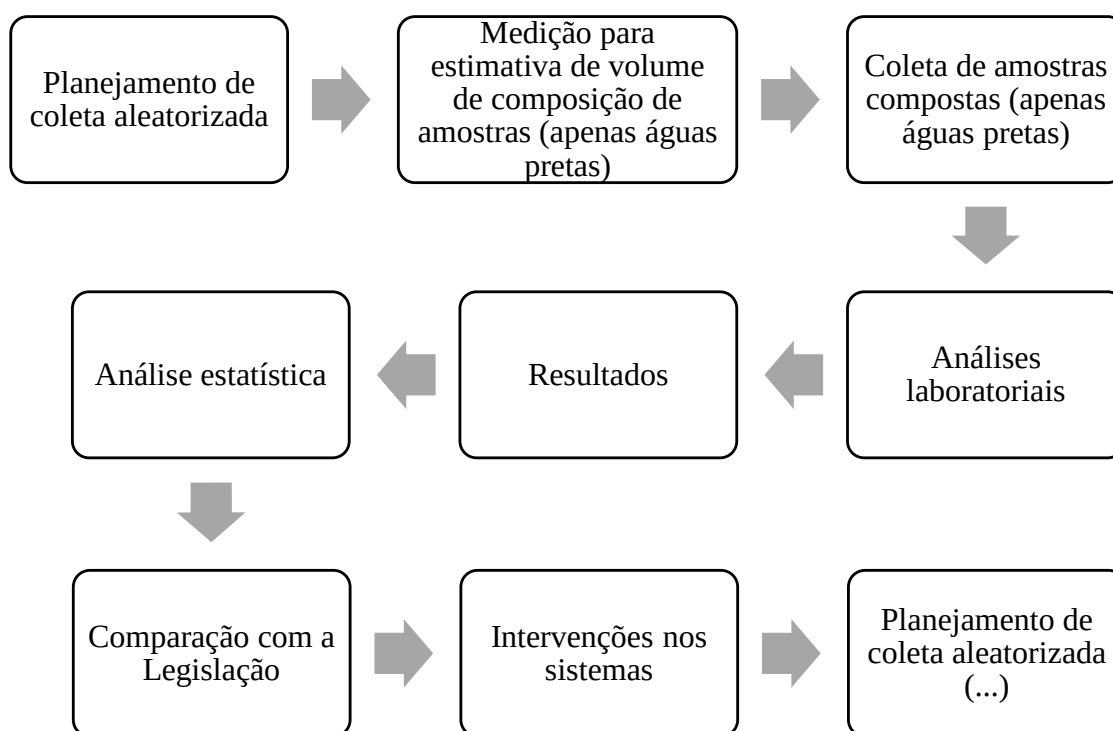


Figura 5.9. Organograma do planejamento à comparação com a legislação.

Sabendo que os hábitos dos residentes variam ao longo da semana (p.ex.: roupas são lavadas às sextas-feiras e, quando necessário, também aos sábados, modificando quantidade e qualidade das águas cinzas), e que os sistemas propostos foram dimensionados e construídos para tratar águas pretas separadas de águas cinzas, planejou-se de maneira distinta as coletas.

5.7.1. Planejamento estatístico para Águas Cinzas

O sistema de tratamento de águas cinzas foi planejado seguindo orientações de Sanguinetto (2009), e a partir dos conhecimentos adquiridos com a construção e evolução de

sistema piloto de banhado construído. Lidando-se com um sistema em escala e funcionamento reais, e agregando ainda o desejo de os moradores ampliarem a reservação de águas de chuva para irrigação, o sistema evoluiu em sucessivas versões.

Utilizando o Statdisk (programa computacional estatístico) para aleatorizar datas, chegou-se à data inicial das análises em 28/09/2009, repetida a cada 15 dias para acompanhamento da evolução do sistema em sua versão 03, recém implantada. Decidiu-se fazer uma coleta e análise anterior à data planejada, de modo a afinarem-se procedimentos e ter-se uma referência inicial do comportamento do sistema. Feita a terceira coleta (12/10/2009), reavaliou-se o planejamento estatístico inicial que acompanharia a evolução do sistema ao longo do tempo, pois a mesma falhava ao não permitir acompanhar as variações ocorridas durante a semana em função dos hábitos dos residentes, com consequente mudança na qualidade dos efluentes (p.ex., picos de afluentes com a lavagem de roupas concentradas nas sextas-feiras e sábados). Redefiniu-se assim o planejamento de modo a se obter coletas e análises a cada dois dias, a partir de 07/11/2009. A Tabela 5.3 mostra as datas de coleta e análise de águas cinzas. Foram coletadas amostras simples respeitando o tempo de detenção hidráulico.

Tabela 5.3. Datas de coleta de amostras e volume medido de águas cinzas.

Coleta	Data Análise	Dia semana	Volume (L.hab.dia ⁻¹)
1	7/11/09	Sábado	276
2	9/11/09	2ª feira	231
3	11/11/09	4ª feira	158
4	13/11/09	6ª feira	170
5	15/11/09	Domingo	173
6	17/11/09	3ª feira	150
	19/11/09	5ª feira	276

5.7.2. Planejamento estatístico para Águas Pretas

Com a intenção de realizar todas as análises no primeiro semestre de 2009 a partir do mês de fevereiro, utilizou-se o programa Statdisk para gerar um número aleatório entre 4 e 27 (total de semanas no primeiro semestre). O número gerado apontou para a semana de 10 a 16 de maio. De modo a facilitar a coleta dos efluentes e sua análise em laboratório, foi definido um intervalo de três dias entre as coletas. Novamente utilizando o Statdisk, buscou-se um número aleatório entre 10 e 16 e iniciaram-se as coletas no dia 12/05/2009. A Tabela 5.4 mostra as datas de coleta definidas. As amostras foram compostas durante 24 horas.

Tabela 5.4. Datas de coleta e volume medido de águas pretas.

Coleta	Data Análise	Dia semana	Volume (L.hab.dia ⁻¹)
1	12/05/09	3a	54
2	15/05/09	6 ^a	75
3	18/05/09	2 ^a	75
4	21/05/09	5 ^a	102
5	24/05/09	Domingo	83

5.8. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

As análises físico-químicas dos efluentes dos sistemas de tratamento implantados em Gaia Terranova, foram realizadas entre os dias 12 e 24 de maio de 2009 para águas pretas, à exceção da análise microbiológica, realizada em 11 de fevereiro de 2010; e 21 de setembro a 19 de novembro de 2009 para águas cinzas. Os parâmetros analisados para as águas cinzas são apresentados na Tabela 5.5, enquanto os parâmetros analisados para as águas pretas são apresentados na Tabela 5.6. Todas as análises foram realizadas em tréplica e executadas conforme descrito em *Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater*, APHA (1998).

Tabela 5.5. Parâmetros, unidade e metodologia de análise das águas cinzas.

Parâmetro	Unidade	Metodologia de análise (número do método no <i>Standard Methods</i>)
Temperatura	°C	Leitura em termômetro (2550)
pH (a 25°C)	-	Método potenciométrico (4500-H ⁺)
Condutividade	MS.cm ⁻¹	Método eletrométrico (2510-B)
Oxigênio Dissolvido (OD)	mL.L ⁻¹	Método do eletrodo (eletrométrico) (4500-O G)
Turbidez	UNT	Método nephelométrico (2130)
Alcalinidade	mgCaCO ₃ .L ⁻¹	Método da titulação potenciométrica com ácido (2320)
DQO	mgO ₂ .L ⁻¹	Método do refluxo do dicromato de potássio (5220-D)
Sólidos Sedimentáveis	mL.L ⁻¹	Método volumétrico (2540-F)
Sólidos Totais	mg.L	Método gravimétrico (2540-B)
Sólidos Suspensos e Dissolvidos	mg.L	Método gravimétrico (2540-D e 2540-C)

Tabela 5.6. Parâmetros, unidade e metodologia de análise das águas pretas.

Parâmetro	Unidade	Metodologia de análise (número do método no <i>Standard Methods</i>)
pH (a 25°C)	-	Método potenciométrico (4500-H ⁺)
Condutividade	MS.cm ⁻¹	Método eletrométrico (2510-B)
Turbidez	UNT	Método nephelométrico (2130)
Alcalinidade	mgCaCO ₃ .L ⁻¹	Método da titulação potenciométrica com ácido (2320)
DQO	mgO ₂ .L ⁻¹	Método do refluxo do dicromato de potássio (5220-D)
Sólidos Sedimentáveis	mL.L ⁻¹	Método volumétrico (2540-F)
Sólidos Totais	mg.L	Método gravimétrico (2540-B)
Sólidos Suspensos e Dissolvidos	mg.L	Método gravimétrico (2540-D e 2540-C)
Coliformes totais e fecais (termotolerantes)	NMP/100mL	Método do substrato definido/Colillert Quanti-Tray 2000 (9223)

As amostras de águas cinzas foram coletadas após o filtro, em B1, na entrada do sistema (B2), após o banhado (B3), na saída da lagoa multifuncional 1 (LM1), como mostra a Figura 5.10, e nas lagoas multifuncionais 2 e 3 (LM2 e LM3), como mostra a Figura 5.11. A Figura 5.12 traz um apanhado geral do sistema.

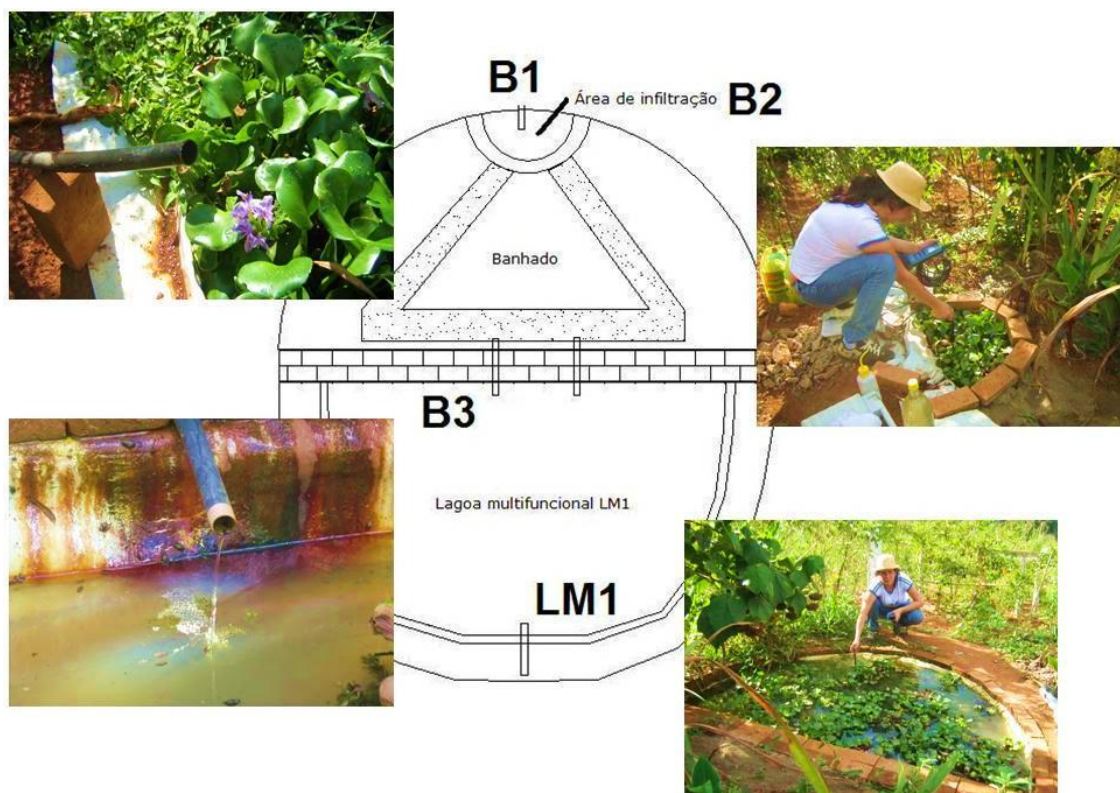


Figura 5.10. Pontos de coleta de águas cinzas: B1,B2, B3 e LM1.

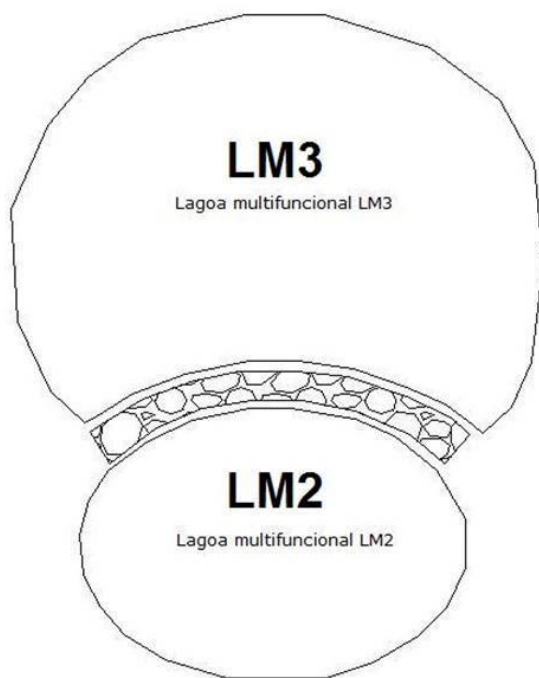


Figura 5.11. Pontos de coleta de águas cinzas: LM2 e LM3

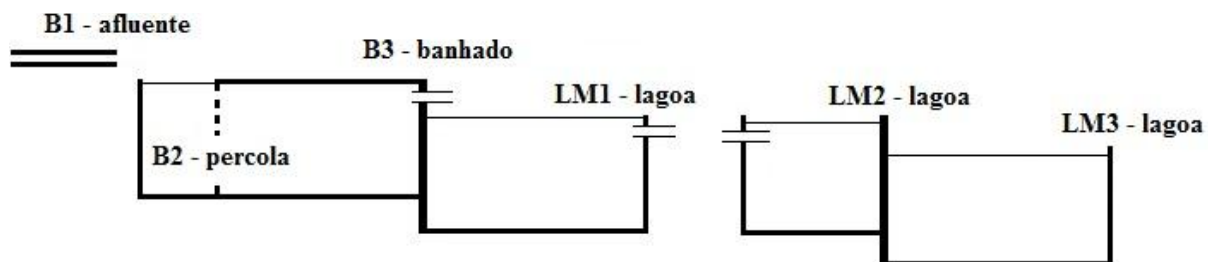


Figura 5.12. Apanhado geral do sistema.

As amostras de águas pretas foram coletadas na entrada (N1) do sistema de tratamento, após a segunda câmara (N2) e após o banhado construído (N3), como mostram as Figuras 5.13.

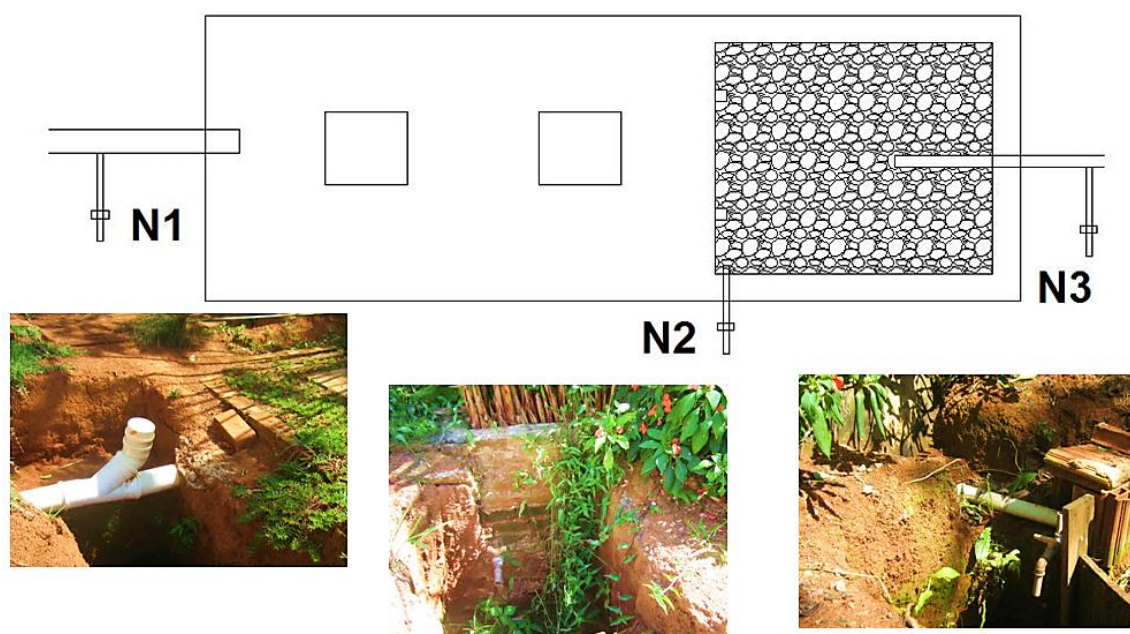


Figura 5.13. Pontos de coleta de águas pretas: N1, N2 e N3

Os dados obtidos com as análises foram inicialmente avaliados com auxílio do programa *Excell*, primeiramente buscando por sua normalidade e logo por eventuais *outliers*. Identificados *outliers*, tomou-se uma decisão em relação a duas opções:

- a) **Manter os dados** – sendo expressão de variações reais, como por exemplo chuvas que interferiram na turbidez do efluente dos banhados e ciclos menstruais que possivelmente interferiram na DQO de entrada do sistema de águas pretas, os mesmos foram mantidos. Nesse caso, foram feitas análises com e sem o outlier de modo a conhecermos sua influência no sistema;
- b) **Eliminar os dados** – erros de mensuração, transcrição ou interpretação ficaram evidentes ao comparar dentre as tréplicas, aqueles dados que fugiam muito de sua média, sendo, portanto, eliminados.

Com os dados obtidos do monitoramento, foram calculadas a média das tréplicas e a média das médias. A primeira, ao longo do tempo mostra um retrato do funcionamento do sistema no período analisado e a segunda sugere a média de funcionamento de todo sistema. Utilizando o *Excell* calculou-se a média das médias, desvio padrão e intervalo de confiança.

Lembrando que, em se tratando de efluentes domésticos um intervalo de confiança de 90% ou 95% seriam plenamente aceitáveis, optamos por um valor muito superior, de 99% ($\alpha = 0,01$), a partir do qual calculou-se o limite superior do intervalo, incicando assim, com 99% de confiança, a verdadeira média populacional esperada para cada um dos parâmetros analisados. Finalmente, o valor superior desse limite foi comparado com as normas vigentes de modo a conhecer-se o enquadramento do efluente final.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *Design* Ecológico é ainda muito recente no país e não foram encontrados cursos de graduação ou pós-graduação, no Brasil, que ofereçam programas nessa área. Mesmo no exterior, algumas faculdades oferecem formação apenas na graduação, e muitas vezes como disciplinas em cursos de engenharia, ecologia e, principalmente, artes e arquitetura. Despontam alguns mestrados na Europa e Estados Unidos e não se conseguiu identificar programas de doutorado com essa linha de pesquisa.

Considera-se, dessa forma, que o presente trabalho tem algo a contribuir nesse campo, visto ser o Brasil um país tropical, com generosa biodiversidade – de resto pouco estudada em sua plena potencialidade –, e que pode gerar soluções locais e globais, ao aprender e incorporar o conhecimento dos padrões tecidos pela vida como fontes de novos conhecimentos, soluções, produtos e serviços.

A sustentabilidade ambiental, econômica e legal para a proposta das tecnologias vivas de tratamento de efluentes domésticos com reúso das águas, foi um trabalho longo, tanto de aprendizado teórico, técnico-científico, como prático e vivencial, cujos principais resultados são assim resumidos:

- A sustentabilidade ambiental foi medida em relação ao diâmetro de pseudocaulis de linha de bananeiras recebendo ou não efluentes tratados, resultando em um crescimento 5 vezes maior para a linha receptora; e avaliação visual de áreas onde Gaia Terranova evoluiu 88,4% entre meados de 2007 e meados de 2009.
- A sustentabilidade econômica foi medida comparando-se o valor gasto na construção, operação e manutenção anual dos sistemas de tratamento de águas cinzas e pretas, com aqueles valores obtidos dos sistemas ou economizados ao longo de sua vida útil presumida, citando, dentre outros: gastos evitados na construção de sistemas centralizados de tratamento, economia de água para irrigação, produção direta e indireta de alimentos de base orgânica e serviços ambientais prestados por ecossistemas locais. Dessa forma, para um investimento de R\$ 2.033,54 estimou-se obter, ao longo de 25 anos, o equivalente a R\$ 78.282,36, o que representa um retorno sobre o investimento de 33,54 vezes.
- Em relação à sustentabilidade legal, para cada parâmetro analisado trabalhou-se, via de regra, com os limites superiores de Intervalos de Confiança de 99%, comparando-

se os resultados obtidos nas análises com aqueles das normas legais (Resolução No. 357/2005 do CONAMA e Deliberação Normativa No. 1/2008 do COPAM/CERH-MG), tanto para o lançamento de efluentes como aqueles mais restritivos, presentes em águas de Classe 1 (note-se que não se desejou em momento algum obter-se efluentes compatíveis com águas de Classe 1, tomando-se os indicadores destas apenas como referenciais para comparação, já que são mais restritivos em relação àqueles para lançamento).

6.1. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Uma das questões levantadas no presente estudo é em relação à sustentabilidade ambiental. Tem-se aqui que, do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade se dá por meio, dentre outras, pela: (i) redução no consumo de água e consequente redução na produção de esgotos; (ii) correto tratamento e destinação dos esgotos, com recuperação e utilização dos nutrientes presentes nos efluentes para a recuperação de solos degradados e produção de alimentos; (iii) ampliação da biodiversidade local, propiciada pelo aumento da matéria orgânica e nutrientes disponíveis no sistema, bem como o estabelecimento de redes e teias de relações tornando o ambiente mais resiliente. Além de uma medida puramente observacional, empírica, evidenciada pelas imagens mostrando a evolução dos sistemas e seus em tornos, outra de caráter experimental foi planejada, buscando (iv) mensurar o crescimento de bananeiras receptoras ou não de águas pretas tratadas por tecnologia viva; e (v) avaliação visual de áreas em Gaia Terranova, baseada em trabalho desenvolvido por Melloni em seu doutorado, descrito em artigo publicado na Revista Brasileira de Ciências do Solo (MELLONI, 2008) e apresentado em disciplina oferecida no Curso de Especialização em Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CEMARH da UNIFEI, em 2007.

Melloni (2007), durante seu doutorado, aprimorou matriz de avaliação visual da qualidade dos solos de modo a permitir análises simplificadas de campo em relação à qualidade visual de áreas, trabalho apresentado aos alunos do Instituto de Recursos Naturais – IRN, da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, durante o Curso de Especialização em Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CEMARH de 2007. A matriz proposta é composta por vários parâmetros de qualidade: erosão, compactação, fauna do solo, índice de cobertura, índice de diversidade, porte/estratificação, vigor da vegetação, sucessão na vegetação,

quantidade de serrapilheira, decomposição da serrapilheira, incorporação da serrapilheira no solo e fauna. A cada parâmetro os pesquisadores atribuem uma nota, de acordo com sua percepção e em sintonia com elementos comparativos previamente apresentados, de modo a partirem todos de elementos comuns de aferição. As notas ponderadas são então somadas e uma média geral é obtida para uma determinada área. O trabalho de campo tem início com a visita e avaliação de uma área considerada de melhor preservação, um fragmento de mata pouco alterado, por exemplo, que representaria o máximo a que um ecossistema florestal poderia atingir naquele local. Em seguida os pesquisadores fazem avaliações em outras áreas de interesse, obtendo-se para cada área uma nota final, ou índice de qualidade relativa e os resultados finais são comparados em relação à área controle ou entre si.

Em se tratando de recursos hídricos, o consumo racionalizado de água e seu reúso para fins múltiplos, representa grande passo em direção à sustentabilidade. Um consumo menor representa:

- Menor produção de esgotos, refletindo em termos de saúde ambiental e social;
- Redução de investimentos em estações de tratamento de esgotos e estações de tratamento água;
- Redução da utilização de produtos químicos em estações de tratamento convencionais;
- Redução do desperdícios no sistema;
- Redução das necessidades crescentes de captação, reservação e distribuição de água;
- Manutenção e/ou ampliação dos níveis dos lençóis freáticos;
- Manutenção das qualidades e serviços ambientais de bacias hidrográficas emissoras e receptoras, dentre várias outras.

A NBR 07229 (ABNT, 1993) propõe que se considere para o dimensionamento de sistemas de tratamento de esgotos, uma contribuição de 130 litros.pessoa.dia⁻¹ (L.p.d⁻¹), considerando habitações de padrão médio, como a residência em estudo de Gaia Terranova.

Como visto, a família, ao construir a residência, optou por equipamentos economizadores de água, disponíveis no comércio local: torneiras com arejadores e caixas acopladas às bacias sanitárias com descarga de 6 litros. Dado ainda a característica de pertencerem ao grupo de consumidores conscientes (AKATU, 2007), existe entre os moradores um combinado de acionar a decarga em sua totalidade apenas para a eliminação de

sólidos, acionando levemente a descarga quando para diluição de urina. Outra característica da família é o hábito de reservar água da máquina de lavar para usos menos nobres, como limpeza de chão, por exemplo (nos dias de medição, toda água da casa seguiu para as tecnologias vivas e não houve tal reservação). Como resultado, temos uma produção reduzida de esgotos, refletindo um consumo reduzido de água, como mostra a Tabela 6.1 e a Figura 6.2.

Tabela 6.1. Produção de esgotos em Gaia Terranova (L.p.d⁻¹).

	Total	Águas Cinzas	Águas Pretas
Média	94,85	67,36	30,67
DP	20,52	18,23	10,29
IC 99%	22,95	16,35	11,51
Limite superior	117,80	83,71	42,18

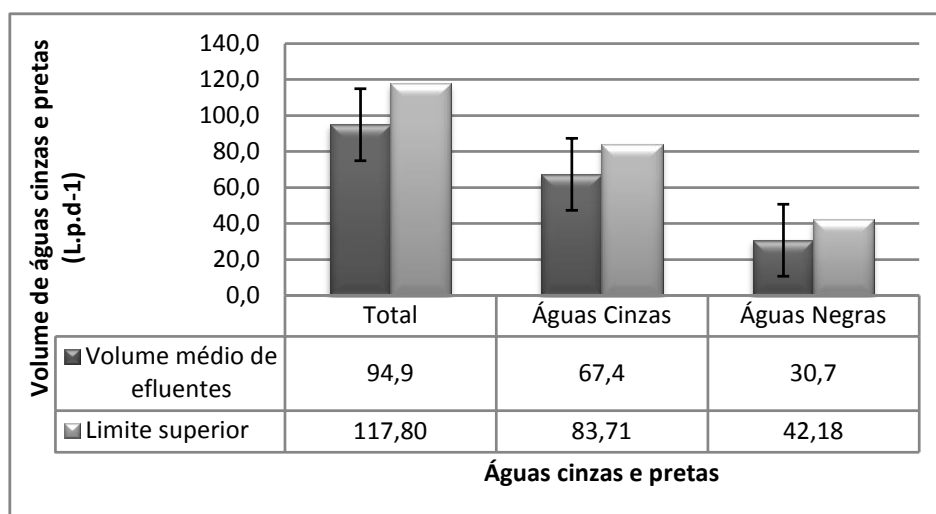


Figura 6.2. Produção média de esgotos, desvio padrão e limite superior (IC = 99%).

A produção total de esgotos, medida pelo volume de águas cinzas e pretas oriundas da residência, teve uma média de 94,9 litros por pessoa por dia, 73% do valor preconizado pela norma. Em outras palavras, houve no período uma economia média de 27% de água, valor nada desprezível quando se busca por modelos de vida mais sustentáveis, ou considerando um $\alpha = 0,01$, uma economia próxima a 10%. Todo esgoto produzido foi mantido na propriedade, sendo tratado pelas tecnologias vivas e reutilizados na produção de alimentos e irrigação, eliminando a poluição e contaminação na bacia hidrográfica e ecossistemas locais, aproximando assim a tecnologia viva de um sistema sustentável.

Embora entendendo que as descrições que seguem poderiam fazer parte de Material e Métodos, optou-se aqui em apresentá-las em Resultados e Discussão de modo a facilitar a visualização do leitor em relação à evolução dos sistemas e a expressão do fractal metodológico, o que implicou em constante reflexão por parte do autor e rearranjos diversos dos sistemas de modo a torná-los mais eficientes.

6.1.1. Sistema 1: piloto de banhado construído – monitoramento e evolução

A Figura 6.3 mostra um esboço do filtro e banhado construído. O filtro tem a função de retenção de material mais grosseiro (restos de alimentos, gorduras, materiais diversos). Preenchido com pedra brita N^o. 1 tem área aproximada de $0,45\text{m}^2$, com volume aproximado de $0,18\text{m}^3$. Considerando uma porosidade média de 0,58, tem-se um volume útil (águas cinzas) de aproximadamente 54 litros. O banhado construído tem em sua parte mais estreita $3,20\text{m}$ e largura de 4m , com área aproximada de 6m^2 e volume preenchido aproximado de $1,46\text{m}^3$ de entulho peneirado (composto por areia, terra, massa de cimento e material grosseiro). Considerando uma porosidade de 0,50, tem-se um volume passível de ser preenchido por águas cinzas de aproximadamente 730 litros.

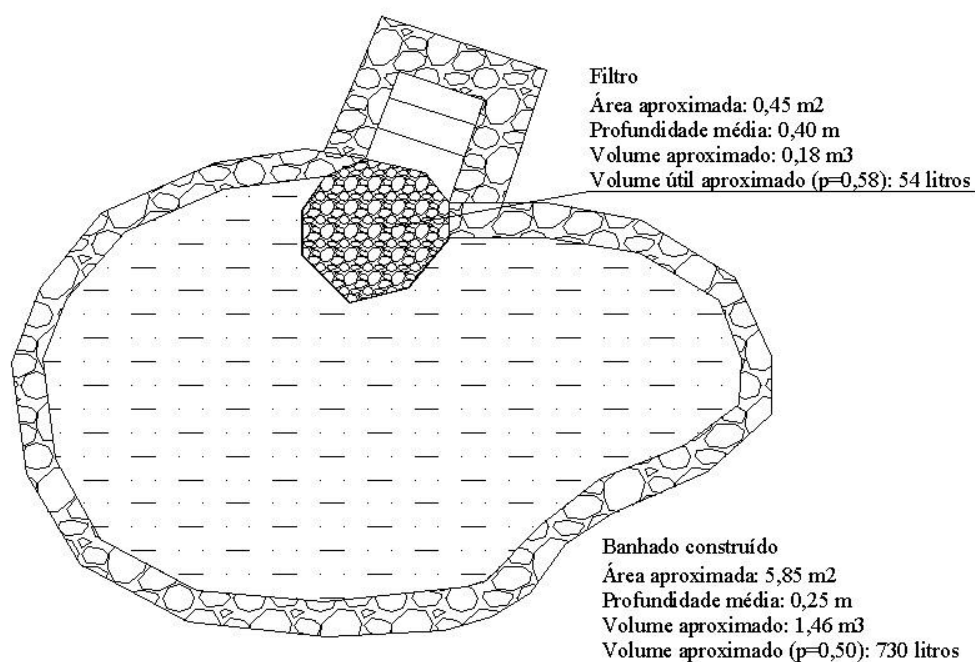


Figura 6.3. Esboço do Sistema 1, Piloto de Banhado Construído - BC (wetland).

A soma do filtro mais o banhado construído totaliza uma capacidade útil estimada de 784 litros. Sendo o afluente fracionado em águas pretas e cinzas, estimou-se

(SANGUINETTO, 2009), um aporte médio de 100 litros/pessoa/dia de águas cinzas para este primeiro banhado, com tempo teórico de detenção hidráulica variando entre 1,7 e 2,1 dias (considerando 5 e 4 pessoas respectivamente).

No sistema foram plantadas espécies coletadas em banhado natural no Bairro do Rebourgeon, Itajubá, MG. O local foi escolhido por apresentar grande aglomeração de residências e, sendo área de drenagem natural da microbacia, inferiu-se que o mesmo recebe efluentes das residências próximas. A presença (não comprovada) de esgotos no banhado intensifica o desenvolvimento de microrganismos que se alimentam dos nutrientes presentes nestes efluentes, bem como tende a selecionar ou promover maior adaptação de plantas a estas condições. Algumas espécies vegetais identificadas são: aguapé (*Eichornia* sp.), lírio do brejo (*Hedychium* sp.), biri amarelo e biri vermelho (*Canna x generalis*), papiro (*Cyperus papyrus*), taboa (*Thypha* sp.). A Figura 6.4 mostra o sistema em sua fase inicial (janeiro de 2008), após três meses (março de 2008), e após 12 meses (dezembro de 2008).



(a) Início de janeiro de 2008.



(b) Final de março de 2008.



(c) Dezembro de 2008



(d) Dezembro de 2008

Figura 6.4. Evolução do banhado piloto de janeiro a dezembro de 2008.

Muitos foram os aprendizados com esse sistema piloto, podendo relacionar os principais:

- Dimensionamento – lançou as bases para um dimensionamento mais adequados das tecnologias vivas posteriores, por exemplo, em relação ao tempo de detenção hidráulica, que se dá em função da produção efetiva de efluentes, bastante diferente nesse caso, daquela adotada pela ABNT;
- Odores – intervenções no sistema mostraram que os maus odores são eliminados mantendo os efluentes abaixo da superfície. Com o desenvolvimento das plantas, mesmo com o efluente atingindo a superfície o odor desagradável é eliminado, mostrando que existem relações ainda não esclarecidas entre a cobertura vegetal e a eliminação de odores desagradáveis;
- Gestão de resíduos – o meio filtrante ou “solo” utilizado foi entulho de obra peneirado, dando destino nobre ao que seria descartado como material inerte em lixões e aterros sanitários;
- Paisagismo – o trabalho com plantas diversas, a maioria com flores, melhorou o aspecto de “deserto verde” do local, composto até então por cobertura de gramíneas do tipo brachiária, trazendo riqueza visual com detalhes de cores, texturas, aromas e formas.
- Biodiversidade – abelhas, pássaros, minhocas, larvas, insetos, borboletas e pequenos animais passaram a visitar a tecnologia viva, obtendo alimento, trazendo e levando sementes diversas e enchendo o ambiente com novos sons e cores;
- Teias de relações – insetos colocando seus ovos deram origem a larvas diversas que serviram de alimento para pássaros; flores ofereceram seiva e pólen, atraindo abelhas e borboletas, cujos ovos viraram lagartas atraindo mais pássaros; alimentados, os pássaros contribuíram com excretas contendo sementes vindas de outros locais, dando origem a diversas espécies desconhecidas no sistema inicial; pessoas visitaram o local aprendendo que parte de seus resíduos poderiam gerar vida ao invés de poluir e contaminar corpos d’água, solos e atmosfera.

6.1.2. Sistema 2: filtro, banhado construído (BC) e lagoa multifuncional 1 (LM1)

O sistema de águas cinzas é composto por uma caixa de filtragem por onde passa a água antes de ser coletada em pequeno tanque de metal (tambor de 200 litros utilizado para medição de volume). Desse coletor (posteriormente desativado), a água segue por gravidade até pequeno charco construído seguido de lagoa de polimento, chamada Lagoa Multifuncional 1 (ver 5.2.2.2), de onde segue por mangueira a duas outras pequenas lagoas (Lagoas Multifuncionais 2 e 3 – ver 5.2.3), construídas na parte mais baixa do terreno, servindo como reserva de água para sistema agroflorestal em desenvolvimento e polidores dos efluentes.

De janeiro de 2008 a abril de 2009 várias intervenções foram realizadas no sistema de modo a adequá-lo, principalmente, a aspectos paisagísticos, sensitivos (odores), culturais (aceitação) e de eficiência. Projetado para ser um banhado de fluxo horizontal subsuperficial, logo o volume afluente se mostrou demasiado em horários de pico, levando a áreas de alagamento superficial, exalando mau odor. A situação foi facilmente resolvida acrescentando-se mais material de preenchimento (entulho peneirado), fazendo com que o nível da água se mantivesse abaixo da superfície, eliminando o odor.

Zanella (2008) reporta em seus experimentos, que a perda de água por evapotranspiração foi de 48,4% para *wetland* construída de leito de brita vegetado com papiro, 52,5% de perda em *wetland* construída com leito de brita e plantas mistas, 41,9% para sistema construído com leito de bambu e vegetado com papiro e 35,7% para tanque com leito de bambu e plantas mistas.

Dessa forma, a evolução do banhado, com o crescimento de vegetação diversificada utilizando constantemente água e nutrientes, juntamente com a evapotranspiração do sistema certamente contribuiu para manter o nível de água abaixo da superfície e, quando ocorriam momentos de sobrecarga do sistema, o sombreamento da vegetação sobre a água ou a densidade da mesma parece ter influenciado de maneira decisiva para a não ocorrência de odores desagradáveis. Ambas inferências, no entanto, necessitam maior aprofundamento para eventual confirmação.

Filtro – construção, monitoramento e evolução

Construído à partir de caixa d'água reaproveitada, o filtro tem três diferentes camadas, separadas por sacos plásticos trançados: entulho de obra com espessura de aproximadamente 0,30m, areia média-grossa (0,15m) e pedra brita n. 1 (0,15), como mostra a Figura 6.5. A

função desse filtro, trabalhando com fluxo descendente, é a retenção de material particulado mais grosseiro (cabelos, restos de alimentos, óleos, etc.). Adotando uma porosidade média de 0,50 (estimada como média entre as diferentes camadas), tem-se a possibilidade de retenção de 250 litros de efluentes. Essa retenção faria com que o filtro funcionasse também como um digestor, mas optou-se por sua função de filtragem apenas, instalando cano de drenagem na base da caixa, impedindo o acúmulo de afluente.

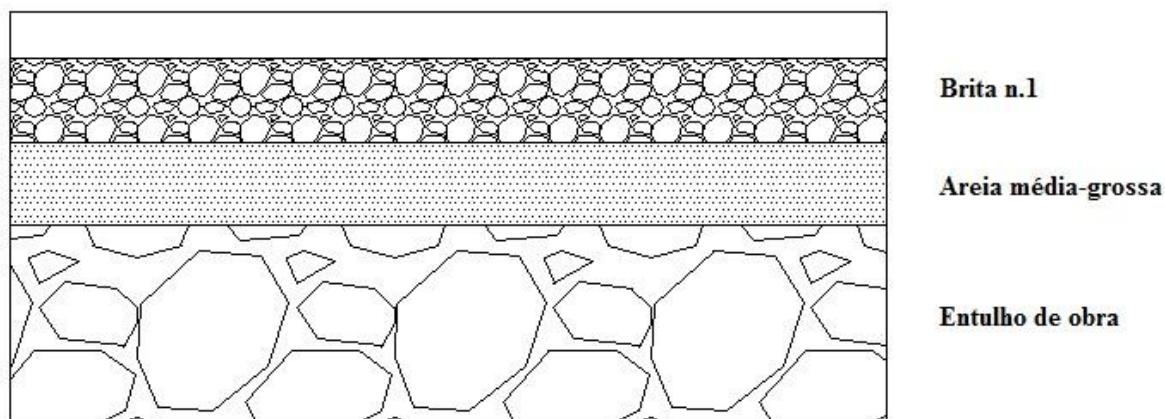


Figura 6.5. Esboço do filtro.

A retenção da água se faz logo em seguida, utilizando tambor metálico de 200 litros, reaproveitado da obra. A função inicial era armazenar água para ser usada na rega direta de árvores do terreno e, logo, percebeu-se que esse reservatório adquiria uma função pedagógica, permitindo aos moradores visualizar o consumo de água da casa, estímulo à reflexão sobre consumo e racionalização do uso da água. Por permanecer estocada por aproximadamente 24 horas, o rápido desenvolvimento de microrganismos auxiliava na pré-digestão do efluente.

Na superfície do filtro foram transplantadas espécies retiradas do banhado piloto: aguapé (*Eichornia sp.*), lírio do brejo (*Hedychium sp.*), biri amarelo e biri vermelho (*Canna x generalis*), taboa (*Thypha sp.*). A figura 6.6 mostra as etapas de construção do filtro.



(a) reaproveitamento de caixa d'água obtida em ferro velho e sobras de material de construção.



(b) reutilização de sacos de farinha de trigo como material de separação entre camadas de diferentes materiais.



(c) preenchimento com pedra brita no. 1.



(d) preenchimento com solo.



(e) tanque de reserva de água.
Figura 6.6. Construção do filtro.



(f) tambor metálico reaproveitado da obra.

O monitoramento visual do sistema foi constante nos primeiros dias e semanas e aos dois meses de uso (junho de 2008), percebeu-se forte colmatção do solo superficial do filtro, causando um colapso no sistema e diminuindo sensivelmente sua capacidade de filtragem

(Figuras 6.7). Foram feitos testes com diferentes arranjos do sistema, incluindo perfurações na malha plástica trançada que separa as diferentes camadas de material filtrante.



Junho 2008



Junho 2008



Junho 2008



Julho 2008

Figura 6.7. Evolução e colmatção do filtro.

Finalmente, o solo superficial foi retirado e substituído por areia média-grossa e posteriormente, no centro do filtro, utilizou-se pedras maiores diretamente sobre a malha plástica (Figura 6.8), cercando-as com plantas que evoluíram de maneira bastante vigorosa de agosto de 2008 a junho de 2009 (Figura 6.9). Durante esse período podas esporádicas foram feitas de modo a manter o sistema com aspecto paisagístico agradável.



Agosto 2008

Figura 6.8. Rearranjo do filtro.



Outubro 2008



Fevereiro 2009

Figura 6.9. Evolução do filtro.



Fevereiro 2009

Em junho de 2009 o filtro começou a apresentar forte redução na capacidade filtrante e uma primeira inspeção mostrou intenso crescimento de raízes, principalmente de papiro e lírio-do-brejo, que tomaram quase que completamente a superfície do mesmo (Figura 6.10). Isso fez com que houvesse uma drástica intervenção, eliminando as plantas de raízes mais robustas por outras com sistema radicular menos agressivo/vigoroso, composto principalmente por plantas rasteiras (Figuras 6.11) como hortelã (*Mentha sp.*), capuchinha (*Tropaeolum sp.*) e margaridinha (*Wedelia sp.*), que evoluíram muito bem no sistema e o recobriram totalmente em pouco tempo.



Junho 2009



Junho 2009

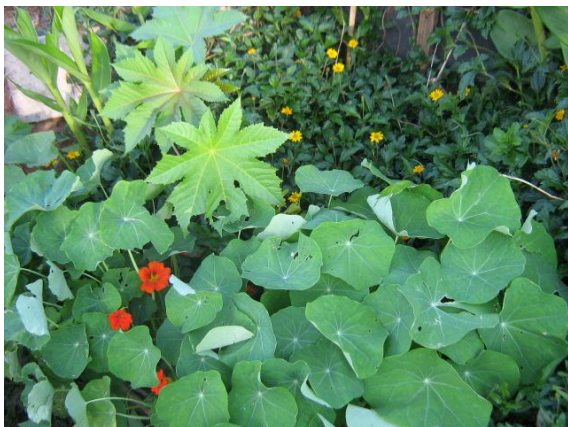
Figura 6.10. Raízes recobrindo o filtro.



Julho 2009



Julho de 2009



Setembro de 2009



Setembro de 2009

Figura 6.11. Intervenção no filtro e evolução de novas plantas.

Banhado construído e lagoa multifuncional 1 – construção, monitoramento e evolução

A partir de setembro de 2008 não foi mais utilizado o tanque de armazenamento para recepção do efluente filtrado, passando-se a conduzi-lo para o sistema de banhado construído de fluxo subsuperficial seguido de lagoa de polimento, chamado de lagoa multifuncional 1 ou LM1 (Figura 6.12). Essa nomenclatura (multifuncional) foi adotada por entender-se que a função dessa lagoa extrapola a função convencional da lagoa de polimento, pois se deseja criar um ambiente que (MOLLISON, 1994):

- Execute múltiplas funções;
- Contenha recursos biológicos;
- Promova ciclagem de energia e matéria;
- Seja um sistema intensivo em pequena escala; e
- Promova a diversidade e efeitos de borda.

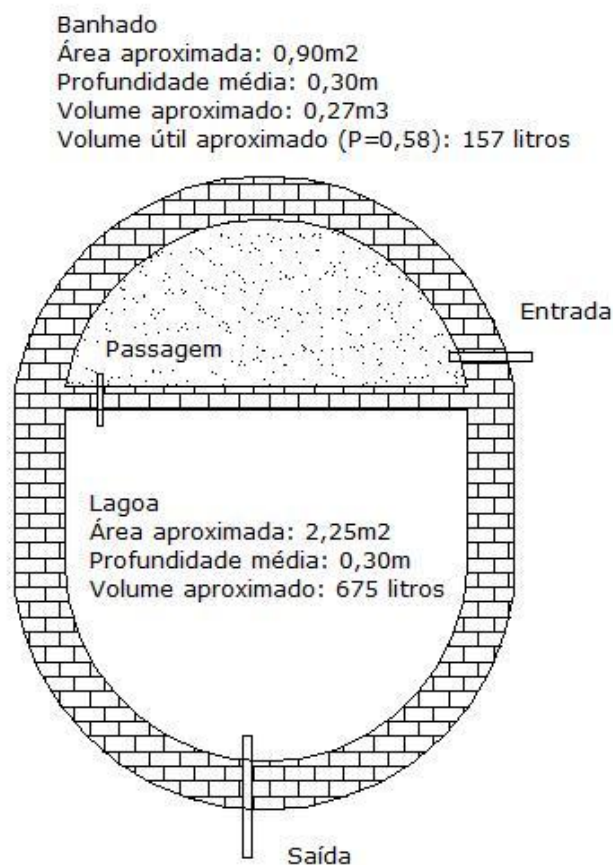


Figura 6.12. Banhado construído seguido de lagoa de maturação. Esboço da Versão 01.

Com área aproximada de $0,90\text{m}^2$ do banhado foi possível fazer o tratamento primário das águas cinzas de setembro a novembro de 2008, período de crescimento vigoroso das plantas (Figuras 6.13). O volume estimado de reservação da LM1, funcionando como tratamento secundário era de aproximadamente 675 litros. Somando o volume útil de 157 litros do banhado, o volume total do sistema era de 832 litros, com tempo de detenção hidráulica estimado de 4 dias.



Setembro 2008



Setembro 2008



Setembro 2008



Setembro 2008



Novembro de 2008



Novembro de 2008

Figura 6.13. Evolução do banhado construído e lagoa multifuncional 1.

Funcionando o banhado de maneira adequada, ou seja, sem apresentar colmatção, obstrução do fluxo, sem odores e com resultados visuais dentro do esperado (água mais clara e sem partículas após o banhado), resolveu-se ampliar a capacidade de reservação da lagoa multifuncional 1 (LM1), fazendo uma primeira intervenção no sistema, como mostra a Figura 6.14. Aumentando essa capacidade ampliou-se tanto o tempo de detenção hidráulica, influenciando diretamente na melhoria da qualidade do tratamento, como a umidade relativa do ar, modificando o microclima local e ampliando as possibilidades de novos ambientes propícios à diversificação de vida.

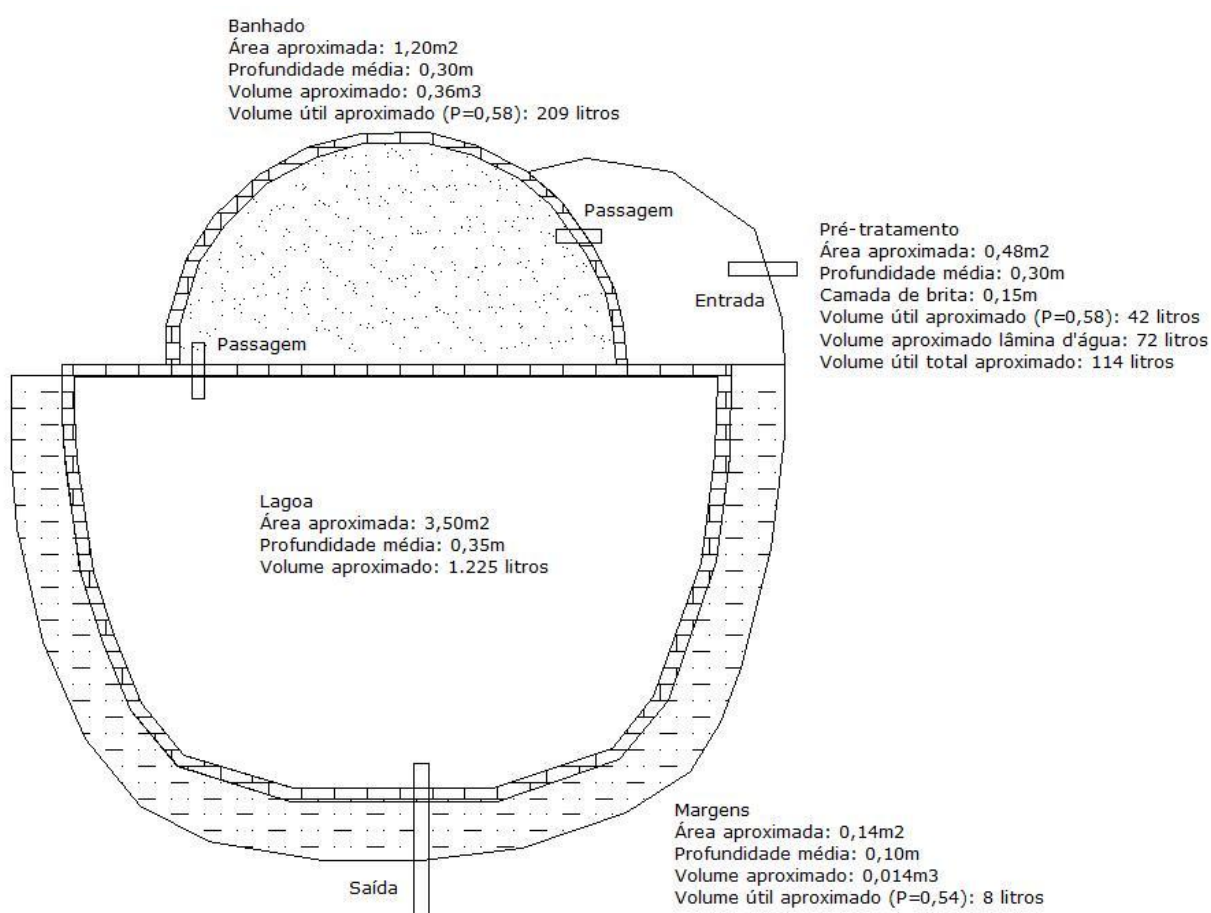


Figura 6.14. Banhado construído seguido de lagoa de maturação. Esboço da Versão 02.

Optou-se ainda por trazer para perto do banhado a função exercida no sistema pelo tambor de reservação junto ao filtro. Para isso, instalou-se pequena lagoa de pré-tratamento acrescentando pedra brita N^o. 1 e aguapés (*Eichhornia crassipes*) para uma primeira filtragem. Observando a evolução desse primeiro tanque, notou-se que os aguapés tiveram um

crescimento de 4 a 5 vezes maior que aqueles da lagoa. As águas bastante escuras desse primeiro tanque tendiam a liberar maus odores em dias mais quentes que, no entanto, só eram percebidos a um ou dois metros de distância. Com o crescimento dos aguapés essa situação foi bastante controlada e algum odor só era percebido quando muito próximo do tanque.

Como forma de otimizar o aproveitamento da água e nutrientes do efluente, em volta de toda lagoa, com largura média de 0,30 m e altura de 0,10 m, foi feito rebaixo do solo de modo que o nível máximo de água tivesse nesse ponto uma lâmina de um a dois centímetros. Recoberta a lona plástica com a terra local, separada da lagoa por fileira de tijolos, foi construído um banhado margeando toda lagoa, onde foram plantados lírio-do-brejo (*Hedychium spp*) e algumas gramíneas não identificadas (Figura 6.15).

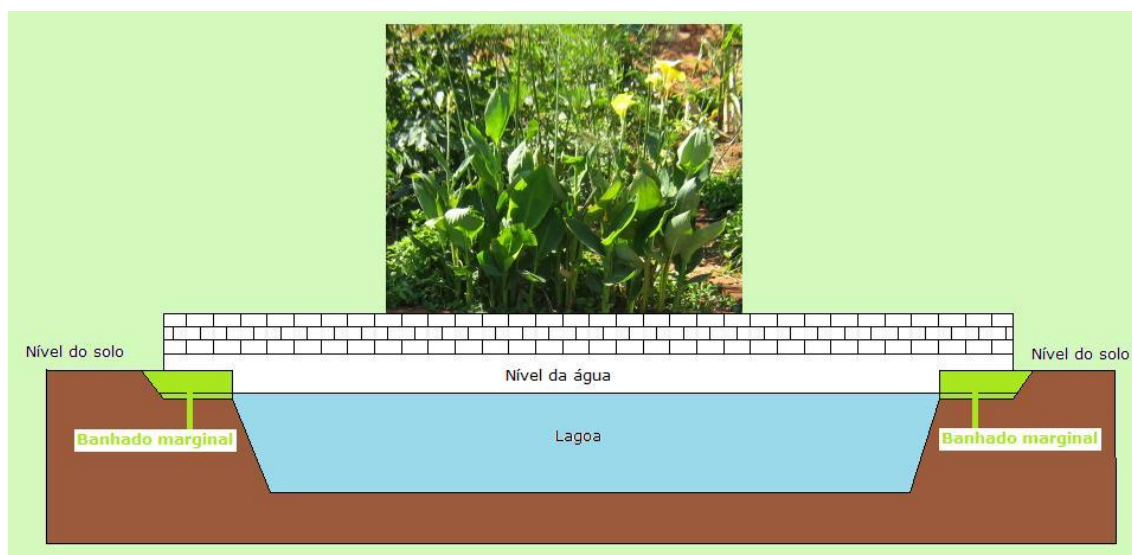


Figura 6.15. Corte transversal esquemático da lagoa de maturação mostrando o banhado marginal

A observação da evolução do sistema mostrou não só um rápido crescimento das plantas, como também a atração de muitos e variados pássaros que vinham beber das águas da lagoa, e ainda anfíbios que fizeram do lugar sua moradia. Estes dois grupos serviram de indicadores biológicos (principalmente os anfíbios) de que o sistema como um todo estava funcionando de maneira adequada. A atração de pássaros diurnos e possivelmente pequenos animais noturnos (roedores, morcegos), a ação dos elementos naturais como chuva e vento, poderiam explicar o surgimento de espécies não intencionalmente introduzidas, que encontraram no sistema banhado-lagoa-margem ambientes favoráveis para seu

estabelecimento e desenvolvimento. A Figura 6.16 mostra a evolução do local entre os meses de dezembro de 2008 e fevereiro de 2009 (época das águas na região).



Dezembro de 2008



Dezembro de 2008



Fevereiro de 2009



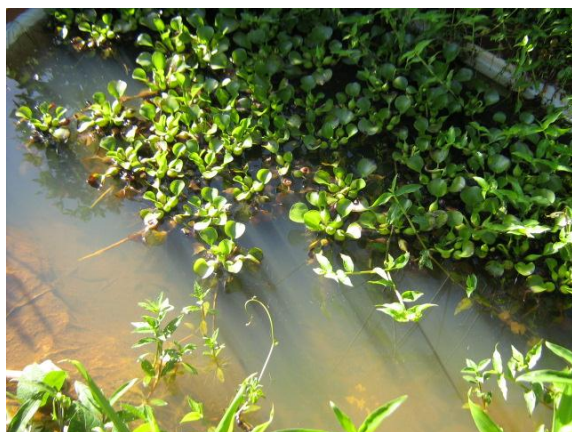
Fevereiro de 2009

Figura 6.16. Evolução do banhado e lagoa multifuncional 1.

Observando a evolução e a presença de organismos indicando o aumento da qualidade dos sistemas projetados, decidiu-se por colocar alguns peixes na lagoa a partir de janeiro de 2009. A espécie escolhida foi a tilápia (*Tilapia sp.*), já aclimatadas em lagoas de outra parte do terreno (ver lagoas multifuncionais no item 5.2.3) por ser considerada bastante resistente a águas com baixo teor de oxigênio (Figura 6.17).

Não dispondo de equipamentos de análise da qualidade das águas, as populações-alvo deste trabalho (sítios, fazendas, chácaras, pousadas, comunidades rurais, novos assentamentos periurbanos) podem se beneficiar da observação de alguns elementos chave nos ecossistemas, como a presença de anfíbios que indicam certa qualidade e estabilidade do sistema onde são encontrados, uma vez que, sendo anfíbios, estes organismos necessitam de condições

adequadas no solo, água e ar de modo a cumprirem cada etapa de seu desenvolvimento. Desequilíbrios em quaisquer desses níveis, como o aumento de elementos tóxicos, poluentes ou contaminantes podem levar à extinção dessas espécies, indicando grave desequilíbrio no local. Sua presença indica, por outro lado, certo equilíbrio e qualidade ambiental local. Também a presença e o desenvolvimento de peixes em um corpo d'água indicam, por exemplo, níveis mínimos de oxigênio dissolvido, sem o que não poderiam sobreviver. O oxigênio é um elemento químico altamente reativo, contribuindo tanto para a eliminação de muitos organismos de potencial patogênico quanto para a decomposição de matéria orgânica dissolvida na água. Os nutrientes liberados são essenciais para o desenvolvimento de fito e zooplâncton que, por sua vez, são o alimento de muitas espécies de organismos, incluindo peixes como a tilápia. O crescimento destes implica em liberação de novos resíduos que se transformam em nutrientes, tecendo redes cada vez mais intensas e complexas que formam a base de ecossistemas cada vez mais resistentes e biodiversos.



Fevereiro de 2009



Fevereiro de 2009

Figura 6.17. Lagoas multifuncionais mostrando tilápias à superfície.

Findo o período das chuvas que favorecem o rápido crescimento das plantas, a partir de maio de 2009 percebeu-se que o banhado construído já não atendia satisfatoriamente à finalidade de tratamento das águas cinzas. A observação do sistema mostrou que o crescimento exagerado do papiro havia quase que completamente eliminado outras espécies e o emaranhado de suas raízes (Figura 6.18) agora dificultavam o fluxo subsuperficial do efluente. Em uma área mais ampla e projetando um sistema também com fluxo superficial, esse emaranhado de raízes traria novos benefícios ao atuar também como filtro.



(a) Junho 2009



(b) Junho 2009

Figura 6.18. Banhado tomado por papiro (a) e emaranhado de raízes (b).

Havendo necessidade de manejo, optou-se pela retirada do papiro (como aconteceu no filtro), para colocar em seu lugar plantas com sistema radicular menos agressivo, querendo com isto ampliar o tempo necessário para manutenção do sistema. Ao mesmo tempo, com o trabalho de Sanguinetto (2009) já disponível, foram refeitos os cálculos de área necessária para o banhado e uma terceira modificação do sistema foi feita, como mostra a Figura 6.19 e a sequencia de imagens da Figura 6.20.

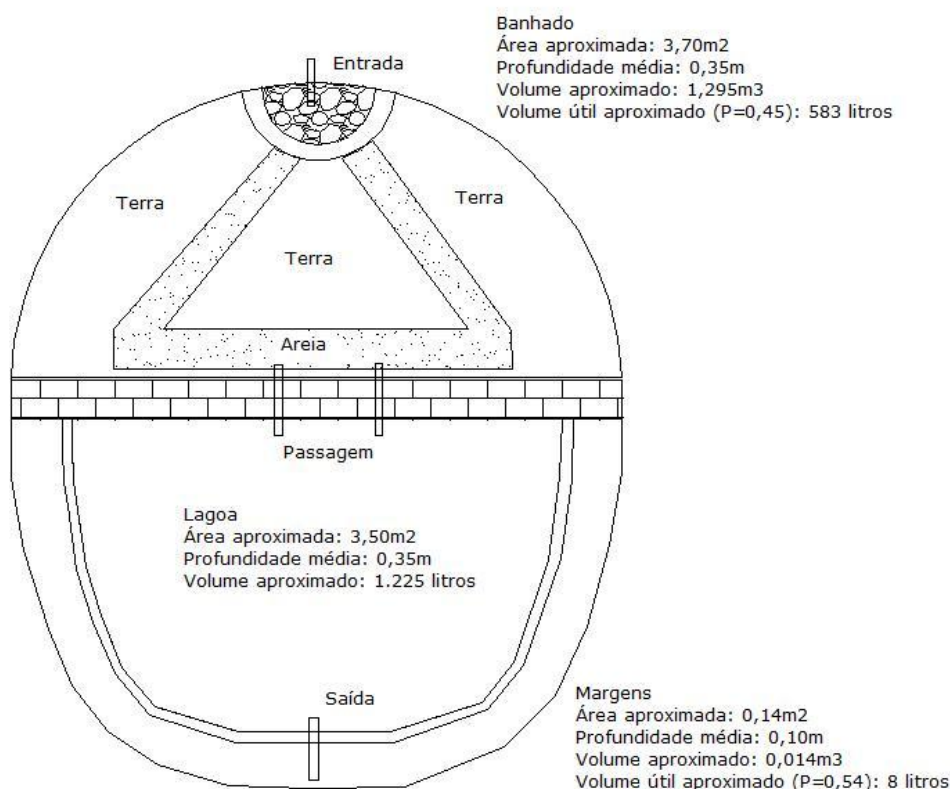


Figura 6.19. Banhado construído seguido de lagoa de polimento. Esboço da Versão 03.



Agosto de 2009



Agosto de 2009



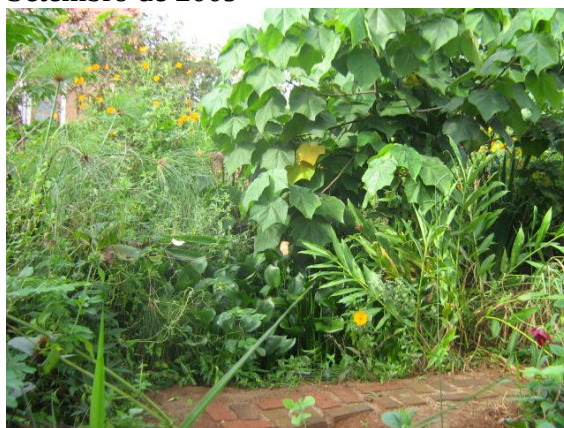
Setembro de 2009



Setembro de 2009



Março de 2010.



Março de 2010

Figura 6.20. Construção da versão 03 do banhado e lagoa multifuncional 1.

6.1.3. Sistema 3: lagoas multifuncionais LM 2 e LM 3 – construção, monitoramento e evolução

As lagoas multifuncionais 2 e 3 têm, juntas, uma capacidade total de reservação de água de 2000 litros (aproximado), correspondendo a 10 dias de produção de águas cinzas pela

residência. A LM3 abriga tilápias que fertilizam as águas que, ao alcançarem o nível máximo da lagoa, vertem junto a bananeiras, flores e árvores frutíferas do em torno. A Figura 6.21 mostra um esboço do sistema.

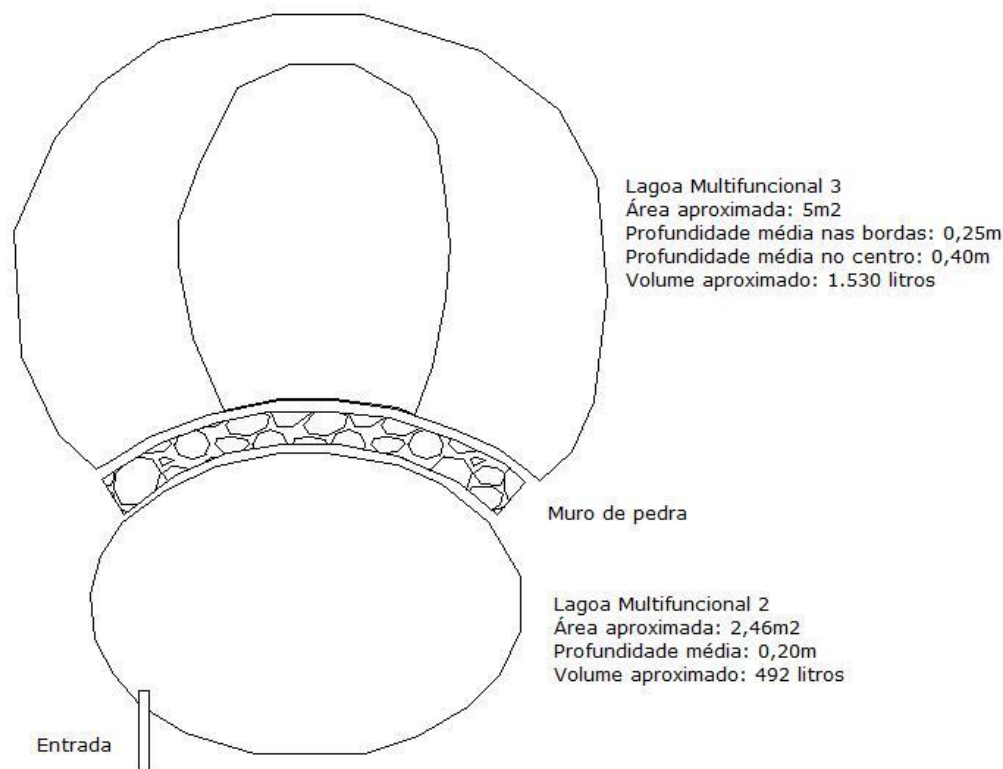


Figura 6.21. Esboço das lagoas multifuncionais 2 e 3.

Responsáveis pelo polimento final do efluente e reservação de água, a segunda lagoa multifuncional (LM2) funciona como lagoa de polimento, correspondendo ao tratamento terciário do efluente. A terceira lagoa multifuncional (LM3) tem o objetivo de reservação de água e nutrientes para uso na irrigação do terreno ao redor (Figura 6.22). Mantêm-se em ambas os conceitos de permacultura expostos anteriormente: criar um ambiente que execute múltiplas funções, contenha recursos biológicos, promova ciclagem de energia e matéria, seja um sistema intensivo em pequena escala e promova a diversidade e efeitos de borda (MOLLISON, 1994), porém com uma diferença marcante. Ao contrário dos outros sistemas em que se buscou várias espécies vegetais para auxiliar no tratamento das águas cinzas, nas duas lagoas foram introduzidas apenas três espécies: (1) o aguapé (*Eichoonia sp.*), já disponível na LM1 anteriormente descrita, com a função de filtragem da água; (2) algumas mudas de copo-de-leite (*Zantedeschia sp.*), coletadas em várzea do Ribeirão Matodentro,

bacia contígua à de Gaia Terranova, plantadas às margens da segunda lagoa e com função estética; e (3) rosinha-de-sol (*Aptenia sp.*) com função estética.



Outubro de 2008



Outubro de 2008

Figura 6.22. Instalação das lagoas multifuncionais LM2 e LM3

Optou-se por apenas três espécies porque o que se desejava era que as lagoas evoluíssem o mais possível em direção a sistemas naturais, contando com o eventual e precioso auxílio de pássaros, morcegos, pequenos animais, vento, chuva e outros meios não antropogênicos para enriquecimento e diversificação do sistema.

Como mostram as Figuras 6.22 e 6.23, nos meses de outubro e novembro de 2008, o ambiente em torno das lagoas permaneceu quase que desprovido de vegetação, sendo visíveis os aguapés nas lagoas, rosinhas-de-sol e outras espécies não identificadas junto às pedras que as separam. Ainda em novembro foram introduzidas tilápias (*Tilapia sp.*) que rapidamente se adaptaram e começaram a se reproduzir de forma acelerada.



Novembro de 2008



Novembro de 2009

Figura 6.23. Em torno das lagoas multifuncionais com pouca vegetação.

A partir de dezembro de 2008 (Figura 6.24), já em plena época das águas, foram plantadas ao redor das lagoas algumas culturas de ciclo anual como milho e mandioca para consumo próprio; feijões diversos (guandu, feijão-de-vara, carioquinha, fava, *etc.*) para consumo, proteção do solo, fixação de nitrogênio e atração de fauna; e flores como capitão (*Zinnia sp.*) e cosmos (*Cosmos sp.*) de várias cores, com função estética e atrativa de fauna.



Dezembro de 2008



Dezembro de 2008

Figura 6.24. Plantio de culturas de ciclo anual.

As imagens de fevereiro de 2009 (Figura 6.25) mostram o em torno das lagoas já bastante vegetadas, aumentando a visitação de pássaros de diferentes espécies. No início eram pardais e tico-ticos e logo sabiás, bem-te-vis, joões-de-barro, canarinhos e, mais recentemente, pombas juriti.



Fevereiro de 2009



Fevereiro de 2009

Figura 6.25. Em torno das lagoas já bastante vegetadas.

Em junho de 2009, com as intervenções feitas no filtro, banhado construído e lagoa multifuncional 1, o remanejamento das espécies retiradas dos dois sistemas foi realizado para junto da margem inferior da LM3. Aos copos-de-leite (*Zantedeschia sp.*) acrescentam-se: hortelã (*Mentha sp.*), capuchinha (*Tropaeolum sp.*), margaridinha (*Wedelia sp.*), taboa (*Thypha sp.*), lírio-do-brejo (*Hedychium sp.*), papiro (*Cyperus sp.*), aguapé (*Eichhornia crassipes*) e biri-biri (*Canna x generalis*), dentre outras não identificadas. Nessa mesma lagoa, desde novembro de 2008, alguns exemplares de tilápia (*Tilapia sp.*) tem-se desenvolvido e reproduzido (Figura 6.26).



Setembro de 2009



Setembro de 2009



Setembro de 2009



Setembro de 2009

Figura 6.26. Remanejamento de espécies vegetais e criatório experimental de tilápias.

Na mesma época, surgiram na LM2 duas macrófitas aquáticas submersas, até então inexistentes nos sistemas (Figura 6.27): (1) elódea (*Egeria sp.*); (2) espécie filamentosa com grânulos negros não identificada, das quais parece se alimentar espécie de caramujo, provavelmente do gênero *Lymnaea* (Figura 6.28).



Setembro de 2009



Setembro de 2009



Elódea (*Egeria* sp.)



Submersa não identificada

Figura 6.27. Macrófitas submersas evoluindo no sistema.

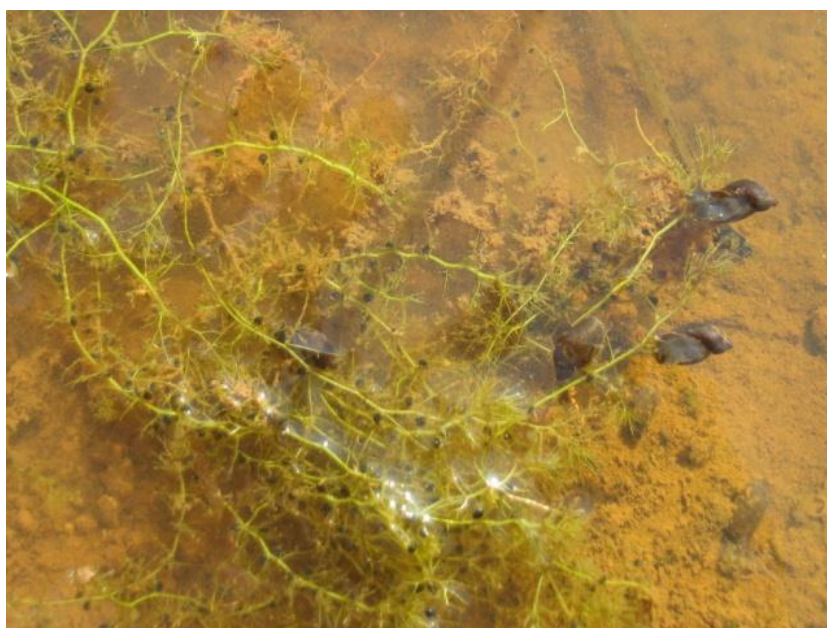


Figura 6.28. Submersa não identificada e caracol (*Lymnaea* sp)

A LM2 tem três espécies predominantes: (1) aguapé (*Eichhornia crassipes*); (2) as duas submersas anteriormente mencionadas e; (3) gramínea não identificada que se mistura ao aguapé (Figura 6.29) e seu em torno, já bastante vegetado por espécies até então não observadas (Figura 6.30), que vem-se desenvolvendo e transformando o local em um sistema que se aproxima de um sistema natural.



Agosto de 2009



Setembro de 2009

Figura 6.29. Gramínea não identificada mesclada ao aguapé.





Figura 6.30. Espécies vegetais de ocorrência não-antrópica e não identificadas.

Retomando a proposta inicial de sistemas biodiversos como parâmetro de sustentabilidade ambiental, tem-se que, ampliada a biodiversidade (vegetal e animal) nas tecnologias vivas e seu em torno, considera-se que as mesmas se aproximam de sistemas sustentáveis.

6.1.4. Sistema 4: decanto-digestor, filtro biológico, banhado construído e vala de infiltração seguida de linha de bananeiras – construção, monitoramento e evolução

O resgate de conhecimentos tradicionais incorporado pela permacultura (MOLLISON, 1994) foi base para a concepção do sistema integrado de tratamento de águas pretas, composto pelo decanto-digestor, filtro biológico, banhado construído, vala de infiltração e

linha de bananeiras. A Figura 6.31 mostra um esboço do sistema, enquanto a Figura 6.32 permite visualizá-lo em sua fase de construção.

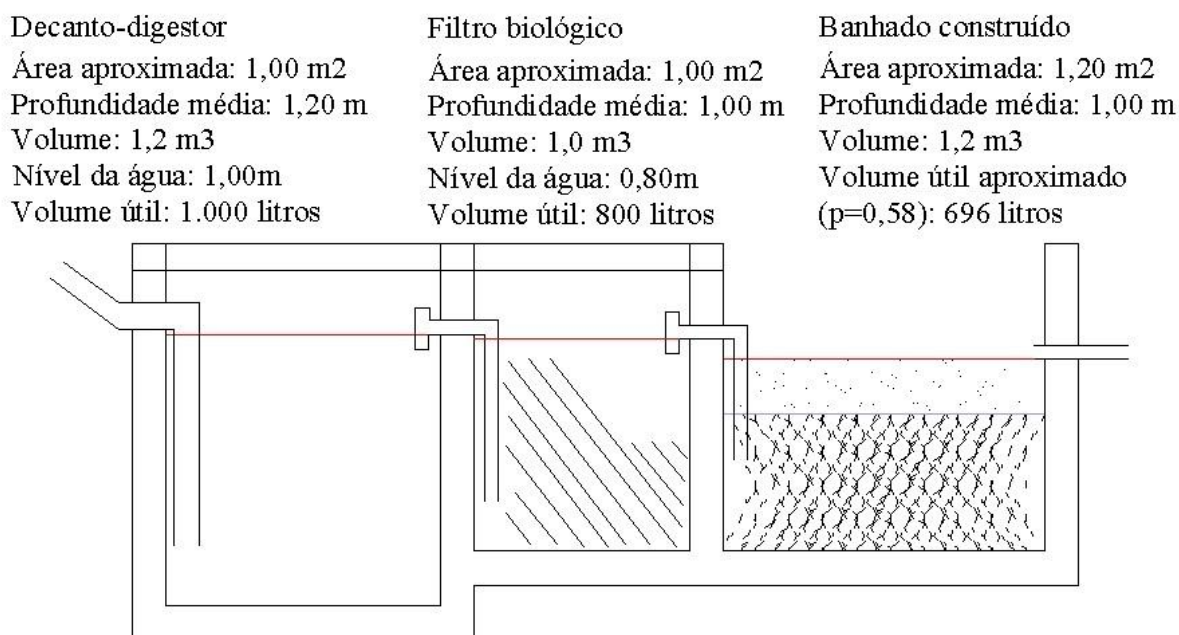


Figura 6.31. Esboço do sistema de tratamento de águas pretas.



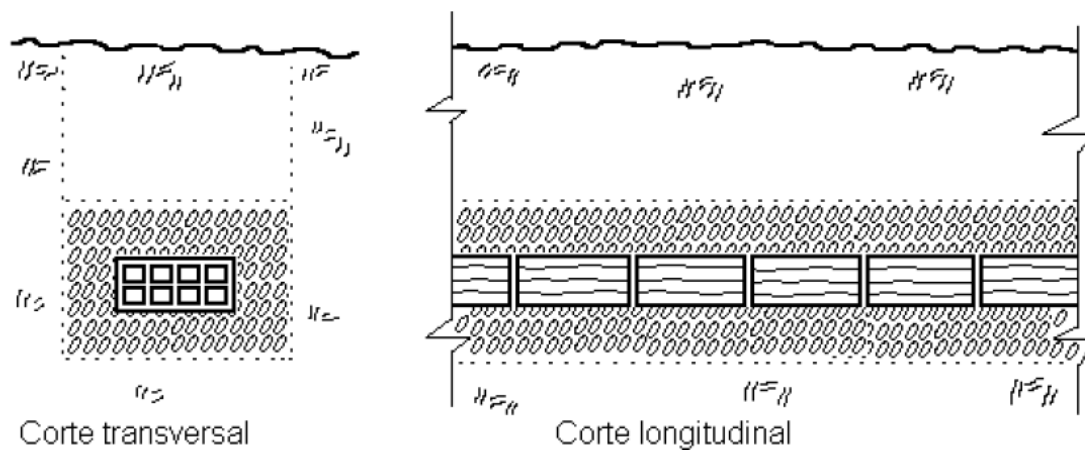
Abril de 2008



Julho de 2008

Figura 6.32. Aspectos construtivos do sistema.

O efluente que sai do banhado é conduzido para vala de infiltração, construída com tijolos cerâmicos vazados, seguindo trabalho de Andrade Neto e Lima (1999), como mostra a Figura 6.33. Esses tijolos (Figura 6.34) foram aproveitados de excedentes de tijolos utilizados em lajes pré-fabricadas, material que seria descartado e foi reutilizado.



Fonte: Andrade Neto e Lima, 1999.

Figura 6.33. Esboço de vala de infiltração com tijolos cerâmicos vazados.



Agosto de 2008



Agosto de 2008

Figura 6.34. Vala de infiltração com tijolos cerâmicos vazados.

Seguindo cálculos de Sanguinetti (2009), a vala de infiltração deveria ter 1,78m (considerando 4 moradores fixos). No entanto, com o intuito de aproveitar água e nutrientes, a vala de infiltração foi construída em forma de T, com comprimento total de 6m, de modo a distribuir o efluente junto a uma linha de bananeiras (banana prata, *Musa sp.*). A Figura 6.35 mostra esboço do sistema completo.

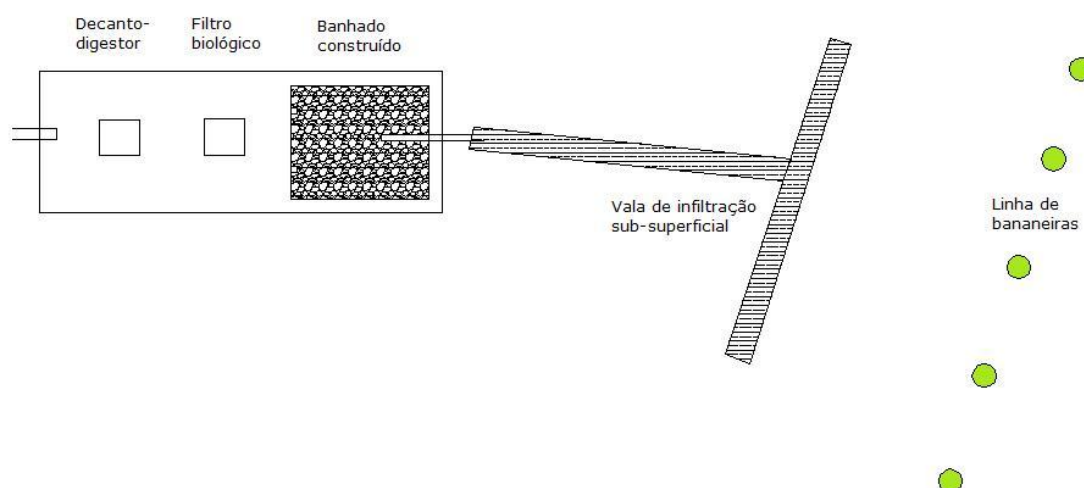


Figura 6.35. Esboço de sistema de tratamento de águas pretas, vala de infiltração e linha de bananeiras.

A Figura 6.36 mostra o banhado construído em seu estágio inicial seguido pela vala de infiltração e a linha de bananeiras com cinco indivíduos recém plantados em agosto de 2008. Inicialmente introduziu-se no banhado construído aguapé e taboa, logo seguidos de biri-biri, papiro e beijinho ou maria-sem-vergonha (*Impatiens sp.*) e trapueraba.



Agosto de 2008

Figura 6.36. Banhado construído seguido por vala de infiltração e linha de bananeiras.

A taboa não evoluiu e logo deixou o sistema. Biri-biri, beijinho, trapueraba e o papiro evoluíram muito bem e, este último, quase que tomou todo o sistema (setembro de 2009). A Figura 6.37 mostra a evolução da linha de bananeiras do sistema de tratamento de águas pretas entre novembro de 2008 e setembro de 2009.



Novembro de 2008



Dezembro de 2008



Fevereiro de 2009



Setembro de 2009



Fevereiro de 2009 – vista oposta



Setembro de 2009 – vista oposta

Figura 6.37. Evolução do crescimento de bananeiras que receberam efluente da tecnologia viva.

Ao longo dos meses, entre a geração de resíduos pelos moradores (fezes e urina), seu adequado tratamento, e a incorporação de água e nutrientes por vegetais produtores de alimentos (bananeira), há farta produção de matéria orgânica (Figura 6.38), disponibilizada pelo crescimento das plantas do banhado construído, bem como das bananeiras, que vão substituindo sua folhagem durante o processo de crescimento, bem como do pseudocaule descartado e incorporado ao solo após produção dos frutos.



Fevereiro de 2009



Setembro de 2009



Março de 2010



Março de 2010

Figura 6.38. Crescimento vigoroso de vegetação.

Com o manejo periódico da vegetação a cada 3 ou 4 meses, a matéria orgânica em excesso é disposta em montes próximos para compostagem e/ou encaminhada para pequeno cercado (Figura 6.39), onde é misturada a sobras de alimentos (talos, folhas, cascas, frutos, etc) oriundas da cozinha da residência onde, em poucas semanas, se transforma em adubo que é transferido para as hortas, enriquecendo o solo e permitindo a produção de alimentos de

base orgânica. Esses, após a colheita, retornam à mesa dos moradores fechando um ciclo virtuoso, que reaproveita constantemente água e nutrientes que normalmente são desperdiçados ao serem enviados para lixões ou aterros sanitários, ou dispostos em corpos d'água causando sua deterioração, poluição e contaminação.



Dezembro de 2009



Dezembro de 2009

Figura 6.39. Compostagem de resíduos vegetais e de cozinha.

A capacidade do sistema de tratamento de águas pretas, dimensionado segundo as normas da ABNT (1982 e 1997), totaliza um volume útil de 2.496 litros. Tomando o limite superior de produção de águas pretas em Gaia Terranova (Tabela 6.1 e Gráfico 6.2) de 43,18 litros, tem-se que o tempo de detenção hidráulica total do sistema é de 57,8 dias. Uma vez que os cálculos de dimensionamento proposto nas normas é de um dia, tem-se que esse mesmo sistema poderia atender até 58 pessoas, ou aproximadamente 14 famílias.

6.1.5. Linha de bananeiras

Um dos indicadores iniciais de sustentabilidade é o crescimento das bananeiras receptoras ou não de efluentes tratados. Sendo a linha de bananeiras instalada como receptora final das águas pretas tratadas, composta por 5 indivíduos plantados em agosto de 2008, em setembro de 2009, após 13 meses, este número já havia saltado para 22 indivíduos, sendo dois deles com cachos formados e quase prontos para colheita e consumo. No mesmo dia e sob as mesmas condições foram plantados em linha outros 5 indivíduos, 30 metros distante da

primeira linha, servindo como controle do experimento, uma vez que não receberam efluentes durante o período. Uma análise visual entre a Figura 5.36, mostrando as bananeiras que receberam efluentes e a Figura 6.40, mostrando as bananeiras controle, evidenciam grande diferença entre os tratamentos, situação corroborada pela Figura 6.41 que apresenta a diferença na evolução das matrizes e crescimento de filhotes que receberam ou não aporte de afluente ao longo do período estudado, tomando por base o perímetro dos pseudocaules a 0,20cm do solo.



Setembro de 2009



Setembro de 2009

Figura 6.40. Bananeiras que não receberam efluente da tecnologia viva.

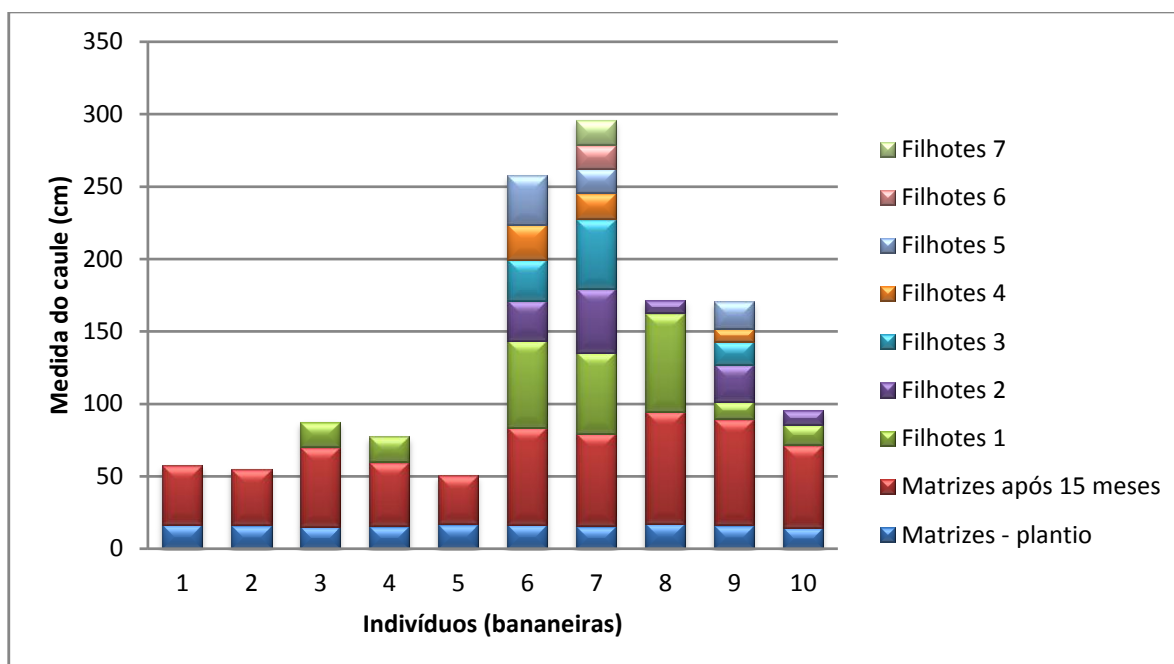


Figura 6.41. Diâmetro dos pseudocaules de bananeiras matrizes e filhotes a 0,20 cm da base.

A Tabela 6.2, relaciona as medidas dos pseudocauls das bananeiras matrizes, tomadas a 0,20m acima da superfície do solo no plantio (09/08/2008), após 15 meses (2/11/2009) e o crescimento das matrizes no período, medido pela diferença das medidas.

Tabela 6.2. Medida (cm) do perímetro dos pseudocauls no plantio e após 15 meses.

Indivíduos	Plantio*	Após 15m	Crescimento
	09/08/2008	02/11/2009	
Controle	16,5	41	24,5
	16	39	23
	14	34	20
	15	55	40
	15,5	44	28,5
	17	33,5	16,5
Tecnologia Viva	16,5	67	50,5
	15,5	64	48,5
	17,5	77	59,5
	16	73,5	57,5
	14,5	57	42,5

Medidos os perímetros das bananeiras no plantio e após 15 meses, os dados foram tratados estatisticamente utilizando os Programa R, versão 2.10.1 (2009) e Tinn-r, versão 2.3.4.4 (2009), *softwares* livres de estatística computacional e gráfica, de modo a estabelecer a análise de variância - ANOVA.

Iniciou-se com o teste dos dados do plantio, para certificar que os mesmos tem distribuição normal e homogeneidade de variâncias. O teste de normalidade de Shapiro-Wilk resultou em um Valor-p = 0,6459 e, sendo maior que $\alpha = 0,05$, deixa-se de rejeitar a hipótese de igualdade, ou seja, indica tratar-se de dados com distribuição normal. O gráfico dos Quantis Normais (Figura 6.42) corrobora o resultado anterior. O teste de Bartlett para a homogeneidade de variâncias, resultou em um valor-p = 0,7125, apontando para a homocedasticidade.

Garantiu-se, dessa forma, juntamente com o plantio aleatório das bananeiras, condições iniciais iguais para o grupo que recebeu o efluente tratado e o que não recebeu.

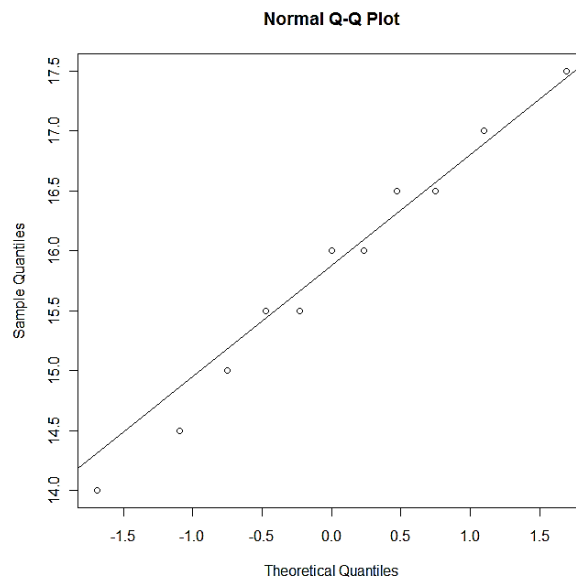


Figura 6.42. Gráfico do quantis normais para dados do plantio.

Feitas as medidas após 15 meses, o teste de Shapiro-Wilk resultou no valor- $p = 0,5948$ ($p > 0,05$), indicando uma distribuição aproximadamente normal, corroborado pela Figura 6.43 dos quantis. O teste de Bartlett apresentou valor- $p = 0,9844$, indicando homogeneidade das variâncias (homocedasticidade).

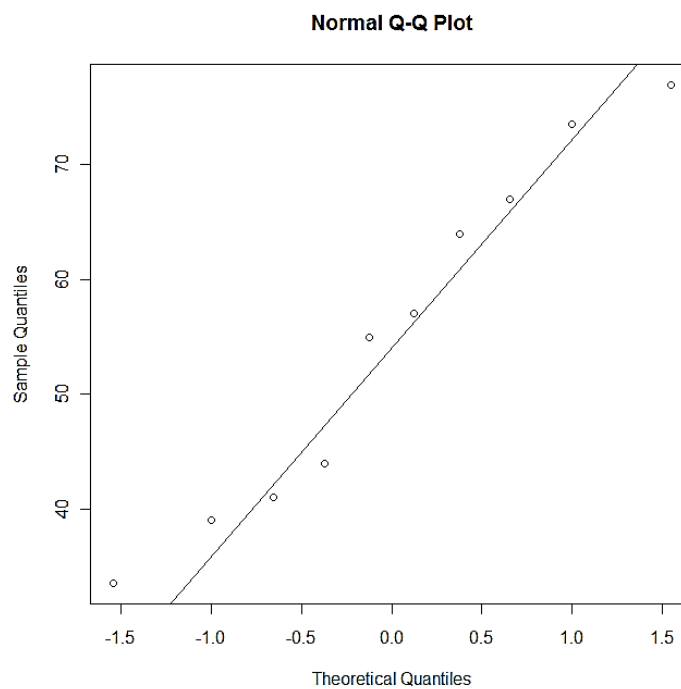


Figura 6.43. Gráfico do quantis normais para dados após 15 meses.

Preenchidos os pré-requisitos para a ANOVA, realizou-se o teste F, com o resultado resumido na Tabela 6.3, mostrando que há diferença entre as médias dos tratamentos com $\alpha = 0,01$.

Tabela 6.3. ANOVA das médias entre tratamentos.

Causa de Variação	Graus de liberdade	Soma Quadrados	Quadrado Médio	F _{cal}
Tratamento	1	1587,6	1587,6	25,26*
Resíduo	8	502,8	62,85	F _{tab} 0,001019

* Significaivo a 0,01

Tomando-se por base a ANOVA, as médias dos tratamentos diferem entre si com um nível de confiança de 99%, ou seja, o aporte de efluente oriundo da tecnologia viva para a linha de bananeiras possibilitou um crescimento maior para as matrizes em comparação com as matrizes que não receberam o efluente.

O crescimento vigoroso das bananeiras recebendo os efluentes do sistema de tratamento de águas pretas (Figura 6.37), fica evidente ao comparar-se as imagens das de indivíduos de mesma idade, plantados no mesmo dia, sob as mesmas condições, mas em local distante e sem o aporte de efluentes (Figura 6.40). A diferença evidencia-se ainda mais quando comparamos a evolução das linhas em termos de crescimento das matrizes e número de filhotes, como mostra a Figura 6.41.

O somatório das medidas de todos os indivíduos controle é de 168 cm, enquanto o diâmetro do caule de todos os indivíduos que receberam os efluentes somam 830,5 cm, 4,9 vezes maior que o anterior. Dito de outra maneira, o crescimento dos indivíduos receptores dos efluentes foi 494% maior.

A mensuração do crescimento do diâmetro dos pseudocauls de bananeiras recebendo ou não efluentes, sendo um dos quesitos iniciais adotados como indicadores de sustentabilidade, mostra que, também aqui essa tecnologia pode ser considerada sustentável.

6.1.6. Avaliação visual de áreas

Realizando a avaliação proposta por Melloni (2007) em Gaia Terranova e áreas próximas, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 6.4, para um total possível de 46,5

pontos. Tomando-se a Mata secundária como área referência, ou seja, local onde se encontrariam os solos e ecossistemas mais preservados da microrregião, obteve-se uma pontuação média de 41,85, correspondendo a 100%.

Tabela 6.4. Avaliação visual de Gaia Terranova e áreas de em torno.

Médias ponderadas para avaliação visual de áreas				
Parâmetros	Mata secundária (área referência)	Pasto degradado	Gaia Terranova (2007)	Gaia Terranova (2010)
SOLO				
Erosão	5	3	3	4
Compactação	2,5	0,75	1,25	1,5
Fauna do solo	0,75	0,5	0,25	1,25
VEGETAÇÃO				
Índice de cobertura	4,5	2,5	2,5	3
Índice de diversidade	3,6	1,2	0,8	3,2
Porte/estratificação	2	0,5	0,5	1,5
Vigor da vegetação	5	1,5	4	4
Sucessão na vegetação	4,5	1,5	1	3
Quantidade de serrapilheira	4,5	1	1	3
Decomposição serrapilheira	4,5	1	1	2,5
Incorporação no solo	3,5	0,35	0,35	1,75
OUTROS				
Fauna	1,50	0,5	0,25	1,25
TOTAL	41,85	14,3	15,9	29,95
Déficit em relação à área referência (%)		65,83	62,01	28,43
Superávit de Gaia Terranova em relação à 2007 (%)				88,36

O Pasto degradado, vizinho a Gaia Terranova, obteve uma pontuação de 14,3, apresentando um *déficit* em relação à área referência de 65,83%. O terreno de Gaia Terranova, inicialmente recoberto apenas por capim brachiária em 2007, obteve 15,9 pontos, que representa um *déficit* de 62,01% em relação à Mata secundária. Em 2010, Gaia Terranova apresentou um total de 29,95, com um *déficit* de apenas 28,43% em relação à área controle.

Comparando a pontuação obtida por Gaia Terranova em 2010 em relação a 2007, tem-se que a gestão dos terrenos, com a implantação do *habitat* sustentável, proporcionou um superávit de 88,36% em relação a 2007. Em outras palavras, as intervenções propostas e efetuadas em Gaia Terranova com o *design* ecológico, as tecnologias vivas e os habitats sustentáveis teve como resultado um aumento de 88,36% na qualidade visual da área, puxados principalmente pelo índice de diversidade que saltou de 0,8 em 2007 para 3,2 em 2010; porte e estratificação da vegetação que saltou de 0,5 para 1,5; sucessão na vegetação que foi de 1 para 3; e fauna local, que saltou de 0,25 para 1,25.

As tecnologias vivas atuam direta ou indiretamente sobre vários parâmetros: erosão, compactação, fauna do solo, índice de cobertura, índice de diversidade, vigor da vegetação, sucessão na vegetação e fauna. Considerando que destes, o índice de diversidade, a sucessão na vegetação e a fauna local contribuíram significativamente para a evolução da área entre 2007 e 2010, finaliza-se esse tópico considerando que a avaliação visual da área de Gaia Terranova aponta para a sustentabilidade ambiental da proposta.

6.2. SUSTENTABILIDADE ECONÔMICA

Do ponto de vista econômico, as tecnologias vivas devem se aproximar de ecotecnologias, tecnologias sociais ou tecnologias apropriadas, cujas características principais são o baixo custo de implantação, operação e manutenção, fácil replicação, utilização de mão-de-obra local e descentralizada e alta eficiência. Busca-se ainda mensurar o custo e benefício das tecnologias implantadas, avaliando o primeiro a partir de custos de material e mão-de-obra para implantação, operação e manutenção dos sistemas, e o segundo a partir de retornos diretos (produção de adubo orgânico, peixes, frutos, biomassa e água para irrigação) e indiretos (tentativa de valoração ambiental e manutenção de serviços promovidos por um curso d'água limpo, economia em tratamento de esgotos e água centralizados e reflexos positivos em saúde). Os valores descritos são de Setembro de 2009 para a região de Itajubá, MG.

6.2.1. Custos de construção, operação e manutenção do banhado piloto

A Tabela 6.5 mostra os custos de construção do Piloto de Banhado Construído (*wetland*), com preços praticados na região de Itajubá, Sul de Minas Gerais, em setembro de 2009. Os custos de operação e manutenção, acompanhados de janeiro de 2008 a setembro de 2009 (19 meses) foram pequenos, basicamente relacionados ao trabalho de podas eventuais para retirada do excesso de vegetação, utilizada para compostagem e produção de adubo para as hortas; e intervenções estéticas com o plantio de flores e manejo de espécies de interesse.

Tabela 6.5. Custos de construção do Piloto de Banhado Construído (*wetland*). Valores de setembro de 2009.

Descrição	Quant.	Unid.	Custo (R\$)	Valor (R\$)
Serviços				550,00
Visita técnica	2	h	50,00	100,00
Teste de infiltração	1	h	50,00	50,00
Dimensionamento	1	h	50,00	50,00
Planta	7	m ²	70,00	70,00
Preparação do terreno	2	h	20,00	40,00
Construção	12	h	20,00	240,00
Tubulação				20,00
Tubo 50mm	1	un.	20,00	20,00
Material				173,73
Base concretada	0.12	m ³	197,71	23,73
Pedra rosa	60	un.	2,50	150,00
Material filtrante				60,00
brita	0.5	m ³	60,00	30,00
entulho peneirado	75	lata	0,40	30,00
Subtotal				803,73
Manutenção anual				20,00
Podas, cuidados, jardinagem	4	h/ano	5,00	20,00
TOTAL				823,73

De maio de 2008 a setembro de 2009 o Banhado Construído perdeu grande parte de sua função, uma vez que a residência a que serve tem permanecido desabitada e funciona hoje mais como um pequeno jardim com plantas e flores diversas. Nesses 19 meses, o somatório de horas de trabalho dedicadas à operação e manutenção do sistema não chegou a 8h, ou o equivalente a um dia de serviço pouco especializado, podendo ser desempenhado por um jardineiro, ajudante geral, pequeno agricultor, ou mesmo por *hobbie* de jardinagem associado à produção de composto orgânico e horticultura dos moradores.

6.2.2. Custos de construção, operação e manutenção do sistema filtro, banhado construído e lagoa multifuncional 1

Os custos levantados (Tabela 6.6) referem-se ao filtro e banhado construído em sua última versão, por ser este maior e com custo um pouco mais elevado em relação aos anteriores.

Tabela 6.6. Custos de construção do sistema filtro, banhado construído e lagoa de maturação. Valores de setembro de 2009.

Descrição	T/Q	Unid.	Custo (R\$)	Valor (R\$)
Serviços				430,00
Visita técnica	2	h	50,00	100,00
Teste de infiltração	1	h	50,00	50,00
Dimensionamento	1	h	50,00	50,00
Planta	7	m ²	10,00	70,00
Preparação do terreno	8	h	20,00	160,00
Material				103,80
Caixa d'água (reaproveitada)	1	pç	15,00	15,00
Tubo 25mm (3/4)	1	un.	9,00	9,00
Franjo	2	pç	5,40	10,80
Mangueira preta 25 mm (3/4)	10	m	0,70	7,00
Lona plástica 8m largura	6	m	8,00	48,00
Tijolos	100	pç	0,14	14,00
Material filtrante				48,88
areia (1m ³ = 50 latas)	16	lata	0,68	10,88
brita (1m ³ = 50 latas)	25	lata	1,16	29,00
terra (1m ³ = 50 latas)	25	lata	0,36	9,00
Subtotal				582,68
Manutenção anual (podas, cuidados, jardinagem)	12	h/ano	5,00	60,00
TOTAL				642,68

6.2.3. Custos de construção, operação e manutenção das LM2 e LM3

A Tabela 6.7 descreve os custos de construção das LM2 e LM3. Tratadas inicialmente de maneira isolada, a composição de preços repete serviços como visita técnica e teste de infiltração, onerando sistemas isolados. A composição final dos custos, tratando o sistema de maneira integrada, elimina a duplicidade dos serviços.

Tabela 6.7. Custos de construção das lagoas multifuncionais LM2 e LM3. Valores de setembro de 2009.

Descrição	T/Q	Unid.	Custo (R\$)	Valor (R\$)
Serviços				350,00
Visita técnica	2	h	50,00	100,00
Teste de infiltração	1	h	50,00	50,00
Dimensionamento	1	h	50,00	50,00
Planta	7	m ²	10,00	70,00
Preparação do terreno	4	h	20,00	80,00
Construção				
Material				63,00
Pedra rosa	6	un.	2,50	15,00
Lona plástica 8m largura	6	m	8,00	48,00
Subtotal				413,00
Manutenção anual (podas, cuidados, jardinagem)	4	h/ano	5,00	20,00
TOTAL				433,00

6.2.4. Custos de construção, operação e manutenção da tecnologia viva de tratamento de águas pretas

Exigindo maiores cuidados em relação a contaminação microbiológica, esse sistema foi construído em alvenaria, tendo sua base em concreto e nas duas primeiras câmaras (decanto-digestor e filtro biológico), cobertura em laje e concreto, sendo ainda impermeabilizado na parte interna. As tubulações utilizadas foram de primeira linha e estima-se uma vida útil de 25 anos para o sistema. A Tabela 6.8 apresenta os custos de construção.

Tabela 6.8. Custos de construção do sistema de tratamento de águas pretas. Valores de setembro de 2009.

Descrição	T/Q	Unid.	Custo (R\$)	Valor (R\$)
<i>Serviços</i>				<i>880,00</i>
Visita técnica	4	h	50,00	200,00
Teste de infiltração	1	h	50,00	50,00
Dimensionamento	1	h	50,00	50,00
Planta	3	m ²	20,00	60,00
Preparação do terreno	8	h	20,00	160,00
Construção	3	d	120,00	360,00
<i>Tubulação</i>				<i>88,00</i>
Tubo 100mm	1	un.	30,00	30,00
Tubo 50mm	1	un.	20,00	20,00
Joelho 90o 100mm	1	un.	5,00	5,00
Tee 50mm	4	un.	3,00	12,00
Tijolo cerâmico	30	un.	0,70	21,00
<i>Sistema de tratamento</i>				<i>330,86</i>
Concreto				
base	0.3	m ³	192,00	57,60
cobertura	0.2	m ³	192,00	38,40
laje	2	m ²	20,00	40,00
vergalhão 3/16 (5mm)	4	br	9,00	36,00
Tijolos	0.81	mil	140,00	113,40
Reboco paredes	15	m ²		
cimento	0.75	sc	18,00	13,50
areia (1m ³ = 50 latas)	12	lata	0,68	8,16
cal	3	sc	7,00	21,00
selador	0.5	L	5,60	2,80
<i>Material filtrante</i>				<i>49,00</i>
bambu	1	dz	10,00	10,00
brita (1m ³ = 50 latas)	25	Lata	1,16	29,00
entulho (1m ³ = 50 latas)	25	lata	0,40	10,00
Subtotal				1.347,86
Manutenção anual (podas, cuidados, jardinagem)	6	h/ano	5,00	30,00
TOTAL				1.377,86

Como apontou o item 5.5.4, o superdimensionamento do sistema, seguindo as normas ABNT (1982, 1997), traz como contrapartida a possibilidade de o mesmo atender até 58 pessoas, a um custo de R\$ 1.377,86, resultando em um custo de R\$ 23,75 por pessoa.

6.2.5. Custos e benefícios diretos e indiretos

O sistema proposto por Sanguinetti (2009) e construído em Gaia Terranova foi melhorado ao longo do tempo, principalmente o de tratamento biológico de águas cinzas, que está em sua 4ª versão (banhado piloto e versões de banhado e lagoas multifuncionais). Os aprimoramentos na base conceitual e de utilização de materiais permitiram diminuir custos construtivos ampliando a qualidade. O somatório dos custos individuais de construção de cada sistema (águas pretas + filtro, banhado construído e LM1 + LM2 e LM3), totaliza R\$ 2.413,54. No entanto, se a opção for a construção do sistema completo, os custos caem, conforme a Tabela 6.9, uma vez que eliminam-se as duplicidades em visitas técnicas e testes de infiltração, gerando uma economia de R\$ 380,00.

Tabela 6.9. Custos de construção de sistema completo de tratamento de águas pretas e águas cinzas. Valores de setembro de 2009.

Descrição	T/Q	Unid.	Custo (R\$)	Valor (R\$)
Serviços				1280,00
Visita técnica	4	h	50,00	200,00
Teste de infiltração	1	h	50,00	50,00
Dimensionamento	2	h	50,00	100,00
Planta	17	m ²	10,00	170,00
Preparação do terreno	20	h	20,00	400,00
Construção	3	d	120,00	360,00
Implantação + operação por um ano				793,54
Sistema águas pretas				497,86
Sistema águas cinzas				212,68
Sistema LM1+LM2				83,00
TOTAL				2.073,54

A reutilização dos efluentes tratados para irrigação subsuperficial e produção orgânica de alimentos, fecha ciclos que se pretendem virtuosos, com importantes características sociais, econômicas, ambientais, sanitárias, culturais, éticas e estéticas, onde:

- a) Os moradores de Gaia Terranova assumem responsabilidades pelos resíduos que geram;
- b) O esgoto residencial (águas preta e cinza) deixa de ser lançado em corpos d'água evitando sua poluição e contaminação;
- c) Evita-se a poluição e contaminação do solo e lençol freático;
- d) Evita-se a transferência para a sociedade e ecossistemas de impactos negativos perfeitamente evitáveis;
- e) Evita-se a disseminação de doenças de veiculação hídrica, poupando-se recursos humanos, ambientais, econômicos e sociais;
- f) Evita-se a construção de sistemas centralizados e onerosos de tratamento de água e esgotos;
- g) O esgoto residencial tratado transforma-se em alimentos a partir do reaproveitamento de água e nutrientes.

Em uma tentativa de valorar os benefícios diretos e indiretos advindos das tecnologias vivas instaladas em Gaia Terranova, buscou-se aferir a economia, em Reais (R\$), que se pode obter em relação a utilização dos recursos hídricos e reutilização de águas tratadas para irrigação, piscicultura e recuperação de nutrientes via compostagem de plantas oriundas das tecnologias vivas. Buscou-se ainda valorar benefícios ambientais trazidos pela não poluição e contaminação de corpos d'água, permitindo à sociedade adiar, simplificar ou eliminar a construção de novas ETAs e ETEs.

A Tabela 6.10 traz um resumo desse levantamento, falho em muitos aspectos dado a dificuldade de valorar serviços ambientais e propõe-se seja vista como uma contribuição no sentido de se avançar no estudo e prática desta valoração. Cada item foi numerado e na sequência explicado, de modo a cumprir funções complementares entre si: (i) compreender o raciocínio do autor na valoração de cada item; (ii) facilitar o questionamento dos leitores; (iii) encorajar a proposição de aprimoramentos tanto em relação ao raciocínio do autor, como dos cálculos e procedimentos para valoração ambiental das tecnologias vivas.

Tabela 6.10. Ganhos diretos e indiretos proporcionados pelas tecnologias vivas, *payback*, retorno sobre o investimento e recursos hídricos poupados.

Tecnologias vivas	Quant	Unid.	Valor unitário (R\$)	Valor mensal (R\$.mês ⁻¹)	Economia (R\$ em 300 meses)
Ganhos diretos					
Esgotamento sanitário (1)	8537	L.mês ⁻¹	1,78	15,20	4.558,64
Reúso de efluentes (2)	8537	L.mês ⁻¹	2,16	18,44	5.531,83
Redução consumo de água (3)	3163	L.mês ⁻¹	2,16	6,83	2.049,77
Redução de efluentes (4)	3163	L.mês ⁻¹	1,78	5,63	1.689,16
Biomassa (5)	5	kg.mês ⁻¹	0,50	2,50	750,00
Frutos (6)	7	dz.mês ⁻¹	2,00	14,00	4.200,00
Pescado (7)	1	kg.mês ⁻¹	8,00	8,00	2.400,00
Sub-total				70,60	21.179,40
Ganhos indiretos					
Custo de poluir e contaminar (8)	8537	L.mês ⁻¹	1,78	15,20	4.558,64
	8537	L.mês ⁻¹	2,16	18,44	5.531,83
	3163	L.mês ⁻¹	2,16	6,83	2.049,77
	3163	L.mês ⁻¹	1,78	5,63	1.689,16
Manutenção de serviços ambientais (8)	8537	L.mês ⁻¹	1,78	15,20	4.558,64
	8537	L.mês ⁻¹	2,16	18,44	5.531,83
	3163	L.mês ⁻¹	2,16	6,83	2.049,77
	3163	L.mês ⁻¹	1,78	5,63	1.689,16
ETE virtual (9)					
Custo de implantação (média)	3	R\$/hab	190,00		570,00
Custo de manutenção (média)	3	R\$/hab	11,25	33,75	10.125,00
ETA virtual (10)					
Despesas com serviços	3	R\$/hab	7,91	23,74	7.122,60
Saúde pública (11)					8.294,16
Sub-total				149,69	53.770,56
TOTAL				220,29	74.949,96
Payback (meses)				9,41	
Retorno sobre o investimento				36	
Volume em litros de água poupados (25 anos ou 300 meses)				15.937.936	

Tomando-se por referência a Tabela 6.1. [Produção de esgotos em Gaia Terranova ($\text{L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$)], a quantidade expressa nos itens (1) e (2) é resultado do total médio de esgotos produzidos por pessoa.dia⁻¹, multiplicado por 3 residentes e 30 dias ($94,85 \text{ L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1} \times 3 \text{ hab} \times 30 \text{ dias} = 8537 \text{ L.mês}^{-1}$).

A quantidade expressa nos itens (3) e (4) é resultado da diferença entre a produção de esgotos indicada na norma NBR 7.229 (ABNT, 1982) e reproduzida nas NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997) para residências de médio padrão, e o total médio efetivamente obtido em Gaia Terranova [$(130 \text{ L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1} - 94,85 \text{ L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}) \times 3 \text{ hab} \times 30 \text{ dias} = 8537 \text{ L.mês}^{-1}$].

Quanto aos Ganhos Diretos, os cálculos foram feitos como segue:

- (1) Dado que todo tratamento de efluentes é realizado no local de sua produção e totalmente utilizado nos terrenos, o mesmo não segue para a rede de drenagem do condomínio e portanto não paga pela utilização da rede de coleta. Tomando-se o valor de R\$ 1,78/m³ como média da tarifa de esgotos (SNIS, 2006), cobrada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, multiplicada pela quantidade média de esgotos mensalmente produzidos em Gaia Terranova, chega-se a uma economia de R\$ 4.558,64 em 25 anos.
- (2) Sendo o esgoto tratado e reutilizado para irrigação no terreno, igual quantidade de água tratada deixa de ser consumida para realizar o mesmo serviço. Sendo R\$ 2,16/m³ o valor médio da tarifa de água tratada fornecida pela COPASA (SNIS, 2006), obtém-se uma economia de R\$ 5.531,83 ao longo dos 25 anos.
- (3) A gestão de água interna à residência (arejadores, caixas acopladas e hábitos de consumo), permite uma redução de 27% no consumo, o que representa um total de 3163 litros.mês⁻¹ que, multiplicado pelo valor médio da concessionária, resulta em uma economia global de R\$ 2.049,77.
- (4) Reduzido o consumo de água, reduz-se em igual quantidade a produção de efluentes. Tomando-se o mesmo raciocínio do item (1), tem-se aqui uma economia de R\$ 1.689,16.
- (5) A manutenção das tecnologias vivas é quase que totalmente relativa ao manejo da vegetação que cresce em função do maior aporte de água e nutrientes. Essa vegetação periodicamente cortada é disposta para compostagem, ciclando nutrientes e produzindo composto orgânico e húmus, ambos reaproveitados em hortas e pomares

do *habitat* sustentável. Considerando uma produção média mensal de 5kg de composto e valorando o mesmo a R\$ 0,50 o quilo, tem-se uma produção total equivalente a R\$ 750,00.

- (6) Sendo receptora de efluentes oriundos da tecnologia viva de tratamento de águas pretas, a linha de bananeiras, além de crescimento expressivo em relação à linha de bananeiras controle (que não receberam efluentes), produziu dois cachos de bananas (novembro de 2009), tendo outros 4 cachos se formando (abril de 2010), gerando uma expectativa de produzir uma média de 7 dúzias de banana prata por mês. Tomando-se o valor médio de R\$ 2,00 a dúzia (pesquisas em supermercados e feiras de Itajubá), tem-se um total de R\$ 4.200,00 em 25 anos.
- (7) A LM3 contém tilápias, que inicialmente foram tratadas diariamente com um pouco de ração, fazendo com que a população dos peixes crescesse de forma exponencial, inviabilizando a continuidade de sua presença em espaço tão reduzido. Um vizinho recolheu os animais e os transportou para seu criatório, deixando alguns exemplares na LM3, que desde então crescem e se desenvolvem sem a adição de alimentação externa. Calcula-se seja possível obter-se 1kg de tilápia por mês a partir da LM3 e, sendo o custo do peixe de R\$ 8,00, chega-se ao valor total de R\$ 2.400,00.

Quanto aos Ganhos Indiretos, segue uma tentativa de valorar os ganhos ambientais:

- (8) Em manutenção de serviços ambientais, considerou-se valorar um serviço ambiental proporcionado por corpos d'água mantidos sem poluição e contaminação por esgotos, e a diminuição da captação, tratamento e distribuição de suas águas para consumo humano. Poluir um corpo d'água tem um custo associado a: (i) custo de transporte dos esgotos da residência ao corpo d'água, utilizando o sistema de drenagem de esgotos da concessionária ou construindo um sistema próprio, equivalente ao item (1); (ii) custo de captação, tratamento e distribuição de igual quantidade de água de volta à residência para consumo dos residentes, equivalente ao item (2); (iii) por outro lado, a redução no consumo de água e produção de efluentes evita tanto custos associados ao transporte e disposição de esgotos (3), quanto à captação, tratamento e distribuição de água (4). Por fim, de maneira bastante subjetiva, o autor propõe que um valor igual ao custo de poluir e contaminar um corpo d'água

seja a ele atribuído de forma a valorar os serviços prestados à toda comunidade de vida ao se manter sem poluição e contaminação. Dessa forma, sendo o somatório de (1) + (2) + (3) + (4) o custo de poluir e contaminar um corpo d'água, adota-se aqui igual valor como um mínimo para os serviços ambientais proporcionados pela água mantida em condições naturais. Tem-se assim o valor total de R\$ 27.658,80.

- (9) Uma vez que os esgotos não chegam aos corpos d'água, adia-se, simplifica-se ou elimina-se a construção de novas Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs. Florencio (2006), na Tabela 3.2 apresenta os custos de implantação, operação e manutenção de sistemas de tratamento de esgotos. Tomando por base os custos médios para um sistema composto por tanque séptico + filtro anaeróbio + *wetland*, obtém-se um valor de R\$ 190,00 por habitante para implantação que, multiplicado por três moradores é igual a R\$ 570,00. Outros R\$ 11,25 por habitante.mês⁻¹ é gasto para operação e manutenção da ETE, totalizando ao longo de 25 anos R\$ 10.125,00.
- (10) Uma vez que os corpos d'água se mantêm com qualidade elevada, devido ao não despejo de esgotos, adia-se, simplifica-se ou elimina-se a construção de novas Estações de Tratamento de Águas – ETAs. Sem obter dados de custos de implantação de ETAs, tomou-se apenas os gastos com serviços de tratamento de água em Itajubá (SNIS, 2006), no ano de 2004, que aponta para o montante de R\$ 8.624.237,48 que, dividido pela população atendida de 90.812 habitantes, resulta em um gasto *per capita* mensal de R\$ 7,91, representando um total de R\$ 7.122,60 para o consumo de 3 pessoas (residentes em Gaia Terranova) ao longo de 25 anos.
- (11) Estima-se que para cada R\$ 1,00 investido em sistemas de saneamento, um mínimo de R\$ 4,00 são poupados pelo sistema de saúde. Tomando o valor total das tecnologias vivas implantadas em Gaia Terranova (R\$ 2.013,54) multiplicado por 4, tem-se o total de R\$ 8.054,16 poupados pelo sistema de saúde.
- (12) Total de litros de água poupados, não poluídos, não contaminados e evitados tratar ao longo de 25 anos [(1) + (2) + (3) + (4) + (8)].

Nos cálculos não foram consideradas as faixas de consumo, com cobrança diferenciada por parte da concessionária, nem a porcentagem de contribuição do sistema de captação de águas da chuva instalado na residência, o que turva um pouco os resultados finais da mensuração. A valoração do composto, produto do manejo da biomassa vegetal produzida

nas tecnologias vivas, ao permanecer no sistema contribui de maneira ainda mais ativa que sua mera mensuração econômica, pois auxilia, entre outros, na manutenção da umidade local, no desenvolvimento de macro e microrganismos benéficos a solos e plantas, e como base para a produção local de alimentos de base orgânica, itens não valorados nesse trabalho. Embora seja linguagem comum a relação investimento em saneamento : economia em serviços de saúde ser da ordem de 1:4, divulgada inclusive em documentos oficiais, o autor não foi capaz de identificar na literatura a metodologia utilizada nesse cálculo, nem sua confirmação em artigos científicos.

No Brasil estamos longe ainda da universalização da oferta à população de água tratada e coleta e tratamento de esgotos, o que representa altos custos sociais, econômicos e ambientais. O sistema instalado em Gaia Terranova, mesmo considerando apenas os ganhos diretos que proporciona (R\$ 21.179,40), em 29 meses seria totalmente pago. Instalado em pequenas propriedades e pequenos adensamentos populacionais (vilas, distritos, condomínios), sejam peri-urbanos ou rurais, e notadamente naqueles em cuja bacia hidrográfica se faz a captação de águas para abastecimento público, a tecnologia viva aponta para a viabilidade econômica, sendo considerada sustentável também por esse parâmetro.

6.3. SUSTENTABILIDADE LEGAL

Do ponto de vista legal, as tecnologias vivas podem ser consideradas sustentáveis, se as mesmas, nos parâmetros medidos, atenderem à legislação quanto ao lançamento de efluentes em corpos d'água tendo por referência o estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N°. 1 (COPAM/CERH-MG, 2008), legislação mais restritiva que a Resolução CONAMA N°. 357 (CONAMA, 2005).

O detalhamento dos resultados encontram-se nos Anexos 1 e 2, ressaltando uma vez mais, que os efluentes tratados, sejam oriundos de águas cinzas ou pretas são integralmente reutilizados no próprio terreno e não dispostos nos corpos d'água, o que, por si só, deixaria de representar problemas quanto às restrições ao lançamento.

6.3.1. Resultado das análises de águas cinzas

Para as águas cinzas e considerando os limites superiores para ICs=99%, tem-se que a legislação é atendida em todos parâmetros avaliados: DQO entre 59,7 mg.L⁻¹ em LM2 (lagoa multifuncional 2) e 73,6 mg.L⁻¹ em B3 (após o banhado construído) com eficiência mínima de remoção entre 81,95% (B3/B2) e 85,36% (LM2/B2); pH entre 6,8 (B3) e 8,0 (LM3); turbidez de 34,8 NTU em LM1, 32,1 NTU em LM2 e 68,7 NTU em LM3; sólidos sedimentáveis entre 0,10 mL.L⁻¹ em B3 e 0,68 mL.L⁻¹ em LM1; sólidos suspensos totais entre 21,4 mg.L⁻¹ (B3), 32,4 mg.L⁻¹ (LM2) e 65,5 mg.L⁻¹ (LM2); sólidos dissolvidos totais de 458,8 mg.L⁻¹ (B3) e 471,5 mg.L⁻¹ (LM1); temperatura entre 25,5 °C (B3) e 26,8 °C (LM2). Quanto ao oxigênio dissolvido, por volta das 14h00 e tempo claro, as lagoas multifuncionais LM1, LM2 e LM3 alcançam o mínimo de 6,0 mg.L⁻¹ necessário ao lançamento, com picos que chegam a 11 mg.L⁻¹ em LM3. Como conclusão da dissertação, assume-se que há sustentabilidade das tecnologias vivas em termos ambientais, econômicos e legais, com águas cinzas resultando em efluentes tratados próximos a águas de Classe 1 (parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, demanda química de oxigênio, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais). A Tabela 6.11 auxilia nessa visualização, sendo a cor verde equivalente a “conformidade” e a cor vermelha equivalente a “desconformidade”.

Quanto às conformidades, pode-se dizer que (ver Anexo 1 para maior detalhamento):

- **Temperatura** - A temperatura média das águas em todo sistema, manteve-se em torno de 25°C, diminuindo ligeiramente após atravessar o banhado construído e voltando a aumentar crescentemente nas LM1, LM2 e LM3, não mudando significativamente ($\alpha=0,01$) esse valor ao longo das sucessivas etapas.
- **pH** - O pH, acompanhando a temperatura, mostra a mesma tendência de relativa baixa atravessando o banhado construído e posteriormente elevando nas. Os desvios padrões mostram grande estabilidade em B3 e LM2 e maior variância em LM3. Em todo sistema permanece próximo à neutralidade. Não há evidências para rejeitar a igualdade das médias para $\alpha=0,01$.

Tabela 6.11. Conformidade (verde) e desconformidade (vermelho) dos resultados das análises de águas cinzas tratadas em relação à legislação.

Parâmetro	Classe ¹	Lançamento	Conformidade, com 99% de confiança ($\alpha = 0,01$) - Águas Cinzas					
			B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Temp (°C)	-	Menor que 40°C	25,37	25,56	25,53	26,01	26,80	26,72
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,5-7,1	6,5-6,9	6,7-6,8	6,9-7,2	7,0-7,2	7,2-8,0
OD (mg.L ⁻¹)	> 6							8,54
		Classe 2: > 5						
		Classe 3: > 4					4,76	
		Classe 4: > 2	2,26	0,49	1,89	3,8		
Tur (NTU)	Até 40	Classes 2 e 3: até 100	343	267	192	35	32	69
DQO (mg.L ⁻¹)	-	Até 180	465,64	850,90	73,59	64,62	59,69	62,31
Efic. rem. DQO (%)	-	Mín de 55 e média ≥ 65	Em relação a B2 ²		81,95 e 90,76	84,15 e 91,42	85,36 e 92,80	84,71 e 91,70
SS (ml.L ⁻¹)	Até 1	Até 1	0,41	14,1	0,10	0,68	0,10	0,32
SST (mg.L ⁻¹)	Até 50	Classes 2 e 3: 100 (150 lagoas estab)	94,77	884,63	21,37	160,74	32,37	65,47
SDT (mg.L ⁻¹) – 95%	Até 500	Classes 2 e 3: 500	743,63	738,19	427,99	408,21	369,81	713,33
Cond. (mS.cm ⁻¹)	0 a 0,8	Anderson e Cummings ³	0,47	0,53	0,48	0,32	0,27	0,27
Alc. (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)			167,42	197,02	263,64	188,30	181,43	167,78

¹ Vedado o lançamento em águas Classe 1.

² Mínimas e médias em relação a B2.

³ Condutividade de 0 a 0,8 mS.cm⁻¹ indica: água potável para humanos (desde que sem poluição orgânica e não muito sólidos em suspensão); geralmente boa para irrigação, embora alguns cuidados devam ser tomados acima de 300 μ S/cm (0,3 mS/cm); adequado a todos os animais.

- **Oxigênio Dissolvido** - O Oxigênio dissolvido acompanhou fortemente a variação de luminosidade no período de estudo, como seria de se esperar, e em todas as medições a LM3 alcançou níveis mais altos em relação às demais. Isso se deve a dois fatores principais: (i) as LM2 e LM3 estão localizadas em ambiente um pouco mais aberto, recebendo mais insolação que a LM1; (ii) a presença de tilápias na LM3 (ausentes na LM2 e LM1), lançam resíduos ricos em nitrogênio nas águas, facilitando a proliferação de microrganismos fotossintetizantes (não identificados), tornando as águas esverdeadas. Entre 10h e 16h com maior incidência de raios solares na superfície, ocorre a elevação da temperatura do ar, solo e água. A maior disponibilidade de luz solar incidente e o aumento da temperatura da água, criam-se condições favoráveis para o incremento da fotossíntese, gerando excedentes de oxigênio dissolvido que alcança picos em todas as lagoas multifuncionais entre 14 e 18 horas, chegando a 11 mg.L^{-1} na LM3.
- **Turbidez** - Inicialmente elevada, a turbidez apresenta grande variação (DP) de entrada, indicando diferentes composições do efluente ao longo do dia e da semana, em sintonia com o ritmo da casa. Em dias de uso de máquina de lavar roupa, a turbidez tende a aumentar como resultado do aumento do uso de sabões e materiais por eles carregados. A turbidez diminui ao longo do sistema e em LM1 atinge níveis bem mais baixos. Tomando-se por base os valores de turbidez máxima e comparando-os com a legislação, tem-se que as LM1 e LM2 estão dentro da faixa de aceitação de turbidez para águas de Classe 1.
- **DQO** - Utilizando o programa Statdisk, procedeu-se à análise de variância das médias de B3, LM1, LM2 e LM3, mostrando que não há evidências para rejeição da hipótese nula de igualdade entre as mesmas, ou seja, para o parâmetro DQO, bastaria o banhado construído para atender à legislação de lançamento do efluente. Observando a Tabela 6.11, nota-se grande aumento da DQO em B2, onde o efluente sofre a ação de microrganismos que rapidamente consomem oxigênio durante os processos bioquímicos, permanecendo B2 em condição anaeróbia, estágio em que ocorre uma pré-digestão do efluente antes de sua passagem pelo banhado construído. A digestão dos microrganismos no processo de leitura da DQO deve ser o responsável pelo seu grande aumento em B2. Uma vez que há essa grande proliferação de micro e macrorganismos nessa etapa, isso se dá em função de farta disponibilidade de

nutrientes para seu crescimento, nutrientes que devem ser originados da digestão do efluente por esses mesmos microrganismos. Ao atravessar o banhado construído (B3), a DQO sofre uma grande redução, apontando para uma estabilização/mineralização dos compostos. A eficiência mínima do sistema variou de 81,95% (B3/B2) a 85,36% (LM2/B2), com média entre 90,76% (B3/B2) e 92,80% (LM2/B2), todos em conformidade com a legislação e indicando a necessidade/utilidade de uma câmara anaeróbia de digestão na entrada do sistema de tratamento.

- **Sólidos Sedimentáveis** - A legislação determina um máximo de 1 mg.L^{-1} de sólidos sedimentáveis tanto para águas de classe 1 como para lançamento de efluentes. O máximo esperado para a tecnologia viva estudada é de $0,68 \text{ mg.L}^{-1}$ (LM1), muito abaixo do limite estabelecido. Note-se que em B3 (saída do banhado construído) a quantidade de sólidos sedimentáveis é praticamente desprezível, bem como em LM2.
- **Sólidos Totais, Fixos e Voláteis** - A redução dos sólidos em B3 era esperada, em função da característica que o banhado tem de filtragem e transformação desses sólidos. Um relativo aumento dos sólidos fixos pode-se dar por conta da dissolução e/ou carreamento de partículas minerais existentes no meio de preenchimento (terra, areia e pedra brita). A redução de sólidos fixos em LM1 pode ser entendida como sedimentação ou mesmo retenção pelo sistema radicular das plantas presentes no sistema (principalmente aguapés), bem como a maior variação de sólidos voláteis pode se dar em função da variação na quantidade de microrganismos fotossintetizantes ao longo do período, ou mesmo em função de diferentes aportes de substâncias diversas oriundas dos diferentes usos e costumes dos moradores ao longo da semana (p.ex., lavagem de roupas que aumentem a incidência de fosfatos assimilados por microrganismos, aumentando a biomassa total, representada pelos sólidos voláteis), ou ainda seu trânsito pela coluna d'água em função de luminosidade, temperatura, oxigênio dissolvido, *etc.* Sendo LM2 a mais rasa das lagoas multifuncionais, as coletas de amostras podem ter incorporado sedimento rico em microrganismos (lodo), levando a um aumento médio dos sólidos voláteis, bem como de sua variância. Finalmente em LM3, o incremento de sólidos totais fixos pode-se dar em função da incorporação de carbonato e demais minerais por algas e microrganismos (parede celular, carapaças de proteção, *etc.*) em função de trocas intensificadas com a presença de peixes e liberação de nitrogênio nas águas. Com a morte dos microrganismos e

aumento na presença de compostos nitrogenados poderia ocorrer aumento de minerais, assim como com a vegetação presente no em torno da LM3 - seu fenecimento e dissolução de folhas, caules e raízes poderiam contribuir com esse aumento, ao que responderiam microrganismos com maior variação de sua população.

- **Sólidos Suspensos Totais** - B2 apresenta grande quantidade de sólidos suspensos, provavelmente os mesmos identificados pela DQO (micro e macrorganismos), partículas de sabões, micelas, *etc.* Os sólidos suspensos, retidos quase na totalidade em B3, voltam na LM1, apresentando erro amostral (DP) maior que a média das médias, talvez por influência de revolvimento das águas, liberando material particulado aderido às raízes das plantas, dissolução de folhas e raízes mortas, ou simplesmente erro laboratorial.
- **Sólidos Dissolvidos Totais** - A decisão tardia de realizar essa série fez com que o número de amostras trabalhadas fosse de apenas 4. Problemas laboratoriais (precisão de equipamento de pesagem), dificuldades operacionais (manipulação) e o pouco peso medido (diferenças na casa dos milésimos) interferiram fortemente na obtenção dos dados para sólidos dissolvidos, resultando no abandono de alguns dados de amostras. Pode-se aproveitar os resultados de 4 amostras para B2 e B3, 3 amostras para B1, LM1 e LM2 e apenas 2 amostras para LM3, com interferência direta nos desvios padrões, que superaram em muito as médias.
- **Condutividade** - Tomando-se os máximos esperados para condutividade, embora a legislação federal e mineira não especifiquem padrões para esse parâmetro, o trabalho de Anderson e Cummings (1999) indica que as águas cinzas em Gaia Terranova, principalmente de LM1 em diante e comparando com os dados de DQO e Sólidos Suspensos Totais, ambos indicando baixas concentrações, as águas cinzas podem ser caracterizadas (somente observando esses parâmetros) como:
 - Água potável para humanos (desde que sem poluição orgânica e não muitos sólidos em suspensão). Acrescente-se que, embora sem contato com águas pretas, a exposição das águas cinzas ao ambiente natural poderia levar à contaminação por coliformes fecais (pássaros, pequenos mamíferos, *etc.*), sendo interessante promover sua desinfecção;
 - Geralmente boa para irrigação, embora alguns cuidados devam ser tomados acima de $300 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ($0,3 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$);

- Adequadas a todos os animais.
- **Alcalinidade** - Águas cinzas carregam para o sistema, dentre outros, sabões, detergentes e xampus contendo compostos alcalinos como hidróxido de potássio (KOH), carbonato de sódio (Na_2CO_3), sulfato de sódio (Na_2SO_4), hipoclorito de sódio (NaOCl), *etc.*, sendo provavelmente os responsáveis pelo aumento da alcalinidade ao liberarem hidroxilas e álcalis (carbonatos, sulfatos) como resultado das reações bioquímicas que ocorrem durante sua degradação em B1 e B2.

Em relação às desconformidades, salienta-se que:

- A turbidez em B3 seria facilmente resolvida por um processo simples de filtração em areia, ou mesmo ampliação do banhado, colocando todo o sistema dentro da legislação de lançamento já nessa fase.
- Os sólidos suspensos totais em LM1 aumentaram consideravelmente (161 mg.L^{-1}) em relação ao estágio anterior e posterior, devido a grande variação no desvio padrão ($71,42 \text{ mg.L}^{-1}$) das médias das coletas ($60,67 \text{ mg.L}^{-1}$), provocado, supõe-se, pela ressuspensão de partículas aderidas nos pelos das raízes dos aguapés em função do manejo durante a coleta e/ou incidência de chuvas no período de coleta. Filtração simples em tanque de areia resolveria o problema.
- Para os sólidos dissolvidos totais em LM3, infere-se sejam resultado da descarga de resíduos dos peixes presentes na lagoa e, principalmente, ao baixíssimo n obtido ($n=2$), comprometendo fortemente os resultados, já que a média das duas amostras aproveitadas foi de $338,50 \text{ mg.L}^{-1}$. Como possibilidades para o atendimento às normas de lançamento: (a) ampliação do número de amostras analisadas; (b) retirada dos peixes do sistema, deixando a água em condições semelhantes àquelas de LM2.

6.3.2. Resultado das análises de águas pretas

Para águas pretas a legislação é atendida nos seguintes parâmetros: DQO de $124,37 \text{ mg.L}^{-1}$ em N2 (após filtro biológico), alcançando $72,4 \text{ mg.L}^{-1}$ em N3 (saída do banhado construído) em tempo seco, com eficiência mínima de remoção, em dias de chuva, de 80,74% (N2/N1) e 72,4% (N3/N1). Para dias sem chuva, permanece o percentual de 80,74% (N2/N2), aumentando para 77,3% a eficiência mínima de N3/N1 . A eficiência média, com chuva, é de

91,39% (N2/N1) e 92,97% (N3/N1), enquanto em dias secos a eficiência de N2/N1 permanece, aumentando para 94,16% a eficiência de N3/N1. Os outros parâmetros analisados apresentam os seguintes resultados: pH de 7,82 em N2 e 7,86 em N3; turbidez de 35,37 NTU em N3 (tempo seco); sólidos sedimentáveis com 0,12 mL.L⁻¹ em N3 e 0,17 mL.L⁻¹ em N2; sólidos suspensos totais dentro da norma se considerada média obtida de 60,6 mg.L⁻¹, mas fora da norma para IC=99% com 108,0 mg.L⁻¹. Sólidos dissolvidos totais (735,3 mg.L⁻¹ em N2 e 803,9 mg.L⁻¹ em N3) bem como coliformes totais ($3,65 \cdot 10^5$ NMP) e *Escherichia coli* ($2,01 \cdot 10^5$ NMP) não atendem aos padrões de lançamento. A Tabela 6.12 facilita a visualização desses números, novamente adotando-se a cor verde para “conformidade” e a cor vermelha para “desconformidade” em relação à legislação.

Sobre as conformidades, poder-se-ia indicar (informações detalhadas no Anexo 2):

- **pH** - A literatura (ERCOLE, 2003) aponta para efluentes de águas pretas mais ácidas em relação às águas cinzas, embora não apresente valores. Os valores mais básicos encontrados talvez possam estar associados aos hábitos alimentares dos residentes, mais naturais e integrais, com alimentos ricos em fibras e pouca proteína animal. Uma ligeira elevação do pH em N3 poderia ser devido aos materiais de preenchimento a partir da base, composto de entulho de obra (tijolos, telhas, madeira, pedra brita e torrões de massa de assentamento, compostos por areia, cal e cimento).
- **Turbidez** – O limite máximo obtido sem chuva, coloca o efluente de N3 dentro dos parâmetros legais de águas de Classe 1 (abaixo de 40 NTU). Já o tempo chuvoso fez com que esse máximo saltasse para 258,53 NTU, excluindo seu lançamento mesmo para corpos d’água classes 2 e 3, o que poderia ser facilmente revertido instalando-se um filtro de areia de ação vertical descendente após o banhado construído, evitando-se lançar o efluente quando sob tempo chuvoso, ou mesmo mantendo o banhado coberto (o banhado, por exemplo, poderia ser instalado em uma estufa, por exemplo, em regiões onde a ocorrência de chuvas fosse muito intensa).

Tabela 6.12. Conformidade (verde) e desconformidade (vermelho) dos resultados das análises de águas pretas tratadas em relação à legislação.

Parâmetro	Classe 1 ¹	Lançamento	Conformidade, com 99% de confiança ($\alpha = 0,01$) - Águas Pretas		
			N1	N2	N3
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	8,99	7,82	7,86
Tur (NTU)	Até 40	Classes 2 e 3: até 100 (com chuva)	1328,04	248,64	258,53
		(sem chuva)	1328,04	248,64	35,37
DQO (mg.L ⁻¹)	-	Até 180 (com chuva)	1678,24	124,37	146,60
		(sem chuva)	1678,24	124,37	72,40
Efic. rem. DQO (%)	-	Mín de 55 e média $\geq$ 65 (com chuva)	Em relação a N1	80,74 e 91,39	77,30 e 92,96
		(sem chuva)	Em relação a N1	80,74 e 91,39	88,79 e 94,16
SS (ml.L ⁻¹)	Até 1	Até 1	12,69	0,17	0,15
SST (mg.L ⁻¹)	Até 50	Classes 2 e 3: 100 (150 lagoas estab)	832,99	191,78	108,02
SDT (mg.L ⁻¹)	Até 500	Classes 2 e 3: 500	1210,46	735,33	803,89
CT (NMP/100ml)	< 200		3,87E+07	(99,06%)	3,65E+05
E. coli (NMP/100ml)	<1000				
	Classe 3: <2500		2,01E+07	(99,00%)	2,01E+05
Cond.(mS.cm ⁻¹) ¹⁾	0,8 a 2,5	Anderson e Cummings ²	1,58	2,36	2,15
Alc. (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)			528,78	847,12	901,86

¹ Vedado o lançamento em águas Classe 1.

² Condutividade de 0,8 a 2,5 mS.cm⁻¹ indica: água que pode ser consumida por humanos, embora se prefiram águas na metade inferior do intervalo, se disponível; quando utilizada para irrigação requer manejo especial, incluindo solos adequados, boa drenagem e considerações sobre tolerância das plantas à salinidade; adequada a todos os animais.

- **Demanda Química de Oxigênio** – Quando de dia chuvoso, houve variação dos dados, presume-se em função de matéria orgânica acumulada na superfície do banhado (folhas e talos em decomposição, fezes de pequenos animais, larvas, *etc.*), carregada para a subsuperfície pela chuva incidente, contaminando assim o efluente que chega próximo à superfície ascendendo do fundo. Com os máximos calculados para a tecnologia viva de tratamento de águas pretas de 72,40 mg.L⁻¹ (sem chuva) e 146,60 mg.L⁻¹ (com chuva), em ambos os casos atende-se à legislação, com uma confiança de 99%. A eficiência dos sistemas de tratamento para remoção de DQO, prevê a legislação, deve ser no mínimo de 55%, com média anual igual ou maior que 65%. Na tecnologia viva de tratamento de águas pretas a eficiência mínima, em dias chuvosos, foi de 77,3% (N3/N1) e 80,74 (N2/N1). Já em dias sem chuva, o sistema apresentou entre N3 e N1, eficiência média de 94,16%, sendo a mínima de 88,79%, e a máxima de 96,23%, estando muito acima do preconizado pela legislação.
- **Sólidos Sedimentáveis** – Os limites máximos de 0,17 mg.L⁻¹ (N2) e 0,15 mg.L⁻¹ (N3) estão muito abaixo do limite de 1 mg.L⁻¹ permitido para lançamento.
- **Sólidos Totais** - Em N1 sobressaem os sólidos voláteis, microrganismos presentes no material sólido fecal de entrada. Esses voláteis sofrem redução de 70,81% em N2 (após o filtro biológico), provavelmente por conta de sua adesão ao meio filtrante e relativa baixa disponibilidade de matéria orgânica, previamente digerida ainda em N1, que parece funcionar também como digestor, além de decantador. Isso parece ocorrer em função do elevado tempo de detenção hidráulica, devido ao superdimensionamento do sistema proposto por Sanguinetto (2009), que tomou por base a NBR 7.229 (1993) que, por sua vez, desconsidera a separação entre águas cinzas e pretas aumentando o volume total do sistema de tratamento. Com menor volume de entrada e mais concentrada, a matéria orgânica inicial tende a ser digerida com maior eficiência pelos microrganismos presentes em N1, cabendo a N2 a filtragem dos excedentes e digestão do lodo carregado da câmara anterior e daquele acumulado no próprio filtro e seu substrato. Dessa forma, um volume projetado para receber águas cinzas e pretas (total de 130 litros.pessoa⁻¹.dia⁻¹), recepcionando apenas águas pretas (30,7 litros.pessoa⁻¹

¹.dia⁻¹), resulta num tempo de detenção próximo de 58 dias, contando os volumes úteis de N1 e N2. Por outro lado, os sólidos totais fixos tiveram um acréscimo de 4,3%, especula-se por conta da dissolução de parte do material filtrante de N2, composto por bambu.

- **Sólidos Suspensos Totais** - Sólidos suspensos totais são aqueles retidos em filtro, podendo ser fixos ou voláteis. A eficiência de remoção de N2/N1 é de 77,62%, chegando a 88,08 de N3/N1. Considerando que os sólidos totais no sistema em estudo são compostos principalmente de biomassa, como mostrou a evolução de Sólidos Totais Voláteis, infere-se que a maior parte dos sólidos retidos no filtro são também compostos por biomassa. A certeza viria com o fracionamento dos sólidos suspensos totais em fixos e voláteis. Porém diferenças de pesagem na casa dos centésimos e milésimos comprometeram os resultados e os dados foram descartados.
- **Sólidos Dissolvidos Totais** - A legislação não determina limites de lançamento para sólidos dissolvidos, mas regula que o máximo seja de 500 mg.L⁻¹ para águas de Classe 1, 2 e 3. A tecnologia viva supera esse limite, tanto para N2 como para N3, não atendendo à legislação. Especula-se que isso se dê em função do material de preenchimento, de um lado o bambu no filtro (N2) liberando partículas minerais; e de outro o material de preenchimento do banhado (N3), também liberando partículas minerais.
- **Coliformes Totais e E. coli** - Tanto os coliformes totais como a *E. coli*, embora reduzidos em 99%, estão em desconformidade com a legislação. Dado não ocorrer o lançamento em corpos d'água e o solo fazer o polimento final do efluente, antes de ser absorvido pela linha de bananeiras, considera-se que esse parâmetro não representa risco às pessoas e animais.
- **Condutividade** - Como ocorre com as águas cinzas, a digestão da matéria orgânica presente nas águas pretas libera íons no meio e, portanto, eleva os valores em N2. A manutenção de valores semelhantes em N3 (Tabela 6.32 e Figura 6.72) sugere que esses íons permanecem livres no efluente, ou então que absorções pelas plantas em N3 foram equilibradas por eventuais liberações de novos íons à partir dos materiais de preenchimento utilizados no banhado construído (tijolos, telhas, madeiras, pedra brita e, principalmente, blocos de massa de assentamento, compostos por areia, cal e cimento).

- **Alcalinidade** - O aumento da alcalinidade poder-se-ia dar em função do preenchimento do filtro biológico com bambu, ocasionando a solubilização de compostos básicos que aumentariam a alcalinidade do sistema. A maior variação em N3 ocorreu justamente na noite em que choveu, indicando alguma interferência, solubilizando ou revolvendo compostos básicos presentes na superfície do sistema e misturando-os ao efluente vindo de N2. Embora em N2 e N3 tenha-se encontrado valores bastante altos para alcalinidade, Florêncio, Bastos e Aisse (2006) reportam valores entre 200 e 700 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ para esgotos tratados. Ao encontrar valores médios diferentes de alcalinidade para águas cinzas (138,06 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ em B1, na entrada do sistema) e pretas (370,13 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ N1, na entrada do sistema), o presente estudo indica diferenças expressivas em relação à alcalinidade encontrada para efluentes fracionados. Tomando-se a média de alcalinidade na entrada dos sistemas, tem-se 254,10 mg $\text{CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, dentro portanto da faixa apresentada acima.

Em relação às desconformidades, poder-se-ia dizer que, de maneira geral não representam problema ou mesmo risco à saúde, uma vez que o polimento final do efluente se dá no solo, subsuperficialmente e finaliza sendo absorvido pela linha de bananeira. Algumas considerações, no entanto, podem ser acrescentadas:

- A turbidez em N3 pode ser baixada com sistema de filtragem em tanque de areia.
- A legislação define como limites para sólidos suspensos totais os valores de 50 mg.L⁻¹ para águas de Classe 1, 100 mg.L⁻¹ para águas de Classe 2 e 3, e até 150 mg.L⁻¹ quando o despejo ocorrer em lagoas de estabilização. Lembrando que esses são valores de referência para a tecnologia viva estudada, uma vez que os efluentes permanecem no terreno alimentando a linha de bananeiras, tem-se que para uma confiança de 99%, somente N3 estaria enquadrado, e mesmo assim se lançasse seus efluentes em uma lagoa de estabilização. Adotando um α de 0,05, menos restritivo, N3 teria um máximo de 89,19 e estaria apto ao lançamento em águas Classe 2 e 3. No entanto, em se tratando de sólidos suspensos, bastaria que o efluente passasse por um processo simplificado de filtragem, um tanque de areia, ou mesmo fosse direcionado para um banhado construído como o das águas cinzas, que funciona também como filtro. Outra alternativa seria refazer o banhado construído, fazendo-o com fluxo

descendente no lugar do atual ascendente e/ou incorporando uma camada de areia entre o material de preenchimento de fundo e o de superfície.

- Os sólidos dissolvidos totais, à luz do aumento da condutividade em relação às águas cinzas, mostra a presença de íons no efluente, devido talvez à dissolução de material de preenchimento no filtro biológico e banhado construído. Sua diminuição poder-se-ia dar por meio da ampliação do banhado, crescimento das plantas ou disposição nas lagoas multifuncionais.

- A presença de coliformes fecais na água, por si só, não representa risco à saúde mas, sendo indicador de sua contaminação, é também indicador da presença de outros microrganismos potencialmente perigosos, que podem concorrer para o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, como a febre tifóide, paratifóide, disenteria bacilar e cólera. No caso de esgotos ou efluentes tratados utilizados em sistemas de irrigação, Coraucci Filho *et al.* (2001) lembram que, em se tratando de saúde pública, para que uma doença efetivamente se instale em uma pessoa ou população, seria necessário satisfazer algumas condições: (i) O patógeno esteja presente em certa concentração no campo irrigado; (ii) A concentração se mantenha ou atinja níveis de dose infectiva; (iii) A dose infectiva alcance e penetre uma pessoa sã; (iv) Esta infecção efetivamente provoque agravo à saúde da pessoa. Segundo os autores, os fatos demonstram que o risco de agravos à saúde em decorrência da utilização de esgotos e efluentes tratados em irrigação são superestimados. Em relação a esse ponto, Florêncio *et al.* (2006) relatam diretrizes da Organização Mundial da Saúde – OMS para uso agrícola de esgotos sanitários, corroborada por diretrizes do PROSAB, em que técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, caso dos tanques sépticos e reatores UASB, associados a técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização de exposição aos riscos associados a esses patógenos, vale dizer irrigação subsuperficial, admitem a presença nos efluentes tratados de até 10^6 NMP.100mL⁻¹ de *E. coli*, sendo dispensável o padrão de ovos de helmintos que, em outros usos deve ser menor ou igual a 1 ovo.L⁻¹.

6.3.3. Resumo dos resultados

Tomando o disposto na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N°. 1 (MINAS GERAIS, 2008) e a Resolução CONAMA N°. 357 (BRASIL, 2005), explicitou-se os estágios em que se obtém a conformidade mostrados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13. Parâmetros e valores de águas Classe 1, limites para lançamento de efluentes e conformidade das tecnologias vivas.

Parâmetro	Águas Classe 1 (1)	Lançamento de efluentes	Conformidade, com 99% de confiança ($\alpha = 0,01$) (2)	
			Águas Cinzas	Águas Pretas
Temperatura (°C)	-	Menor que 40°C	Todas	Não medido
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	Todas	N1, N2, N3
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	> 6		LM3 (3)	Não medido
		Classe 2: > 5	LM3	
		Classe 3: > 4	LM2, LM3	
		Classe 4: > 2	B1, LM1, LM2, LM3	
Turbidez (NTU)	Até 40		LM1, LM2	N3 (6)
		Classes 2 e 3: até 100	LM1, LM2, LM3	N3 (6)
DQO (mg.L ⁻¹)	-	Até 180	B3, LM1, LM2, LM3	N2, N3
Eficiência na remoção de DQO (%)	-	Mínimo de 55 e média anual igual ou maior que 65	B3, LM1, LM2, LM3 (4)	N2, N3 (7)
Sólidos sedimentáveis (ml.L ⁻¹)	Até 1	Até 1	B1, B3, LM1, LM2, LM3	N2, N3
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	Até 50		B3, LM2	Não atende
		Classes 2 e 3: 100 (150 pra lagoas de estabilização)	B1, B3, LM2, LM3	N3 (8) (N3)

Parâmetro	Águas Classe 1 (1)	Lançamento de efluentes	Conformidade, com 99% de confiança ($\alpha = 0,01$) (2)	
			Águas Cinzas	Águas Pretas
Sólidos dissolvidos totais (mg.L ⁻¹)	Até 500	Classes 2 e 3: 500	B3, LM2 (5)	Não atende
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	< 200		Não medido	Não atende
		Classes 2: <1000 Classe 3: <2500		

(1) Vedado o lançamento. COPAM/CERH-MG Nº. 1 (MINAS GERAIS, 2008).

(2) Estágios da tecnologia viva que atendem à Legislação, considerando os limites superiores do Intervalo de Confiança de 99%.

(3) Média máxima esperada para LM3. A depender das condições do tempo e horário, o lançamento poder-se-ia dar também a partir de LM1 e LM2.

(4) Em todo sistema, as médias variam entre um mínimo de 78,66% de B3/B1, e um máximo de 92,80% de LM2/B2.

(5) Para um IC de 95%, poder-se-ia considerar também a LM1.

(6) Dias de tempo bom, sem chuva.

(7) A eficiência de remoção de DQO varia de 91,26% (máximo com chuva) a 95,69% (máximo sem chuva).

(8) Dentro da norma, se considerado IC de 95%. Facilmente resolvido com filtragem em tanque de areia.

6.4. COMPARAÇÃO COM OUTROS TRABALHOS

Muitas são as pesquisas que vem sendo realizadas nas universidades em relação a diferentes arranjos e tecnologias de tratamento de efluentes, principalmente aquelas no âmbito do PROSAB, embora a grande maioria esteja ainda imbuída pelo desenvolvimento de soluções centralizadas, de alto custo de implantação, operação e manutenção, requerendo sempre pessoal especializado e abordagens químicas ou de alta tecnologia. Muitos são também os pesquisadores, notadamente pessoal mais jovem, que tem-se dedicado à pesquisa e desenvolvimento de sistemas simplificados, de baixo custo e alta eficiência de tratamento de efluentes, como Galbiati (2009), Valipoura, Ramanb e Ghole (2009), Zanella (2008), Ercole (2003) e Van Kaick (2002), apenas para citar alguns. Muitos destes são orientados ou inspirados por novas visões de mundo, pensando, construindo e analisando sistemas desenvolvidos e utilizados pela Permacultura e *design* ecológico, contribuindo diretamente para a construção de pontes entre conhecimentos científicos e tradicionais, de modo que o melhor dos dois mundos se apresente para a sociedade.

Dentro desse espírito de colaboração e evolução do conhecimento, a Tabela 6.14 estabelece um comparativo entre diversos estudos, pesquisas e práticas e as Tecnologias Vivas, lembrando que os valores destas correspondem ao limite superior de um intervalo de confiança de 99%.

- **pH** – os parâmetros se mantêm próximos à média de 7,50 para todos os sistemas, parecendo não alterar significativamente o tipo de tratamento utilizado. Seguindo Anderson e Cummings (1999), em relação às tecnologias vivas, o efluente de B3 (águas cinzas) não apresenta restrições à utilização na agricultura, sendo o maior valor encontrado em LM3, indicando restrição de leve a moderada em sua utilização na agricultura, o mesmo se dando para o efluente em N3;
- **Oxigênio dissolvido** – a degradação da matéria orgânica consome oxigênio e condições anaeróbias impedem trocas gasosas com o exterior, mantendo o efluente desprovido de O₂. Desejando-se que esse elemento se incorpore ao efluente, por exemplo para auxiliar na diminuição de organismos patogênicos, os banhados construídos auxiliam bastante no processo, via trocas gasosas proporcionadas pelas raízes das plantas utilizadas nos sistemas. O *bio-rack* (VALIPOURA, RAMANB e GHOLE, 2009) aponta para um sistema simples e bastante eficiente nesse parâmetro, assim como as lagoas multifuncionais, especialmente a LM3, onde o oxigênio dissolvido alcançou picos próximos a 11 mgO₂.L⁻¹;
- **Condutividade** – os valores obtidos pela tecnologia viva de águas cinzas são semelhantes aos obtidos por Zanella (2008), não representando restrição para uso na agricultura (ANDERSON e CUMMINGS, 1999). Valores bem mais elevados foram obtidos pela tecnologia viva de tratamento de águas pretas, semelhante aos obtidos no TEvap de Galbiati (2009), que tratou águas pretas somente e que representam restrição leve a moderada de acordo com Anderson e Cummings (1999);
- **Turbidez** – sendo uma medida física de espalhamento da luz em relação a uma solução padrão, a turbidez aponta para sólidos em suspensão na água, o que pode ser resolvido por um processo de filtragem simplificada, utilizando areia. Essa mesma função o banhado construído poderia exercer ao final do tratamento, como parecem indicar as *wetlands* de Zanella (2008) e o banhado construído na tecnologia viva de águas pretas; devido ao tempo de residência e pouca movimentação da água, nas LM1

e LM2 a decantação cumpre o mesmo papel, diferente de LM3, onde a presença de peixes revolve constantemente o fundo da lagoa, mantendo elevada sua turbidez;

- **Alcalinidade** – relativamente baixa na tecnologia viva de tratamento de águas cinzas, para as águas pretas seu valor se eleva consideravelmente, aproximando-se daqueles obtidos por Galbiati (2009), indicando serem as águas pretas as principais contribuintes para esse parâmetro;
- **DQO** – tanto as águas cinzas como as águas pretas tratadas pelas tecnologias vivas apresentaram melhores resultados em relação às demais, com excessão do TEvap de Galbiati (2009);
- **Eficiência de remoção de DQO** – nas tecnologias vivas essa eficiência superou todas as expectativas e se manteve muito acima das demais. Chama a atenção a eficiência de 95,69% obtida na tecnologia viva de tratamento de águas pretas, possivelmente devido ao alto tempo de retenção hidráulica, devido ao superdimensionamento do sistema seguindo as normas da ABNT;
- **Sólidos sedimentáveis** – a única comparação aqui possível é em relação ao obtido por Sobrinho e Jordão (2001), que apresentaram resultados muitíssimo maiores (10 a 15 mL.h⁻¹) em relação às tecnologias vivas, variando de 0,10 mL.h⁻¹ a 0,68 mL.h⁻¹;
- **Sólidos totais** – apresentando valores menores para a tecnologia viva de águas cinzas, o resultado para águas pretas foi bem maior e novamente se aproxima daquele obtido por Galbiati (2009) trabalhando apenas com águas pretas;
- **Sólidos suspensos totais** – B3 e LM2 apresentaram valores semelhantes e não tem restrições quanto à utilização na agricultura (ANDERSON e CUMMINGS, 1999), bem como a maioria dos sistemas apresentados. N3 apresenta valor elevado e teria severas restrições quanto ao uso em agricultura, representado pela possibilidade de obstrução em sistemas de irrigação, o que não se aplica a Gaia Terranova, mas que poderia ser facilmente resolvido com uma filtragem em tanque de areia;
- **Sólidos dissolvidos totais** – os valores encontrados para esse parâmetro ficaram bastante comprometidos devido à perda de dados, o que influenciou diretamente no grande desvio padrão observado e nos altíssimos valores encontrados para um $\alpha = 0,01$. Ainda assim, B3, LM1, LM2 e N3 apresentam efluentes com restrição de ligeira a moderada para utilização na agricultura (ANDERSON e CUMMINGS, 1999);

- **Coliformes totais** – os dados de N3 e de Valipoura, Ramanb e Ghole (2009) se assemelham e estão em conformidade com os outros sistemas;
- **Coliformes termotolerantes** – N3 se encontra dentro da mesma faixa obtida em outros sistemas.
- **Custo de implantação** – a tecnologia viva de tratamento de águas pretas apresentou custo inferior ao de Van Kaick (2002) e Florêncio (2006), estando dentro do esperado para Sobrinho e Jordão (2001). Em relação ao *bio-rack* de Valipoura, Ramanb e Ghole (2009), a tecnologia viva de águas pretas apresentou um custo mais elevado, porém a de águas cinzas foi menor.

Tabela 6.14. Comparação entre diversos sistemas e as Tecnologias Vivas.

	UASB + <i>wetland</i> Sobrinho e Jordão (2001)	Tanque séptico + zona de raízes Van Kaick (2002)	UASB + pós- tratamento Oliveira e Von Sperling (2005) (1)	Tanque séptico + filtro anaeróbio Ávila (2005)	Tanque séptico + filtro anaeróbio + <i>wetland</i> Florêncio (2006)	TEvap para águas pretas Galbiati (2009) (2)	Tratamento anaeróbio + <i>wetland</i> com brita e <i>wetland</i> com bambu Zanella (2008)	<i>Bio-rack</i> Valipoura, Ramanb e Ghole (2009)	Restrição de uso na irrigação Florêncio (2006); Anderson e Cummings (1999) (3)			Tecnologias vivas em Gaia Terranova. Limites superiores para Intervalo de Confiança de 99%	
									<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Águas Cinzas	Águas Pretas (N3)
Temperatura (°C)												25,53 (B3) a 26,80 (LM2)	
pH		7,84				7,81	6,5 a 8,5	7,23	< 7	7 a 8	> 8	6,84 (B3) a 8,00 (LM3)	7,86
Oxigênio Dissolvido (OD, mg.L ⁻¹)						0,00	1,8 a 3,3	3,28				1,89 (B3) a 8,54 (LM3)	
Condutividade (mS.cm ⁻¹)						2,45	0,56 a 0,63		0 a 0,8	0,8 a 2,5	2,5 a 10	0,27 (LM2) a 0,48 (B3)	2,36

Tabela 6.14. Comparação entre diversos sistemas e as Tecnologias Vivas (cont.).

	UASB + <i>wetland</i> Sobrinho e Jordão (2001)	Tanque séptico + zona de raízes Van Kaick (2002)	UASB + pós- tratamento Oliveira e Von Sperling (2005) (1)	Tanque séptico + filtro anaeróbio (2005) Ávila	Tanque séptico + filtro anaeróbio + <i>wetland</i> Florêncio (2006)	TEvap para águas pretas Galbiati (2009) (2)	Tratamento anaeróbio + <i>wetland</i> com brita e <i>wetland</i> com bambu Zanella (2008)	<i>Bio-rack</i> Valipoura, Ramanb e Ghole (2009)	Restrição de uso na irrigação Florêncio (2006); Anderson e Cummings (1999) (3)			Tecnologias vivas em Gaia Terranova. Limites superiores para Intervalo de Confiança de 99%	
									a	b	c	Águas Cinzas	Águas Pretas (N3)
Turbidez (NTU)				71 a 113		88,01	12,5 a 48,1					32,11 (LM2) a 192,39 (B3)	35,37
Alcalinidade (mgCaCO ₄ .L ⁻¹)						1061,56	276 a 326					167,78 (LM3) a 263,64 (B3)	901,86
Demanda Química de Oxigênio (DQO, mg.L ⁻¹)		108,5	60 a 200 61 a 219	94	100 a 200	406,05	57,6	84,4				62,30 (LM3) a 73,60 (B3)	72,40
Eficiência de remoção de DQO (%)	79 a 83		65 a 90 64 a 86	68,5	70 a 85		23,1 a 63,9	75,15				84,20 (B3) a 92,99 (LM2)	95,69

Tabela 6.14. Comparação entre diversos sistemas e as Tecnologias Vivas (cont.).

	UASB + <i>wetland</i> Sobrinho e Jordão (2001)	Tanque e séptico + zona de raízes Van Kaick (2002)	UASB + pós- tratament o Oliveira e Von Sperling (2005) (1)	Tanque séptico + filtro anaeróbi o Ávila (2005)	Tanque séptico + filtro anaeróbi o + <i>wetland</i> Florêncio (2006)	TEvap para águas pretas Galbiati (2009) (2)	Tratament o anaeróbio + <i>wetland</i> com brita e <i>wetland</i> com bambu Zanella (2008)	<i>Bio-rack</i> Valipoura , Ramanb e Ghole (2009)	Restrição de uso na irrigação Florêncio (2006); Anderson e Cummings (1999) (3)			Tecnologias vivas em Gaia Terranova. Limites superiores para Intervalo de Confiança de 99%	
									<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Águas Cinzas	Águas Pretas (N3)
Sólidos Sedimentáveis (SS, mL.h ⁻¹)	10 a 15											0,10 (B3 e LM2) a 0,68 (LM1)	0,15
Sólidos Totais (ST, mg.L ⁻¹)						746,75						318,43 LM2) a 407,24 (B3)	880,67
Sólidos Suspensos Totais (SST, mg.L ⁻¹)	≤ 20		10 a 90 17 a 85	17	20 a 60	37,74	10,8 a 17,9	46	< 50	50 a 100	> 10 0	21,37 (B3) a 160,74 (LM1)	108,02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT, mg.L ⁻¹)								307,2	< 45 0	450 a 200 0	> 20 00	458,76 (B3) a 2216,4 (LM3)	803,89

Tabela 6.14. Comparação entre diversos sistemas e as Tecnologias Vivas (cont.).

	UASB + <i>wetland</i> Sobrinho e Jordão (2001)	Tanque séptico + zona de raízes Van Kaick (2002)	UASB + pós- tratamento Oliveira e Von Sperling (2005) (1)	Tanque séptico + filtro anaeróbio Ávila (2005)	Tanque séptico + filtro anaeróbio + <i>wetland</i> Florêncio (2006)	TEvap para águas pretas Galbiati (2009) (2)	Tratamento anaeróbio + <i>wetland</i> com brita e <i>wetland</i> com bambu Zanella (2008)	<i>Bio-rack</i> Valipoura, Ramanb e Ghole (2009)	Restrição de uso na irrigação Florêncio (2006); Anderson e Cummings (1999) (3)			Tecnologias vivas em Gaia Terranova. Limites superiores para Intervalo de Confiança de 99%	
									a	b	c	Águas Cinzas	Águas Pretas (N3)
Coliformes totais (NMP)		$2,2 \times 10^5$ a 5×10^6	10^2 a 10^7 9×10^3 a 3×10^7			$3,24 \times 10^7$	$4,0 \times 10^4$ a $6,0 \times 10^6$	$3,88 \times 10^5$					$3,65 \times 10^5$
Coliformes termotolerantes (<i>E. Colli</i> , NMP)		$2,2 \times 10^4$ a 5×10^6			10^4 a 10^7	$3,71 \times 10^6$	$1,0 \times 10^3$ a $6,0 \times 10^5$						$2,01 \times 10^5$
Custo de implantação (R\$.hab ⁻¹)	70 a 100	142,60			130,00 a 250,00 (5)			36,00				23,11 (4)	112,09 (4)

(1) Concentrações efluentes usuais reportadas e concentrações médias observadas.

(2) TEvap – tanque de evapotranspiração para tratamento de águas pretas.

(3) Restrição de uso: (a) nenhuma – ausência de problemas potenciais nas culturas, no solo ou nos sistemas de irrigação; (b) ligeira a moderada – exige cuidado na seleção das culturas e das alternativas de manejo para se garantir o máximo potencial de rendimento; (c) severa – indica o aparecimento de problemas maiores no solo, nas culturas ou nos sistemas de irrigação e exige estratégias de manejo efetivas para se preservar rendimentos aceitáveis. Os valores atribuídos para cada categoria de restrição são apenas indicativos. Valores de pH e SST referem-se a possíveis problemas de obstrução em sistemas de irrigação.

(4) Incorpora custos com esgotamento sanitário do efluente e implantação, operação e manutenção das tecnologias vivas. Superdimensionado e podendo atender até 58 pessoas, o custo da tecnologia viva de águas pretas cairia para R\$ 23,75 por pessoa.

(5) Somatório do custo de implantação, operação e manutenção. Não incorpora investimentos no sistema de esgotamento sanitário.

6.5. SOBRE SISTEMAS VIVOS

Sistemas vivos necessitam de fluxo constante de matéria (alimento) e energia. Sistemas autopoieticos, vivos ou não, são aqueles capazes de autogerar-se, sendo abertos para o fluxo de matéria e energia e fechados em sua estrutura de modo a poderem realizar as reações necessárias ao seu crescimento. Com o crescimento, esses sistemas podem chegar a um ponto a partir do qual o desdobramento é a replicação. Os padrões subjacentes aos sistemas estão na base de sua organização e relações, de modo que refletindo ou reproduzindo um determinado padrão, “naturalmente” se desenvolverão estruturas por eles determinados. O padrão humano nos permite reconhecer humanos em todo planeta, embora a estrutura de cada indivíduo se modifique em função do ambiente e das relações tecidas com o mesmo.

Um sistema autosustentável (um sítio, empresa, comunidade, escola ou sociedade) só pode existir como parte de um sistema maior, em relações múltiplas, complexas, com o meio, podendo evoluir para a autopoiese e posterior replicação. Para que isto ocorra é preciso evoluir, crescer. A energia e matéria em fluxo constante têm que se dar de forma que o gasto ou custo seja menor que os produtos oriundos do processo. Energia farta e ilimitada provém do Sol. Sistemas vivos como as plantas captam com eficiência a energia solar, transformando-a em energia química, trabalho e componentes estruturais que permitem a manutenção do sistema e sua possível replicação.

Gaia Terranova se utiliza desse conhecimento para gerar matéria vegetal para recomposição da qualidade do solo, a partir do qual ampliam-se as possibilidades de aumento de produtividade via incorporação de matéria orgânica que, por sua vez amplia a vida microbiana responsável pela degradação dessa matéria, liberando nutrientes que são utilizados na produção de nova safra e novos alimentos. Estes, colhidos, suprem as necessidades energéticas e estruturais dos moradores e, descartados com os efluentes, são tratados e retornam ao sistema num ciclo fechado, eventualmente autopoietico. Parte desses nutrientes, não descartados com os efluentes (talos, cascas, folhas, *etc.*) são destinados a composteiras que têm a função de degradar a matéria e ciclar os nutrientes, formando adubos ricos que retornam ao solo na produção de alimentos que, colhidos, fecham novamente o ciclo ao serem ingeridos e descartados pelos moradores.

Eventuais excedentes de um sistema assim concebido poderiam ser convertidos em energia (biocombustíveis: biogás, álcool, biodiesel) e utilizados em máquinas para trabalhos

diversos potencializando o sistema, ou sendo exportados para fora do mesmo, em troca de produtos e serviços dos arredores. Gaia Terranova gera alguns excedentes que são deixados para potencializar a vida da bacia hidrográfica e microrregião: frutos, sementes e grãos diversos são deixados como base para a formação de cadeias e teias alimentares, incorporando microrganismos, insetos, invertebrados diversos, aves, pequenos mamíferos, répteis e anfíbios, fortalecendo o sistema como um todo ao ampliar a biodiversidade local. Eventualmente algum excedente (milho, feijão, mandioca) é comercializado na feira local, trocado por dinheiro e este utilizado na compra de sementes de hortaliças ou esterco de gado bovino de propriedade vizinha. Esse esterco retorna para o solo após ser trabalhado por minhocas que o transformam em húmus, ou de maneira direta após período de maturação, quando chega às hortas e frutíferas. Todo processo garante ampliação da quantidade e qualidade de matéria e energia presentes no sistema, aproximando-o de um sistema autopoietico, o que será obtido a partir do momento em que o gasto de matéria e energia seja superado pela produção do mesmo – nesse ponto o sistema terá se aproximado da possibilidade de replicação. Esta, a replicação, é entendida como um estágio em que a proposta de Gaia Terranova esteja madura o bastante para ser reproduzida e incorporada por outras propriedades dentro ou não da mesma bacia hidrográfica. A partir desse desdobramento inicial, visualiza-se a potencialização de outros sistemas gerando eventuais comunidades sustentáveis, vilas sustentáveis ou ecovilas.

O ponto a partir do qual matéria e energia em um sistema superam o gasto do próprio sistema para sua manutenção, torna-o autosustentável e gera excedentes, que podem então ser trocados com o ambiente externo de modo a otimizar todo processo. Essa sustentabilidade nem sempre é possível em um sistema isolado (um sítio, por exemplo, ou uma residência), necessitando estabelecer trocas com o meio circundante. Essas relações entre o ambiente interno e o ambiente externo, leva a refletir qual seria o menor espaço dentro do qual estas relações formariam uma unidade fechada, autosustentável e a chave para esta definição deve ser a relação entre produção e consumo de matéria e energia que permitam o funcionamento desta unidade estrutural mínima. Uma mudança de paradigmas é aqui, obviamente, necessária, já que a monocultura, por exemplo, e por extensão todo arcabouço conceitual, técnico e científico tradicional não permitiriam esse salto e desdobramento.

Um determinado sistema, nos moldes dos sistemas produtivos tradicionais, pode ser gerenciado de maneira insustentável e gerar alta produtividade e aparente aumento de riqueza,

se se confunde gerenciamento de fluxo com gerenciamento de estoque. Estoque é a quantidade de matéria e energia presentes num dado sistema. Fluxo é a matéria e energia que atravessam esse sistema. Utilizar matéria e energia acima da capacidade de produção do sistema, ou em quantidade maior que a de entrada, empobrece esse sistema ao longo do tempo. Uma propriedade rural, por exemplo, que elimina a diversidade vegetal e animal (estoque genético, biomassa, diversidade, cadeias alimentares e teias de relações de interdependência) para estabelecer em seu lugar uma monocultura qualquer, dilapida seu patrimônio ao dilapidar o estoque de matéria e energia antes presentes no sistema. Gera grande excedente num primeiro momento, correndo sério risco de levar o sistema como um todo ao colapso, com a exaustão do solo e dos nutrientes necessários à cultura, logo obrigando à importação de insumos externos (adubo, venenos, alta tecnologia, serviços especializados) que oneram a produção. O equilíbrio rompido que gera excedentes num primeiro momento, pode levar a perdas irreparáveis, cujos primeiros sinais são a necessidade de importação constante e dependente de nutrientes, seguida do ataque de “pragas”, processos erosivos diversos, instalação de voçorocas, perda hídrica e finalmente desertificação. É bem conhecida no campo a frase “pai rico, filho nobre, neto pobre”, que descreve com maestria essa situação, muito embora suas causas permaneçam desconhecidas para a maioria. O mesmo raciocínio vale para uma residência, indústria, comércio ou comunidade.

Uma caixa cheia de água representa um estoque de água. Uma torneira aberta representa o fluxo dessa água. Uma torneira totalmente aberta pode dar a aparência de abundância, de riqueza, de quantidade infinita, mas é preciso olhar para a caixa. Se nenhuma água estiver entrando, a torneira permanecerá jorrando por um certo período, mas certamente secará o estoque, com consequências previsíveis. Se esse mesmo sistema for gerenciado em termos de estoque e não de fluxo, uma primeira providência poderia ser diminuir a bitola da torneira, ou mantê-la fechada a maior parte do tempo; ou ainda garantir uma chegada maior de água, mantendo constante o nível do reservatório. Um gerenciamento adequado pode gerar excedentes que, aí sim, podem ser exportados para outros sistemas. De outro modo, a aparente riqueza e abundância em um determinado local ou sistema, só pode existir em detrimento e empobrecimento de outro local ou sistema. Um sistema leiteiro, por exemplo, que utilize do sobrepastejo, em poucos anos levará todo sistema ao colapso.

Lembrando Nicolescu e o terceiro incluído que harmonizam pares antagônicas em um nível superior, pode-se propor casa e terreno harmonizados e otimizados pelas tecnologias

vivas, formando unidades estruturais mais fortalecidas e resilientes, que se comunicam e trocam com outras unidades próximas, formando assim, por exemplo em uma mesma microbacia hidrográfica, um adensado de unidades constituindo uma comunidade sustentável. Como células semelhantes formando tecidos e estes formando órgãos, sistemas, indivíduos, populações, ecossistemas e biosfera.

Agindo como componentes e catalisadores desse processo, os seres humanos podem ampliar e fortalecer a qualidade, quantidade e velocidade dessas junções mediante o uso da ciência e tecnologia, optando por uma nova forma de ser, estar, viver e conviver no e com o planeta. A visão fundamental aqui não é a de maximizar o lucro, mas a de otimizar a Vida, sem romper o frágil equilíbrio que a sustenta e nos sustenta, como parte da mesma teia, elevando-a a patamares cada vez mais amplos, diversificados e complexos. Adotada essa visão, o ser humano supera a ação predatória no ambiente, recursos e relações e assume um novo papel, em um nível de Realidade mais elevado de co-criador e evolucionador da vida planetária. E pode fazer isso, por exemplo, por meio do *Design Ecológico* e/ou da Engenharia Ecológica.

7. CONCLUSÃO

A questão central levantada no Objetivo Geral do presente trabalho pode agora ser respondida e no lugar de um ponto de interrogação coloca-se um ponto de exclamação: As tecnologias vivas de tratamento de efluentes domésticos com separação e biotratamento de águas cinzas e pretas proposto para Gaia Terranova é sustentável do ponto de vista ambiental, econômico e legal!

Por meio do projeto e implantação das várias tecnologias vivas de tratamento de efluentes domésticos, foi possível o reúso das águas e recuperação de nutrientes em Gaia Terranova. Observando-se o desempenho dos sistemas, intervenções foram feitas ao longo do tempo, permitindo ampliar a capacidade de reservação, melhorar o fluxo dos efluentes e eliminar odores nos sistemas de águas cinzas.

Do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade se deu por meio da: (i) redução no consumo de água e consequente redução na produção de esgotos, sendo o consumo médio de $94,9 \text{ L.pessoa}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, 73% do valor preconizado pela NBR 07229 (ABNT, 1993) de $130 \text{ L.pessoa}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ para famílias de classe média; (ii) correto tratamento, como mostraram dados

resultantes das análises de múltiplos parâmetros, e destinação segura dos esgotos tratados para irrigação, auxiliando na recuperação de solos degradados e produção de alimentos, estes via manejo periódico do excesso de biomassa vegetal crescida nos sistemas e transformada em compostos reutilizados em hortas e pomares; (iii) ampliação da biodiversidade local, propiciada pelo aumento da matéria orgânica e nutrientes disponíveis no sistema, bem como o estabelecimento de redes e teias de relações tornando o ambiente mais resiliente, como mostram imagens da evolução dos sistemas e surgimento de espécies vegetais e animais antes inexistentes no local; (iv) experimento com linha de bananeiras receptoras ou não de águas pretas tratadas pela tecnologia viva, com crescimento dos indivíduos receptores dos efluentes 494% maior; e (v) avaliação visual de áreas em Gaia Terranova, baseada em trabalho desenvolvido por Melloni (2008), mostrando evolução positiva de 88,36% da área entre 2007 e 2010, capitaneados pela fauna local, que evoluiu de 0,25 para 1,25 (5 vezes maior), índice de diversidade, que passou de 0,8 em 2007 para 3,2 em 2010 (4 vezes maior), porte e estratificação da vegetação de 0,5 para 1,5, e sucessão na vegetação, que avançou de 1 para 3 (ambos 3 vezes maiores que os índices iniciais).

Do ponto de vista econômico, as tecnologias vivas se aproximam de ecotecnologias, tecnologias sociais ou tecnologias apropriadas, cujas características principais são o baixo custo de implantação, operação e manutenção, fácil replicação, utilização de mão-de-obra local e descentralizada e alta eficiência. Buscou-se ainda mensurar o custo e benefício das tecnologias vivas implantadas, avaliando o primeiro a partir de custos de material e mão-de-obra para implantação, operação e manutenção dos sistemas, e o segundo a partir de retornos diretos (produção de adubo orgânico, peixes, frutos, biomassa e água para irrigação) e indiretos (tentativa de valoração ambiental e manutenção de serviços promovidos por um curso d'água limpo, economia em tratamento de esgotos e água centralizados e reflexos positivos em saúde). Com investimento de R\$ 2.073,54 na implantação, operação e manutenção (esta anual) dos sistemas de tratamento de águas cinzas e pretas, o retorno, projetado para uma vida útil de 25 anos (300 meses), totalizou R\$ 74.949,96, sendo R\$ 21.179,40 de retorno direto e outros R\$ 53.770,56 de retorno indireto, com um volume poupado de água calculado em 15.937.936 litros, evidenciando tratar-se de um investimento sustentável e de alto retorno econômico.

Para ser considerada sustentável do ponto de vista legal, definiu-se que as tecnologias vivas, nos parâmetros medidos, deveriam atender à legislação quanto ao lançamento de

efluentes em corpos d'água (embora fossem planejadas para reutilizar os efluentes no próprio terreno e não lançá-los), tendo por referência o estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N°. 1 (COPAM/CERH-MG, 2008), legislação mais restritiva que a Resolução CONAMA N°. 357 (CONAMA, 2005), ambas tratando da qualidade das águas. De maneira ainda mais restritiva, optou-se por comparar os resultados não apenas com os padrões de lançamento, mas também com aqueles que caracterizam águas de Classe 1 (próprias para consumo humano com filtragem simples e desinfecção), estas muito mais restritivas que aquelas. Em relação aos efluentes tratados de águas cinzas, já em B3 (saída do banhado construído) a maioria dos parâmetros são atendidos. Temperatura e pH estão dentro dos parâmetros em todos os estágios da tecnologia viva; para oxigênio dissolvido, LM3 está dentro do parâmetro de águas de Classe 1 e a depender das condições de tempo e horário do dia, também as LM1 e LM2 alcançam o limite mínimo de $6 \text{ mg.O}_2\text{.L}^{-1}$; ainda dentro dos parâmetros que caracterizam águas de Classe 1 estão os sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos em B3 e turbidez em LM1 e LM2; DQO, eficiência de remoção de DQO estão dentro dos parâmetros de lançamento a partir de B3. Coliformes totais e *E. coli* não foram medidos. As águas cinzas, como mostrou esse estudo, tem um tratamento mais simplificado, bastando para a maioria dos parâmetros apenas o banhado construído. As lagoas multifuncionais atuam mais como lagoas de polimento em alguns parâmetros e, principalmente, como espaço para reservação de água, ampliação da biodiversidade local e produção de biomassa para compostagem e reaproveitamento de nutrientes. Para a tecnologia viva de tratamento de águas pretas, a maioria dos padrões de lançamento são alcançados em N3. Para esses efluentes, os parâmetros de temperatura e oxigênio dissolvido não foram medidos; o pH, em todas as etapas de tratamento, estão dentro do padrão legal; a turbidez, em dias sem chuva, alcança o padrão de águas Classe 1 em N3; DQO, eficiência de remoção de DQO e sólidos sedimentáveis alcançam os padrões de lançamento em N2; e sólidos suspensos totais alcançam o padrão de lançamento apenas em N3. Os parâmetros para sólidos dissolvidos totais e coliformes totais e *E. coli* não alcançam os padrões e estão desconformes com a legislação para lançamento do efluente. Para sólidos dissolvidos totais, a filtragem do efluente em tanque de areia já resolveria a desconformidade. Em relação a coliformes totais e *E. coli*, a principal restrição se deva à alta quantidade presente no efluente final, requerendo tratamento suplementar, como exposição ao sol (radiação ultravioleta), que pode ser conseguido em uma lagoa de polimento, ou cloração, que em poucos minutos poderia elevar o

efluente aos padrões microbiológicos. Por outro lado, como a proposta foi e é recuperar água e nutrientes, sendo o polimento final dos efluentes de água preta feito por disposição controlada na subsuperfície do solo, finalizando com a absorção por linha de bananeiras, considera-se que a tecnologia viva atinge plenamente seu objetivo. Considera-se, assim, que as tecnologias vivas de tratamento de águas cinzas e pretas podem ser consideradas sustentáveis do ponto de vista legal.

Alguns passos a mais foram dados. A metodologia utilizada incorporou elementos não-convencionais para uma dissertação de mestrado, como a possibilidade de se utilizar de conhecimentos internos, não-verbais, de contato direto do pesquisador com o objeto de estudo, buscando compreender a “alma” das tecnologias vivas, a partir do que intervenções foram feitas, observadas, estudadas e testadas. Outras metodologias foram adotadas na tentativa de reproduzir a complexidade de sistemas vivos, como a proposta por Melloni (2007) para a avaliação visual de áreas, análises estatísticas diversas buscando a validação das observações e mensurações, e a tentativa de valoração ambiental direta e indireta das tecnologias vivas.

Uma vez que as tecnologias vivas podem ser consideradas sustentáveis dos pontos de vista ambiental, econômico e legal, questões diversas emergiram e novos estudos, pesquisas e práticas precisam ser desenvolvidos. Dentre os vários questionamentos que surgiram e ficaram sem resposta, alguns poderiam suscitar a curiosidade de outros pesquisadores e por isso são aqui recomendados temas para futuras pesquisas:

- Como se desenvolvem os microrganismos no solo entre a vala de infiltração e a linha de bananeiras? Como contribuem para o polimento e mineralização do efluente? Existe algum risco de contaminação de frutos pelos efluentes tratados? Como as plantas conseguem impedir a contaminação por coliformes?
- Como as águas cinzas respondem em relação a patógenos e retirada de fósforo e nitrogênio com o banhado construído e as lagoas multifuncionais? Quanto de nutrientes se consegue mobilizar e recuperar com esses sistemas? Como aprimorá-los para escalas ainda mais reduzidas de modo a utilizá-los em residências urbanas ou mesmo favelas?
- Como avançar na mensuração e valoração ambiental das tecnologias vivas?
- Qual a contribuição de um sistema ampliado (várias casas, vilas, *etc.*) em relação à recuperação, revitalização e fortalecimento de ecossistemas degradados de uma bacia

hidrográfica? Ou, qual o potencial/impacto de utilização em escala mais ampla de vários sistemas residenciais?

- Como seria o planeta Terra com uma sociedade que assumisse as responsabilidades pelos resíduos que gera e utilizasse a Ciência e Tecnologia como ferramentas centrais para promover a Vida em todas suas formas e manifestações?

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A CARTA DA TERRA EM AÇÃO. **A Carta da Terra: valores e princípios para um futuro sustentável..** Disponível em <<http://www.cartadaterrabrasil.org/prt/text.html>>. Acesso em 02 mar 2010.

ABIKO, Alex Kenya. **Tecnologias apropriadas em construção civil.** Disponível em <<http://alexabiko.pcc.usp.br/artigos/TecnologiasApropriadas.pdf>>. Acesso em 12 set 2009.

ABNT. **NBR 7.229.** Projeto, construção e operação de tanques sépticos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1982, 15 p.

ABNT. **NBR 7.229.** Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1993, 37p.

ABNT. **NBR 13.969.** Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1997, 60p.

AKATU. **Pesquisa nº. 7 - 2006:** Como e por que os brasileiros praticam o consumo consciente? Textos de Belinky, Aron; Echegaray, Fabián; Mattar, Helio; Rodrigues, Geisa; Velho, Christina. São Paulo: Instituto Akatu, 2007. Disponível em <http://www.akatu.org.br/akatu_acao/publicacoes/perfil-do-consumidor/pesquisa-akatu-no7/at_download/file>. Acesso em 18 out 2009.

ANA-FIESP-SINCUSCON. **Conservação e reuso da água em edificações.** Realização conjunta ANA – Agência Nacional de Águas, FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo e SINDUSCON-SP – Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

ANDERSON, Helen e CUMMINGS, David. **Measuring the salinity of water.** Landcare Notes. Department of Sustainability and Environment. State of Victoria. Australia: 1999. Disponível em <[http://www.dpi.vic.gov.au/DPI/nreninf.nsf/9e58661e880ba9e44a256c640023eb2e/5999e3b3f5857f8bca2571630018ca75/\\$FILE/LC0064.pdf](http://www.dpi.vic.gov.au/DPI/nreninf.nsf/9e58661e880ba9e44a256c640023eb2e/5999e3b3f5857f8bca2571630018ca75/$FILE/LC0064.pdf)>. Acesso em 1/12/2009.

ANDRADE NETO, Cicero Onofre e LIMA, Myrian Thereza Fernandes. **Alternativa tecnológica para valas de infiltração.** 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em <www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/i-034.pdf>. Acesso em 05 mai 2009.

ÁVILA, RENATA OLIVEIRA DE. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte.** [Rio de Janeiro] 2005 (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2005). Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Disponível em

<http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=166&Itemid=84>. Acesso em 30 abr 2009.

BENYUS, Janine M. **Biomimética**. Inovação inspirada pela Natureza. São Paulo: Editora Cultrix e Amana-Key, 2003

BOWODER, B. **Appropriate technology for developing countries: some issues**. Technological Forecasting and Social Change, 15, 1979.

BUARQUE, C. **Tecnologia Apropriada: Una Politica para la Banca de Desarrollo de America Latina**. Lima, Peru: ALIDE, 1983. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/coletanea2/ART%2026.pdf>>. acesso em 21 jun 2010.

CAMPOS, Pedro Celso. **Meio Ambiente: a sustentabilidade passa pela educação (em todos os níveis, inclusive pela mídia)**. Em Questão, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 387-419, jun./dez. 2006. Disponível em <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/EmQuestao/article/view/42/14>>. Acesso em 12 set 2009.

CAPRA, Fritjof. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 2006.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos *et al.* **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Coletânea de Artigos Técnicos. Coordenação do Professor Carlos Augusto Lemos Chernicharo. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. PROSAB. Programa de Saneamento Básico. Volume 1, 2000. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.htm#esgoto>>. Acesso em 7 abr 2010.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos *et al.* **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Coletânea de Artigos Técnicos. Coordenação do Professor Carlos Augusto Lemos Chernicharo. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. PROSAB. Programa de Saneamento Básico. Volume 2, 2001. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.htm#esgoto>>. Acesso em 7 abr 2010.

CNRH. **Resolução nº. 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Publicada no Diário Oficial da União em 09/03/06. Disponível em <http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=37>. Acesso em 21 jun 2010.

CODETEC – Unicamp. **Considerações sobre Tecnologia Apropriada**. Campinas, 1979.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 020 de 18 de junho 1986**. Trata da classificação das águas doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, avaliados por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar seu usos preponderantes. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>>. Acesso em 04 mai 2007.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução No 357, de 7 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 04 mai 2007.

CONGRESSO NACIONAL. **Projeto de Lei que institui a Política Nacional dos Serviços Ambientais e o Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais.** Disponível em <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/667325.pdf>>. Acesso em 08 dez 2009.

COPAM-CERH-MG. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH-MG N.º 1/2008.** 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. Conselho Estadual de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais – COPAM. Disponível em <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em 26 dez 2008.

CORDEIRO NETO, Oscar de Moraes *et al.* **Retrospectiva e prospectiva da análise tecnológica das alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios,** *in* Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coletânea de Trabalhos Técnicos Vol 2, Art 26. Coordenação do Professor Carlos Augusto Lemos Chernicharo. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. PROSAB. Programa de Saneamento Básico, 2001. Disponível em <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/coletanea2/coletanea2_indice.pdf>. Acesso em .

EAWAG. **Household-Centred Environmental Sanitation.** Implementing the Bellagio Principles in Urban Environmental Sanitation. Provisional Guideline for Decision-Makers. Eawag; Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Sandec: Departmet of Water and Sanitation in Developin Countries., June 2005. Disponível em <http://www.training.gpa.unep.org/documents/household_centred_environmental_sanitation_english.pdf>. Acesso em 12 set 2009.

ELSEVIER. **Ecological Engineering.** The Journal of Ecosystem Restoration. Editora de periódicos científicos. Disponível em <http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/522751/description#description>. Acesso em 23 fev 2009.

ERCOLE, Luiz Augusto dos Santos. **Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: PPGE/UFRGS, 2003. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5529/000471937.pdf?sequence=1>>. Acesso em 28 abr 2009.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia.** 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

EWATRO. **Information system for the evaluation of wastewater treatment and reuse options.** Work-package no. 3: criteria for marginal water treatment and reuse under drought

conditions. INCO-MED Program: Water resources management under drought conditions: criteria and tools for conjunctive use of conventiona and marginal waters in mediterranean regions. The European Comission Community Research. Fifth Framework programme 1998-2002. Coordenador: Universidade de Catania, Itália. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Disponível em <<http://www.dica.unict.it/users/fvaglias/EWATRO/Struttura/CollegIniz/AlternRiu.htm>> Acesso em 26 dez 2008.

FILME. **MindWalk: Ponto de Mutação**. Baseado na obra de Fritjof Capra, O Ponto de Mutação. Liv Ullmann, Sam Waterston e John Heard. Direção: Bernt Capra. Estados Unidos: Atlas, 1990.

FLORÊNCIO, Lourdinha; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier e AISSE, Miguel Mansur (Coordenadores). **Tratamento e utilização de esgotos sanitarios**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Esgoto-Prosab%20-%20final.pdf>>. Acesso em 31 mai 2010.

GALBIATI, Adriana Farina. **Tratamento domiciliar de águas pretas através de tanque de evapotranspiração**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS, 2009. Disponível em <<http://dominiopublico.qprocura.com.br/dp/97199/Tratamento-domiciliar-de-aguas-pretas-atraves-de-tanque-de-evapotranspiracao.html?alias=Tratamento-domiciliar-de-aguas-pretas-atraves-de-tanque-de-evapotranspiracao&id=97199>>. Acesso em 21 jun 2010.

GARDNER, Howard. **Inteligências Múltiplas, a teoria na prática**. Porto Alegre: Artmed, 1995.

GOMES, Carisia Carvalho. **Apostila 1 - Propriedades físicas dos solos**. Hidrologia de água subterrânea. Disponível em <<http://www.carisia.com.br/Hidrologia-Aula1-PropriedadesFisicasDosSolos.pdf>>. Acesso em 21 jun 2010.

GRAEML, Alexandre R.. **Tecnologia Apropriada x Tecnologia Moderna, Tentativa de Conciliação**. Anais do XXI ENANPAD - Encontro Nacional da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração. Angra dos Reis: 1996. Disponível em <http://www.dainf.ct.utfpr.edu.br/~graeml/publica/artigos/download/ENANPAD1996_TecnologiaApropriada.pdf>. Acesso em 12 set 2009.

HAWKEN, Paul, LOVINS, Amory e LOVINS, L. Hunter. **Capitalismo Natural - Criando a Próxima Revolução Industrial**. 4ª edição. São Paulo: Cultrix-Amana-Key, 2004.

IDÉIA SOCIOAMBIENTAL. **O ponto cego da liderança**: acessando o poder de presenciar. Versão editada e traduzida por Maria Cristina d'Arce, do livro *The blind spot of leadership: accessing the power of Presencing* de Otto Scharmer. Disponível em <http://www.ideiasocioambiental.com.br/revista_conteudo.php?codConteudoRevista=36>. Acesso em 05 mar 2010.

IGAM. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais da Bacia do Rio Grande em 2007**. Relatório Anual. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2008.

Disponível em

<http://aguas.igam.mg.gov.br/aguas/imagens/capas_2007/capa_relata2007_gd.png>. Acesso em 25 nov 2009.

LEFF, H. **Epistemologia ambiental**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

LUDWIG, Art. **Create an Oasis with Greywater**. Choosing, building, and using greywater systems. Santa Barbara, CA: Oasis Design, 2006.

MARTINEZ, Oscar Nuñez e RODRIGUEZ, Pedro Serrano. **Tecnología Apropriada para la agricultura**. Ministerio de Educacion. Santiago, 1999. Disponível em <<http://www.bnm.me.gov.ar/cgi-bin/wxis.exe/opac/?IsisScript=opac/opac.xis&dbn=BINAM&tb=aut&src=link&query=NUNEZ%20MARTINEZ,%20OSCAR&cantidad=10&formato=&sala=>>>. Acesso em 21 jun 2010.

MARTINS, Ângela Cocio *et al.* **Avaliação da ETE Tramandaí operando como banhado de fluxo superficial**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Associação Brasileira de Engenharia Ambiental, ABES. Campo Grande, MS: 2005. Disponível em <http://www.astecor.com.br/materia_tecnica/engenheiros/artigo_congressoII094_christiane.pdf>. Acesso em 02 out 2009.

MASCARÓ, J.L. **Infraestrutura habitacional alternativa**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

MATURANA, Humberto R. e VARELA, Francisco J.. **A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana**. São Paulo: Palas Athena, 2001.

MELLONI, Rogério. **Avaliação visual da qualidade dos solos**. CEMARH. Curso de Especialização em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Anotações de aula e apresentação em ppt. Itajubá, 2007.

MELLONI, Rogério. **Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais de pastagem no sul de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 32:2461-2470, 2008. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n6/v32n6a23.pdf>>. Acesso em 01 jun 2010.

MOLLISON, Bill. **Introdução à Permacultura**. Tyalgum, Austrália: Tagari Publications. 2ª Edição, 1994. Edição brasileira: Rede Brasileira de Permacultura.

MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 6ª edição. São Paulo: Cortez. Brasília, DF: UNESCO, 2002.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 8ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

NICOLESCU, Basarab. **O manifesto da transdisciplinaridade**. São Paulo: TRIOM, 1999.

OAI. Ocean Arks International. Disponível em <<http://www.oceanarks.org/>>. Acesso em 12 fev 2009.

OLIVEIRA, Sílvia M. A. Corrêa; VON SPERLING, Marcos. **Evaluation of 166 treatment plants operating in Brazil, comprising several technologies**. Part 1: performance analysis. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000400011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 04 mai 2007. Pré-publicação.

ORR, David W. **The Nature of design**: ecology, culture and human intention. New York: Oxford University Press, 2002.

PROSAB. **Programa de Pesquisas em Saneamento Básico**. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/index.html>>. Acesso em 7 abr 2010.

RIBEIRO, K.D. *et al.* **Propriedades físicas do solo, influenciada pela distribuição de poros, de seis classes de solo da região de Lavras, MG**. Ciências agrotécnicas. Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul./ago., 2007. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/cagro/v31n4/33.pdf>>. Acesso em 31 dez 2009.

RYN, Sim Van Der e COWAN, Stuart. **Ecological Design**. 10th Anniversary Edition. Washington, Covelo, London: IslandPress, 2007.

SACHS, Ignacy. **Amazônia – laboratório das biocivilizações do futuro**. Texto para discussão. Disponível em <<http://dowbor.org/ar/08sachsamazonia.doc>>. Acesso em 26 nov 2009.

SANGUINETTO, Evandro de Castro. **Ecotecnologia de tratamento biológico de efluentes domésticos permitindo o reúso das águas**. Monografia. Curso de Especialização em Meio Ambiente e Recursos Hídricos - CEMARH. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Itajubá, 2009.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2006**. Tabela 7 – Indicadores Econômico-financeiros e administrativos. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em <http://www.snis.gov.br/arquivos_snis/5_DIAGNOSTICOS/5.1_Agua&Esgotos/5.1.12_Diagnostico2006/Planilhas/AED12_Plan_Prestadores.zip>. Acesso em 10 fev 2009.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Visão geral da prestação dos serviços de água e esgotos – 2004**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2005. Disponível em <http://www.snis.gov.br/arquivos_snis/5_DIAGNOSTICOS/5.3_Visao_geral/5.3.4_Visao%20geral2004/2004_D10_Visao_geral_completo.zip>. Acesso em 10 fev 2009.

SOBRINHO, Pedro Alem e JORDÃO, Eduardo Pacheco. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – uma análise crítica** in in Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Coletânea de Artigos Técnicos - aspectos metodológicos. Capítulo 09. Coordenação do Professor Carlos Augusto Lemos Chernicharo. Universidade Federal de

Minas Gerais - UFMG. PROSAB. Programa de Saneamento Básico, 2001. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabCarlos/Cap-9.pdf>>. acesso em 21 jun 2010.

SOL. **Society for Organizational Learning**. Disponível em <<http://www.solonline.org/>>. Acesso em 06 mar 2010.

TODD, John e JOSEPHSON, Beth. **The design of living technologies for waste treatment**. Ecological Engineering 6 (1996) 109-136. Elsevir Science, 1996. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VFB-3VW12JH-C&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=08c5abc43cb0dceb6a5cf4c28de7443c>. Acesso em 13 fev 2009.

TRIOLA, Mario F. **Introdução à estatística**. 10ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

VALIPOURA, Alireza, RAMANB, V.Kalyan e GHOLE, V.S. **A new approach in wetland systems for domestic wastewater treatment using Phragmites sp**. Ecological Engineering, 2009. Disponível em <http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/522751/description#description>. Acesso em 04 abr 2010.

VAN KAICK, Tamara Simone. **Estação de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes**: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002. Disponível em <http://www.hmc.com.br/download/tecnologia_apropriada_e.pdf>. Acesso em 21 jun 2010.

VIEZZER, M., Ovalles, O. (org.) **Manual Latino-Americano de Educ-Ação Ambiental**. Editora Gaia, São Paulo, 1994.

YEANG, Ken. **Proyectar con la naturaleza**. Bases ecológicas para El proyecto arquitetónico. 1ª edição. Barcelona, Espanha: Editorial Gustavo Gili, 2007.

WILLOUGHBY, K.W. **Technology Choice: A Critique of the Appropriate Technology Movement**. London, UK: Intermediate Technology Publications, 1990.

ZANELLA, Luciano. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários**: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suportes. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP: [s.n.], 2008. Disponível em <<http://libdigi.unicamp.br/document/?down=vtls000443538>>. Acesso em 21 jun 2010.

ANEXO 1 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUAS CINZAS

Os parâmetros estudados, quando passíveis de comparação com restrições legais, são aqui apresentados em tabelas que discriminam: (i) a média das médias das medições; (ii) o desvio padrão das médias; (iii) o intervalo de confiança (IC) de 99% ($\alpha = 0,01$); (iv) o limite superior do Intervalo de Confiança. Seguem-se às tabelas, dois gráficos de barras, o primeiro evidenciando a média das médias e o desvio padrão; o segundo mostrando o limite superior do parâmetro, considerando um IC = 99%. Para águas cinzas foram feitas réplicas de sete amostras ($n = 7$).

Os parâmetros: temperatura, oxigênio dissolvido (OD), condutividade e pH foram medidos na tecnologia viva entre os dias 28/11/2009 e 01/12/2009, a cada 4 horas, utilizando aparelho da marca Multipar, calibrado para as condições locais. Com o verão se aproximando, a temperatura média das águas no período foi de 24,72°C. O segundo dia de medições foi de tempo nublado com chuvas esparsas, influenciando diretamente na diminuição dos picos de temperatura e oxigênio dissolvido.

Temperatura

A temperatura, medida preferencialmente durante e no local da coleta, influencia diretamente em processos físicos, químicos e biológicos, como oxigênio dissolvido, densidade, volatilização de substâncias dissolvidas, *etc.* Organismos aquáticos tem limites de tolerância térmica que influenciam no seu crescimento, desenvolvimento, migração, acasalamento, desova e incubação, sendo que corpos de água naturais sofrem variações térmicas sazonais e diurnas, assim como ao longo da coluna d'água. A medida da temperatura se dá em graus Celsius (°C).

A Figura A1.1 mostra uma variação de temperatura relativamente pequena entre os horários noturno e diurno, alcançando o máximo às 14h e mínimo às 6h. As medidas se deram sempre próximo à superfície, entre 10 e 15cm de profundidade.

A temperatura média das águas em todo sistema, manteve-se em torno de 25°C, diminuindo ligeiramente após atravessar o banhado construído e voltando a aumentar crescentemente nas LM1, LM2 e LM3, como mostra a Tabela A1.1 e a Figura A1.2,

apresentando maior desvio padrão na LM2, devido provavelmente à pequena profundidade do mesmo. As águas de entrada no sistema apresentaram menor variação no período de análise.

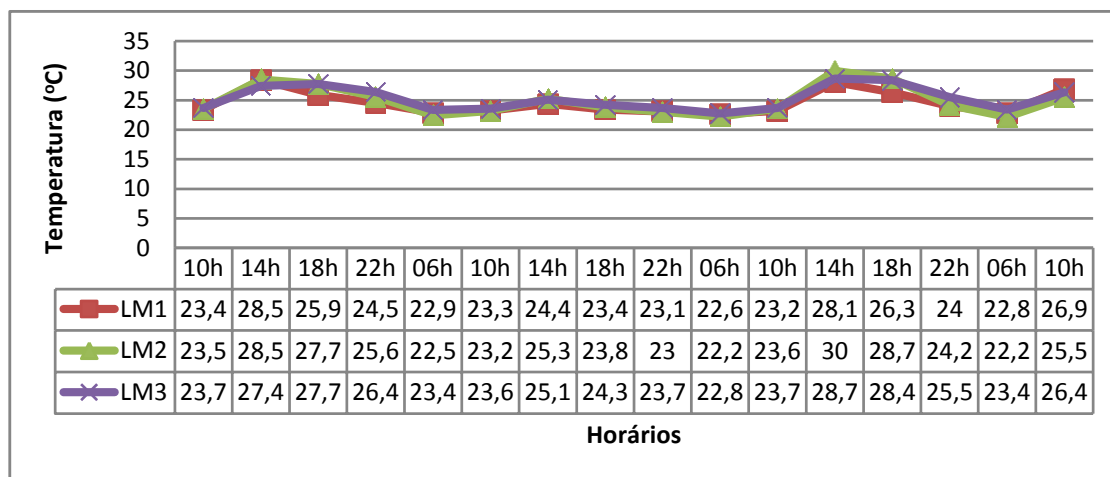


Figura A1.1. Temperaturas das águas ao longo do período de medição, de 28/11/2009 a 01/12/2009.

Tabela A1.1. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), desvio padrão, intervalo de confiança e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Temperatura	24,67	24,51	24,33	24,58	24,96	25,25
DP	0,83	1,42	1,42	1,94	2,51	1,98
IC 99%	0,70	1,05	1,20	1,43	1,85	1,46
Limite superior	25,37	25,56	25,53	26,01	26,80	26,72

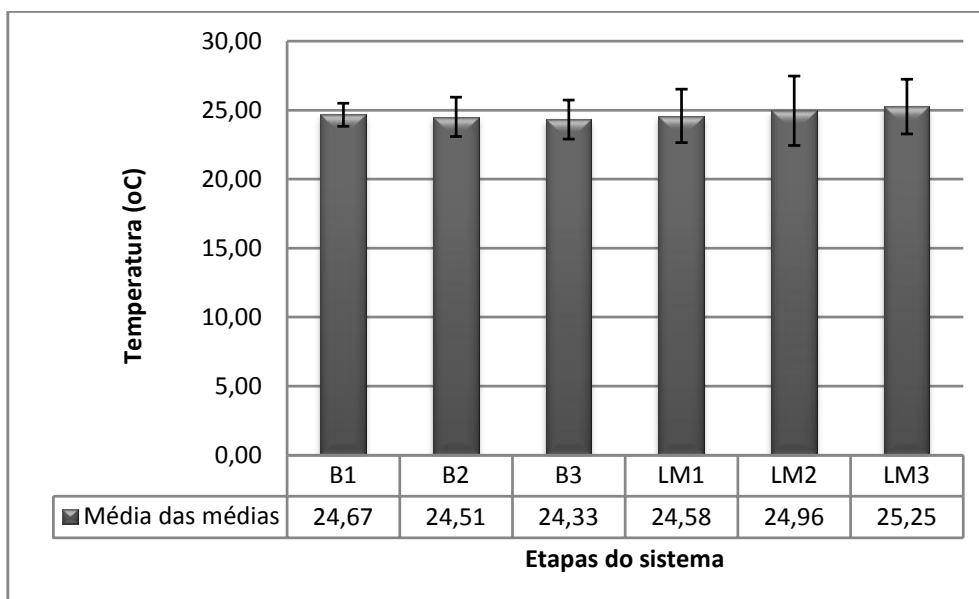


Figura A1.2. Média das médias e desvio padrão das temperaturas para águas cinzas.

A análise de variância expressa na Tabela A1.2, indica que a tecnologia viva não modificou significativamente ($\alpha = 0,01$) as médias das temperaturas.

Tabela A1.2. Análise de variância de temperaturas.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	5	8,487607	1,697521	0,552393	3,243268	0,736069
Resíduo/Erro	84	258,134615	3,073031			
Total	89	266,622222				

A Figura A1.3 apresenta a temperatura média máxima esperada para um nível de confiança de 99%. Com a legislação determinando temperatura inferior a 40°C para o lançamento de efluentes, em toda tecnologia viva este parâmetro é atendido.

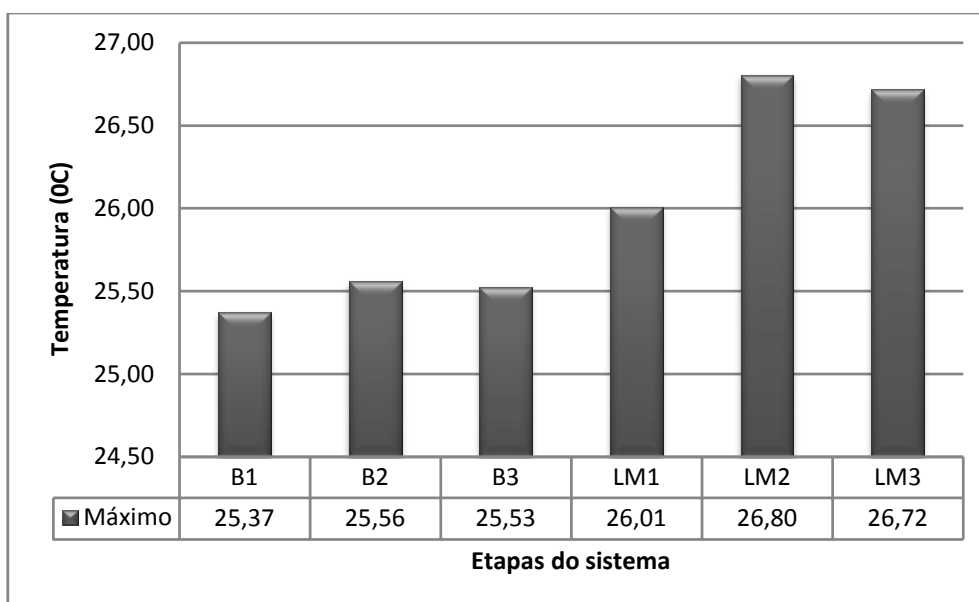


Figura A1.3. Limites superiores calculados para Temperatura, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

pH

O potencial hidrogeniônico, pH, permite o monitoramento do poder de corrosão de um líquido, a quantidade de reagentes necessários à sua coagulação ou neutralização, interfere no crescimento de microrganismos e processos de desinfecção e determina padrões de

enquadramento à legislação. Águas ácidas reduzem a decomposição e ciclagem de nutrientes, podendo levar à redução de plânctons e organismos invertebrados vitais para a cadeia alimentar. Sua origem natural está associada à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, sendo despejos domésticos e industriais as fontes antropogênicas principais.

O pH, acompanhando a temperatura, mostra a mesma tendência de relativa baixa atravessando o banhado construído e posteriormente elevando nas LMs (Tabela A1.3 e Figura A1.4). Os desvios padrões mostram grande estabilidade em B3 e LM2 e maior variância em LM3. Em todo sistema permanece próximo à neutralidade.

Tabela A1.3. pH, desvio padrão, IC e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
pH	6,81	6,74	6,77	7,07	7,10	7,62
DP	0,36	0,26	0,08	0,24	0,10	0,51
IC 99%	0,31	0,19	0,07	0,18	0,08	0,38
Limite superior	7,12	6,93	6,84	7,24	7,17	8,00

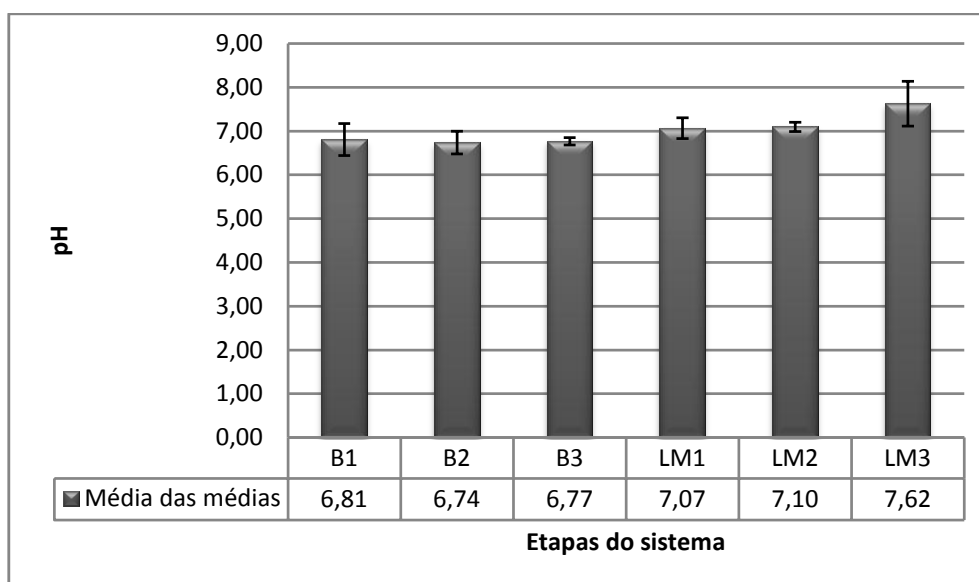


Figura A1.4. Variação do pH na tecnologia viva para águas cinzas entre 28/11/2009 e 01/12/2009.

A ANOVA mostra que não há evidência significativa ($\alpha = 0,01$) para rejeitar a igualdade entre as médias de B1, B2 e B3, como mostra a Tabela A1.4.

Tabela A1.4. Análise de variância das médias de pH em B1, B2 e B3

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	2	0,155907	0,077953	1,156046	5,194408	0,325278
Resíduo/Erro	39	2,629808	0,067431			
Total	41	2,785714				

No entanto, a partir de LM1, a igualdade entre as médias é rejeitada, mostrando que a partir desse ponto o pH mostra variação significativa para $\alpha = 0,01$ (Tabela A1.5).

Tabela A1.5. Análise de variância das médias de pH em B1, B2, B3 e LM1.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	3	2,283985	0,761328	6,201045	4,166505	0,001067
Resíduo/Erro	54	6,629808	0,122774			
Total	57	8,913793				

A legislação determina pH entre 6 e 9 para disposição de efluentes, e quanto a esse parâmetro e tomando os limites mínimos e máximos esperados (Figura A1.5), todas as etapas da tecnologia viva se mantém dentro desta faixa.

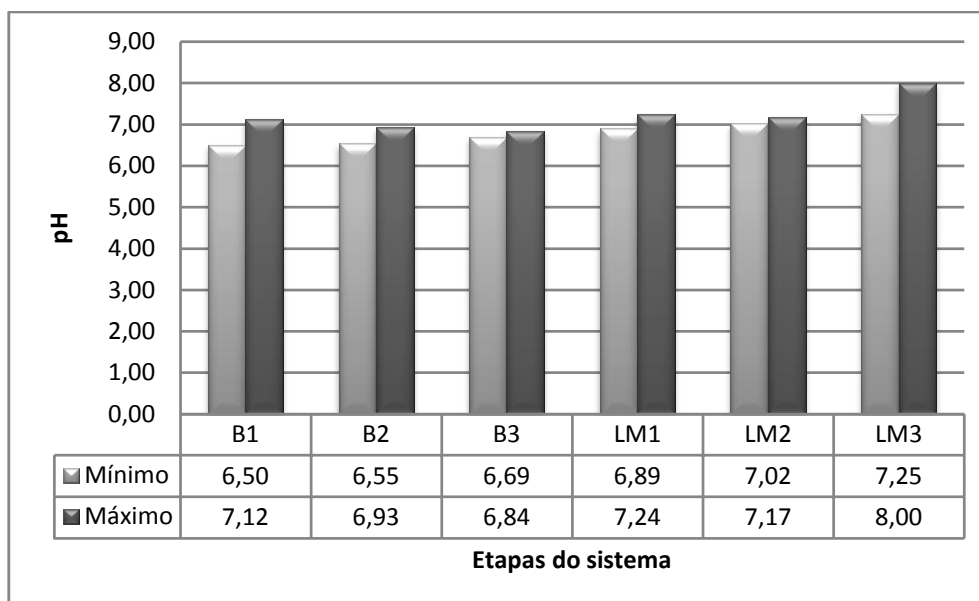


Figura A1.5. Limites mínimos e máximos calculados para pH, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

Oxigênio Dissolvido (OD)

A quantidade de oxigênio dissolvido em um corpo d'água se dá na interface água-ar e pela ação de organismos fotossintetizantes que liberam o oxigênio (O_2) no meio aquoso. A quantidade de O_2 presente na água varia com a temperatura, altitude (pressão atmosférica), salinidade, período (noturno/diurno) e profundidade, sendo de melhor qualidade aquele corpo d'água com maior teor de OD. Medida em $mg.L^{-1}$, as águas naturais tem uma concentração normal de 8 mg/L a 25 °C ao nível do mar. Abaixo de 2 mg/L pode levar a maioria dos organismos à morte, causando estresse já em concentrações abaixo de 5 mg/L .

O Oxigênio dissolvido acompanhou fortemente a variação de luminosidade no período de estudo, como seria de se esperar, e em todas as medições (Figura A1.6) a LM3 alcançou níveis mais altos em relação às demais. Isso se deve a dois fatores principais: (i) as LM2 e LM3 estão localizadas em ambiente um pouco mais aberto, recebendo mais insolação que a LM1; (ii) a presença de tilápias na LM3 (ausentes na LM2 e LM1), lançam resíduos ricos em nitrogênio nas águas, facilitando a proliferação de microrganismos fotossintetizantes (não identificados), tornando as águas esverdeadas. Entre 10h e 16h com maior incidência de raios solares na superfície, ocorre a elevação da temperatura do ar, solo e água. A maior disponibilidade de luz solar incidente e o aumento da temperatura da água, criam-se condições favoráveis para o incremento da fotossíntese, gerando excedentes de oxigênio dissolvido que alcança picos em todas as lagoas multifuncionais entre 14 e 18 horas, chegando a 11 $mg.L^{-1}$ na LM3.

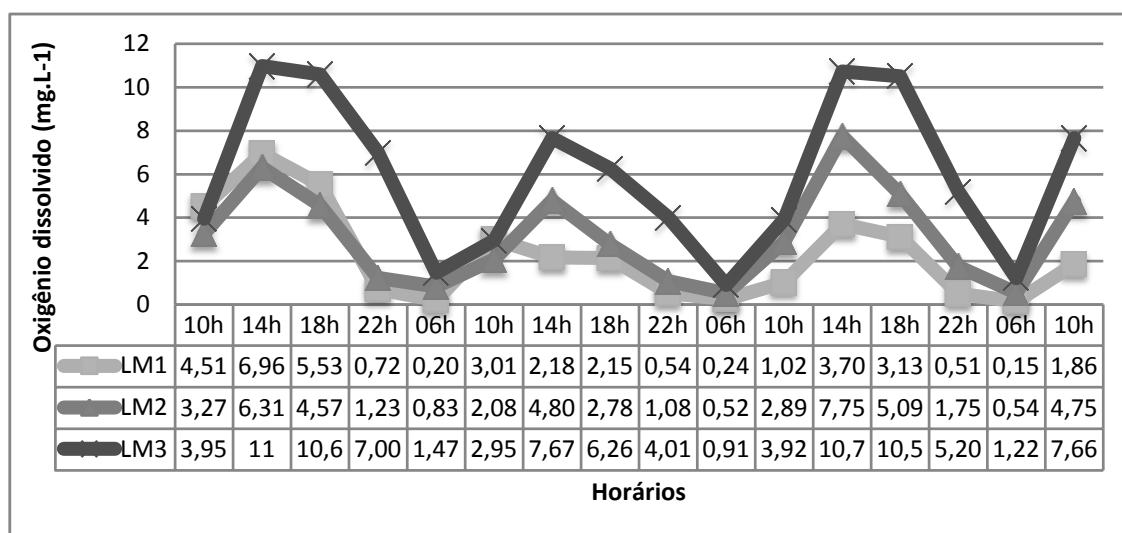


Figura A1.6. Oxigênio dissolvido ao longo do período de medição, de 28/11/2009 a 01/12/2009, para águas cinzas.

A Tabela A1.6 apresenta os valores para o parâmetro Oxigênio Dissolvido (OD), medido em mg.L^{-1} , seguida pela Figura A1.7 que explicita a visualização da média das médias e seus desvios padrões, que em função da variação de temperatura e luminosidade é bastante acentuada.

Tabela A1.6. Média das médias para oxigênio dissolvido, desvio padrão, IC e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
OD	1,74	0,32	1,35	2,28	3,14	5,94
DP	0,61	0,23	0,64	2,07	2,20	3,53
IC 99%	0,51	0,17	0,54	1,52	1,62	2,60
Máximo	2,26	0,49	1,89	3,80	4,76	8,54

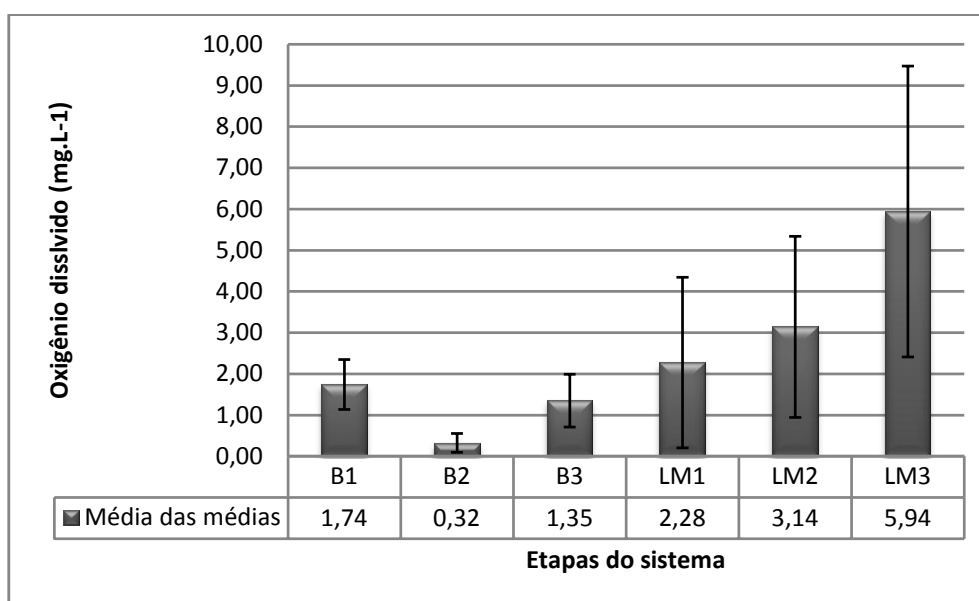


Figura A1.7. Média das médias do oxigênio dissolvido (OD) e desvios padrões para águas cinzas.

A ANOVA mostrou que não há evidências para rejeitar a igualdade das médias de B1, B3, LM1 e LM2 ($\alpha = 0,01$), como mostra a Tabela A1.7.

Tabela A1.7. Análise de variância das médias de OD para B1, B3, LM1 e LM2.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	3	25,624668	8,541556	3,295506	4,166505	0,027226
Resíduo/Erro	54	139,961538	2,59188			
Total	57	165,586207				

Ao comparar essas médias com as de B2 e LM3 separadamente e em conjunto (Tabela A1.8), a igualdade é rejeitada, ou seja, com $\alpha = 0,01$, as médias diferem entre si. As figuras evidenciam em B2 uma quantidade baixa de OD, enquanto em LM3 esse valor é bem mais elevado. Os únicos elementos presentes em LM3 e ausentes em todas as outras etapas são as tilápias, o que leva a supor sua grande contribuição na elevação dos níveis de OD, via fertilização por excrementos, facilitando o desenvolvimento de microrganismos fotossintetizantes.

Tabela A1.8. Análise de variância das médias de OD na tecnologia viva.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	5	271,806517	54,361303	13,979375	3,243268	0,000
Resíduo/Erro	84	326,649038	3,888679			
Total	89	598,455556				

A Figura A1.8 apresenta os valores máximos esperados para as médias de oxigênio dissolvido, considerando um nível de confiança de 99%. Comparando as médias máximas com a legislação, que determina nível mínimo de 6 mg.L^{-1} para o OD, quando do lançamento de efluentes nos corpos d'água, tem-se que apenas a LM3 atende aos padrões. No entanto, ao observar-se a Figura A1.6, tem-se que entre 14h e 18h também as LM1 e LM2 podem atender à legislação, quando em dias claros.

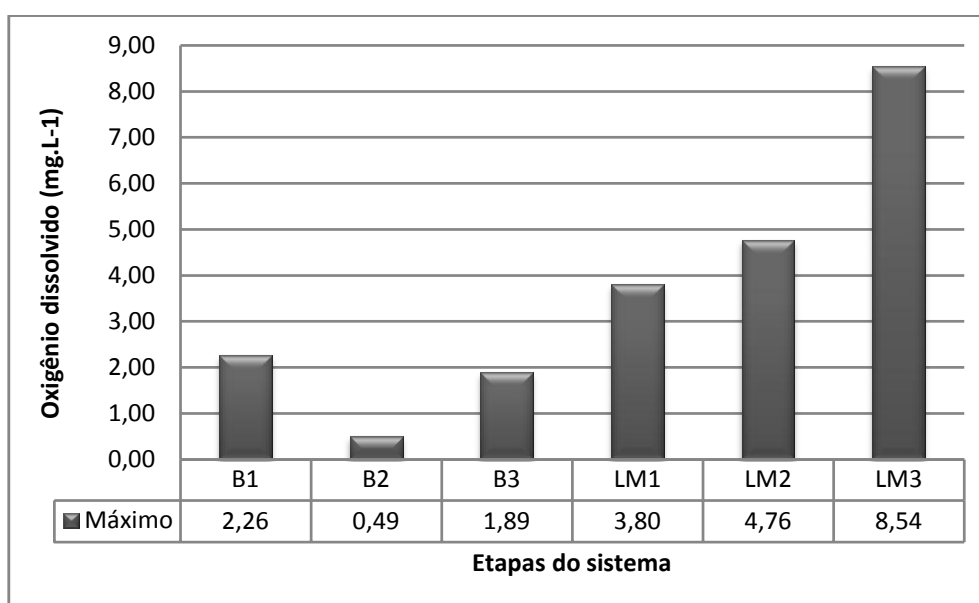


Figura A1.8. Limites superiores calculados para OD, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

Condutividade

A condutividade mede a capacidade da água de conduzir uma corrente elétrica, dependente da concentração de íons (cátions e ânions) presentes na solução, que informam sobre a presença de sais dissociados (íons) no meio aquoso. As principais fontes de sais de origem antropogênica são descargas industriais de sais, consumo de sais nas residências e comércio, drenagem de áreas agrícolas e excreções humanas e animais (fezes, urina, suor). Alta condutividade aponta para quantidades elevadas de sólidos dissolvidos e possíveis características corrosivas. Anderson e Cummings (1999) apresentam na Tabela A1.9, as relações entre condutividade e qualidade das águas. Ressalte-se considerar a generalidade das informações.

As médias para condutividade (ver Tabela A1.10 e Figura A1.9) medidas nas Tecnologias Vivas mostraram aumento em B2 e B3. Em B2 o efluente fica acumulado enquanto filtra por B3, e nesse acúmulo sofre ação de microrganismos que digerem os compostos liberando íons, bem como a passagem do efluente pelo solo do banhado pode solubilizar íons diversos, aumentando a condutividade e/ou estabelecendo trocas iônicas que mantém as médias elevadas. A variação do fluxo de chegada do efluente em B2 pode responder pela maior variabilidade nas médias de condutividade. Nas LM, supõe-se que as plantas absorvam parte dos íons disponíveis em seu processo de crescimento, levando a um decréscimo na medida.

Tabela A1.9. Condutividade e usos das águas.

Condutividade ^{1 2 3}	Usos das águas
0 a 800 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ 0 a 800 $\mu\text{mho}.\text{cm}^{-1}$ 0 a 0,8 $\text{mS}.\text{cm}^{-1}$	• Água potável para humanos (desde que sem poluição orgânica e não muito sólidos em suspensão) • Geralmente boa para irrigação, embora alguns cuidados devam ser tomados acima de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,3 mS/cm) • Adequado a todos os animais
800 a 2.500 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ 800 a 2.500 $\mu\text{mho}.\text{cm}^{-1}$ 0,8 a 2,5 $\text{mS}.\text{cm}^{-1}$	• Pode ser consumida por humanos, embora se prefiram águas na metade inferior do intervalo, se disponível • Quando utilizada para irrigação requer manejo especial, incluindo solos adequados, boa drenagem e considerações sobre tolerância das plantas à salinidade. • Adequado a todos os animais.

Condutividade ^{1 2 3}	Usos das águas
2.500 a 10.000 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ 2.500 a 10.000 $\mu\text{mho}.\text{cm}^{-1}$ 2,5 a 10,0 $\text{mS}.\text{cm}^{-1}$	• Não recomendado para consumo humano, embora águas até 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3,00 mS/cm) possam ser consumidas se nenhuma outra estiver disponível. • Normalmente não adequada para irrigação, podendo até 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (6,0 mS/cm) ser utilizada em culturas tolerantes utilizando técnicas adequadas. Acima de 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (6,0 mS/cm) irrigações de emergência são possíveis. • Aves e suínos podem beber essa água, respeitando o limite de 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0,60 mS/cm) • Recomenda-se análise da água
Acima de 10.000 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ 10.000 $\mu\text{mho}.\text{cm}^{-1}$ 10,0 $\text{mS}.\text{cm}^{-1}$	• Inadequada para consumo humano e irrigação • Inadequada para porcos, aves ou qualquer animal em lactação • Bovinos de corte podem consumir até 17.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (17,0 mS/cm) e ovinos adultos podem tolerar 23.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (23,0 mS/cm), contudo é possível que águas abaixo desses níveis possam conter concentrações inaceitáveis de alguns íons. Análise química detalhada deve ser considerada antes de sua utilização. • Água acima de 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (50 mS/cm) corresponde à salinidade marinha e pode ser utilizada em descargas de vasos sanitários, desde que a corrosão no sistema seja controlada

Fonte: modificado de Anderson e Cummings (1999)

¹ $\mu\text{S}/\text{cm}$: Anderson e Cummings (1999)

² $\mu\text{mho}/\text{cm}$: IGAM (2008)

³ mS/cm : Tecnologia viva

Tabela A1.10. Condutividade ($\text{mS}.\text{cm}^{-1}$), desvio padrão, IC (99%) e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Condutividade	0,395	0,428	0,424	0,289	0,239	0,237
DP	0,08	0,14	0,07	0,04	0,04	0,04
IC 99%	0,07	0,11	0,06	0,03	0,03	0,03
Limite superior	0,47	0,53	0,48	0,32	0,27	0,27

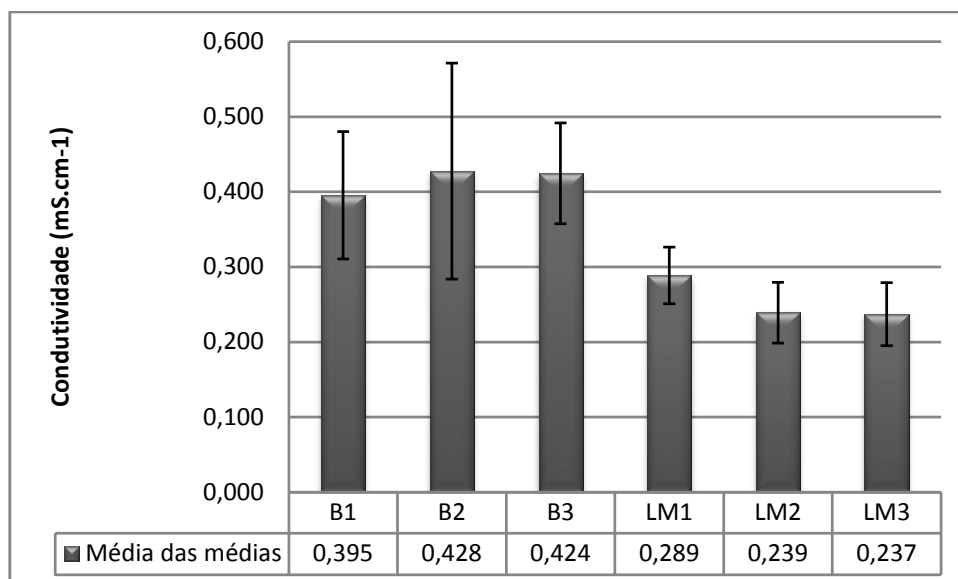


Figura A1.9. Média das médias para condutividade e desvios padrões para águas cinzas.

Tomando-se os máximos esperados para condutividade (Figura A1.10), embora a legislação federal e mineira não especifiquem padrões para esse parâmetro, o trabalho de Anderson e Cummings (1999) indica que as águas cinzas em Gaia Terranova, principalmente de LM1 em diante e comparando com os dados de DQO e Sólidos Suspensos Totais, ambos indicando baixas concentrações, as águas cinzas podem ser caracterizadas (somente observando esses parâmetros) como:

- Água potável para humanos (desde que sem poluição orgânica e não muitos sólidos em suspensão). Acrescente-se que, embora sem contato com águas pretas, a exposição das águas cinzas ao ambiente natural poderia levar à contaminação por coliformes fecais (pássaros, pequenos mamíferos, etc), sendo interessante promover sua desinfecção;
- Geralmente boa para irrigação, embora alguns cuidados devam ser tomados acima de $300 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ($0,3 \text{ mS.cm}^{-1}$);
- Adequadas a todos os animais.

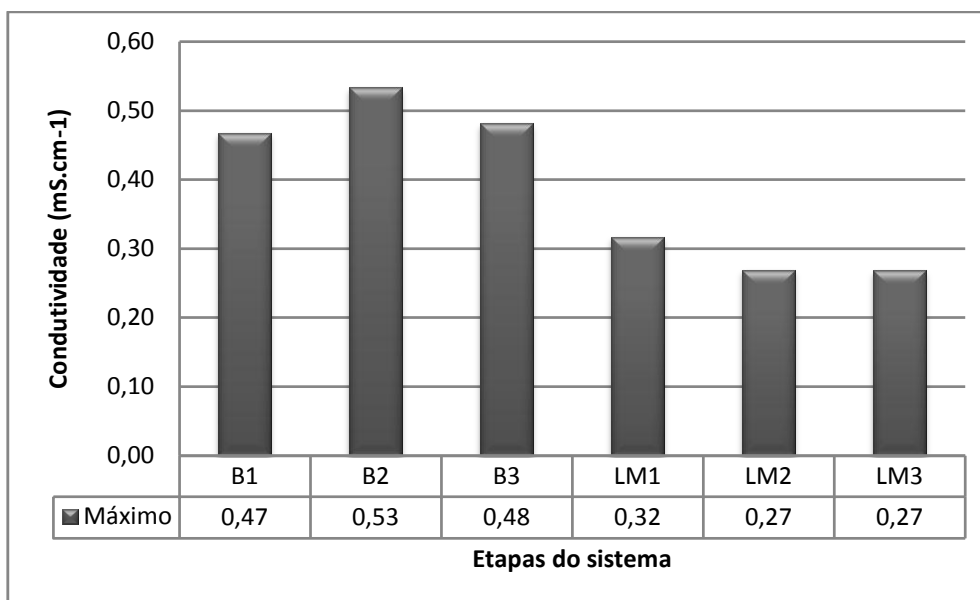


Figura A1.10. Limites superiores calculados para condutividade, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

Turbidez

Turbidez é uma medida de qualidade física da água, comparando a intensidade de luz espalhada pela amostra em relação a uma suspensão padrão. Sua origem pode ser natural, devida à presença de matéria em suspensão oriunda de partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microrganismos, ou antropogênica, devida a despejos domésticos, industriais e erosivos. Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação aquática e algas, interferindo na cadeia alimentar do corpo d'água e, sendo provocada por partículas orgânicas, o oxigênio dissolvido será utilizado em processos bioquímicos de neutralização dessa carga orgânica, diminuindo sua disponibilidade. A medida utilizada é a unidade de turbidez nefelométrica, NTU, do inglês *Nephelometric Turbidity Unit*. Rios próximo à cabeceira tem águas com turbidez em torno de 1 NTU, enquanto rios mais caudalosos apresentam turbidez por volta de 10 NTU, podendo em ambos os casos chegar a centenas de NTUs em função de acréscimo de águas de escoamento superficial carreando solo, detritos, matéria orgânica, etc.

A Tabela A1.11 relaciona as médias de turbidez encontradas nos pontos de amostragem, seus desvios padrões, o intervalo de confiança e a média máxima esperada dentro desse intervalo. Seguem a Figura A1.11 mostrando as médias para Turbidez e seus

desvios padrões, e a Figura A1.12 apresentando os valores máximos esperados para as médias, acrescidas do intervalo de confiança.

Tabela A1.11. Turbidez (NTU), desvio padrão, IC (99%) e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Média	197,81	141,29	84,68	23,55	17,34	48,79
DP	103,27	35,32	48,14	5,17	6,81	9,20
IC 99%	144,71	126,14	107,71	11,22	14,78	19,96
Limite superior	342,52	267,42	192,39	34,76	32,11	68,75

Inicialmente elevada, a turbidez apresenta grande variação (DP) de entrada, indicando diferentes composições do efluente ao longo do dia e da semana, em sintonia com o ritmo da casa. Em dias de uso de máquina de lavar roupa, a turbidez tende a aumentar como resultado do aumento do uso de sabões e materiais por eles carregados. A turbidez diminui ao longo do sistema e em LM1 atinge níveis bem mais baixos.

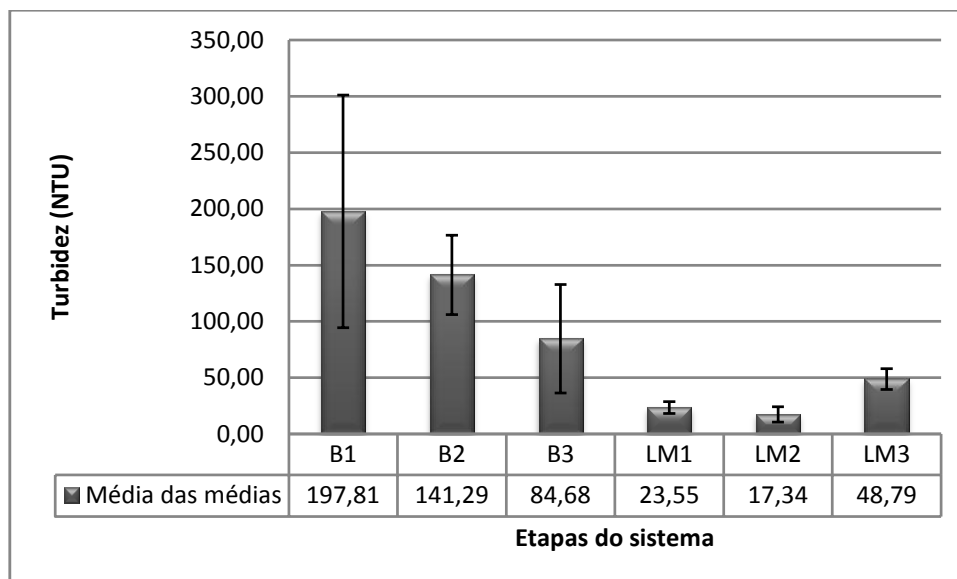


Figura A1.11. Médias das médias para turbidez e desvios padrões para águas cinzas.

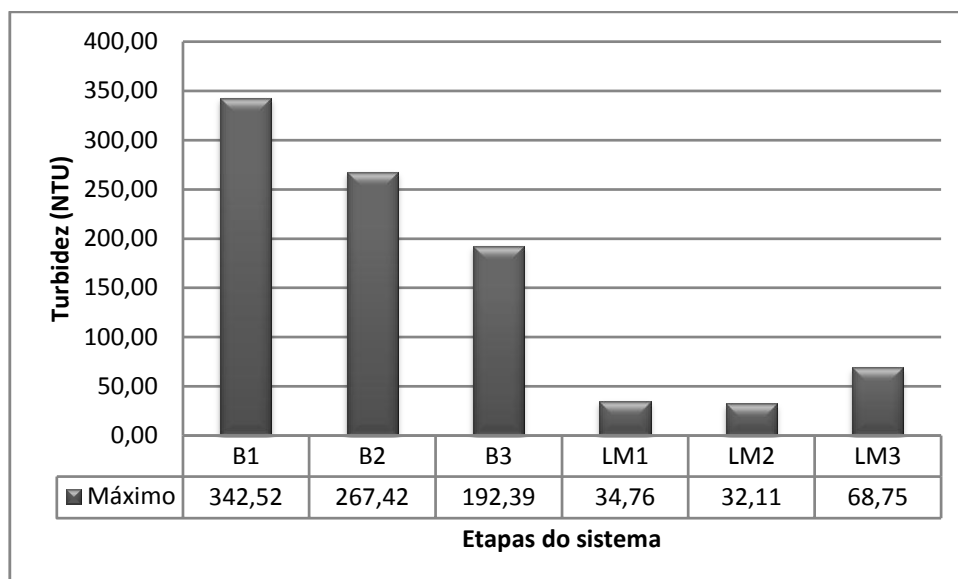


Figura A1.12. Limites superiores para turbidez, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

Tomando-se por base os valores de turbidez máxima e comparando-os com a legislação, tem-se que as LM1 e LM2 estão dentro da faixa de aceitação de turbidez para águas de Classe 1.

Alcalinidade

Resultado da dissolução de rochas, trocas gasosas com a atmosfera em que o gás carbônico é transformado em carbonato e bicarbonato, decomposição de matéria orgânica e despejos industriais, a alcalinidade mede a capacidade de uma amostra de água para se comportar como uma base nas reações com prótons. Na prática, a alcalinidade do corpo d'água é uma medida da capacidade do mesmo de resistir à acidificação quando recebe uma carga ácida, com unidade de medida em $\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$.

A Tabela A1.12 mostra a média das médias e desvios padrões para alcalinidade e a visualização da Figura A1.13 expõe o aumento das médias de B1 a B3, indicando a decomposição dos compostos do efluente, e posterior decréscimo nas LMs, indicando reincorporação de carbono por seres vivos e/ou transformações bioquímicas diversas consumindo as bases. Águas cinzas carregam para o sistema, dentre outros, sabões, detergentes e xampus contendo compostos alcalinos como hidróxido de potássio (KOH), carbonato de sódio (Na_2CO_3), sulfato de sódio (Na_2SO_4), hipoclorito de sódio (NaOCl), etc.,

sendo provavelmente os responsáveis pelo aumento da alcalinidade ao liberarem hidroxilas e álcalis (carbonatos, sulfatos) como resultado das reações bioquímicas que ocorrem durante sua degradação em B1 e B2. Os limites superiores são apresentados no Figura A1.14.

Tabela A1.12. Alcalinidade (mg CaCO₃/L), desvios padrões, IC (99%) e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Média	138,06	155,95	227,19	174,10	165,90	148,39
DP	20,95	29,31	26,01	10,14	11,08	13,84
IC 99%	29,36	41,07	36,44	14,20	15,53	19,39
Limite superior	167,42	197,02	263,64	188,30	181,43	167,78

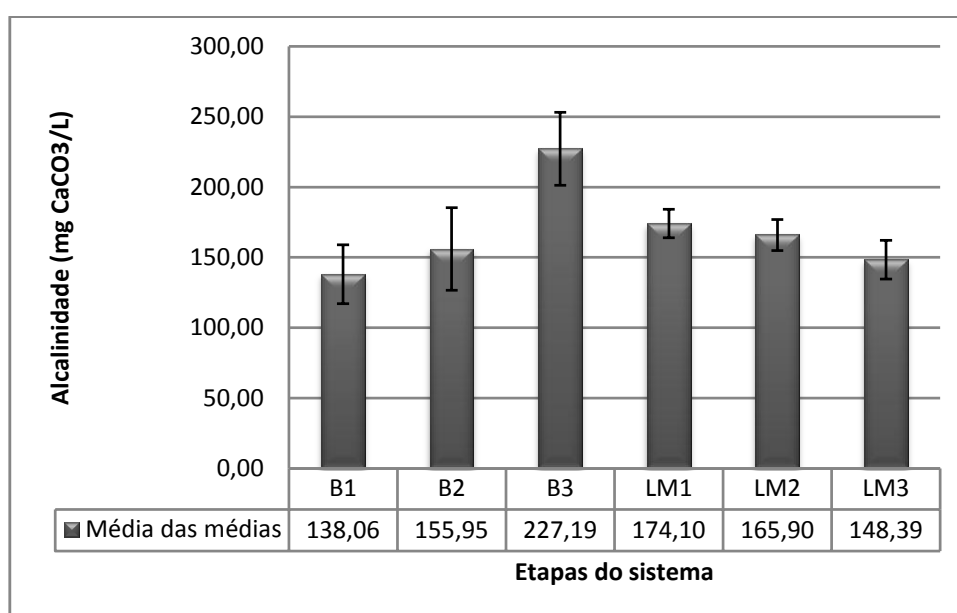


Figura A1.13. Média das médias e desvio padrão para alcalinidade (mg CaCO₃/L) para águas cinzas.

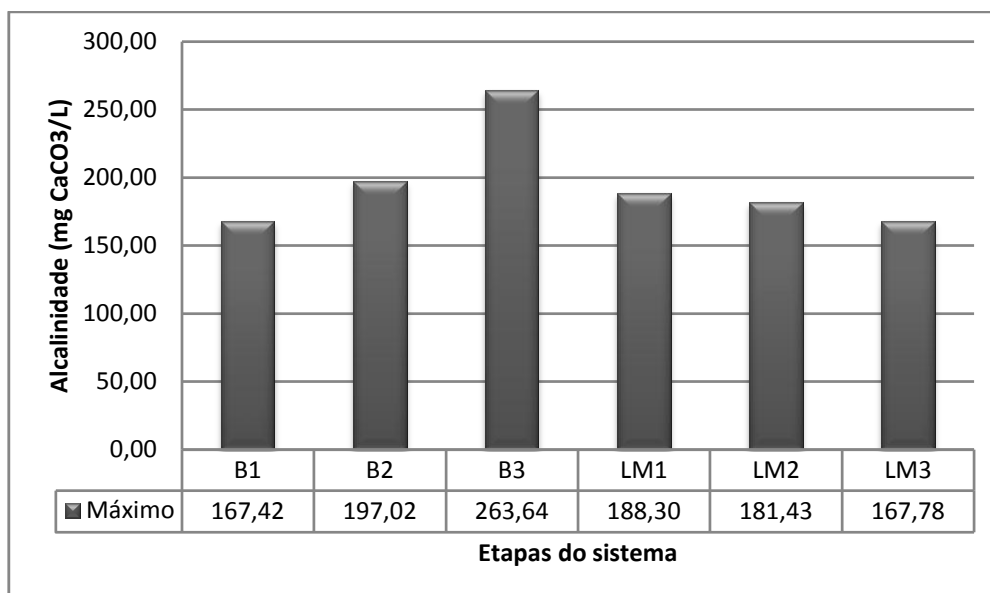


Figura A1.14. Limites superiores calculados para alcalinidade, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Demanda química de oxigênio é a quantidade de oxigênio molecular necessário à estabilização (oxidação) de matéria orgânica carbonada, por meio de reações químicas. A Tabela A1.13 apresenta os resultados das análises de DQO, com a média das médias, desvios padrões, valor do intervalo de confiança para alfa de 0,01 e o máximo esperado para as médias com confiança de 99%.

Tabela A1.13. DQO (mg.L^{-1}), desvio padrão, intervalo de confiança e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Média	272,51	629,25	58,15	53,97	45,33	52,23
DP	137,83	158,18	11,02	7,60	10,25	7,19
IC 99%	193,14	221,65	15,44	10,65	14,36	10,08
Limite superior	465,64	850,90	73,59	64,62	59,69	62,31
Limite inferior	79,37	407,60	42,70	43,32	30,96	42,16

Observando a Figura A1.15, nota-se grande aumento da DQO em B2, onde o efluente sofre a ação de microrganismos que rapidamente consomem oxigênio durante os processos bioquímicos, permanecendo B2 em condição anaeróbia, estágio em que ocorre uma pré-

digestão do efluente antes de sua passagem pelo banhado construído. A digestão dos microrganismos no processo de leitura da DQO deve ser o responsável pelo seu grande aumento em B2. Uma vez que há essa grande proliferação de micro e macrorganismos nessa etapa, isso se dá em função de farta disponibilidade de nutrientes para seu crescimento, nutrientes que devem ser originados da digestão do efluente por esses mesmos microrganismos. Ao atravessar o banhado construído (B3), a DQO sofre uma grande redução, apontando para uma estabilização/mineralização dos compostos.

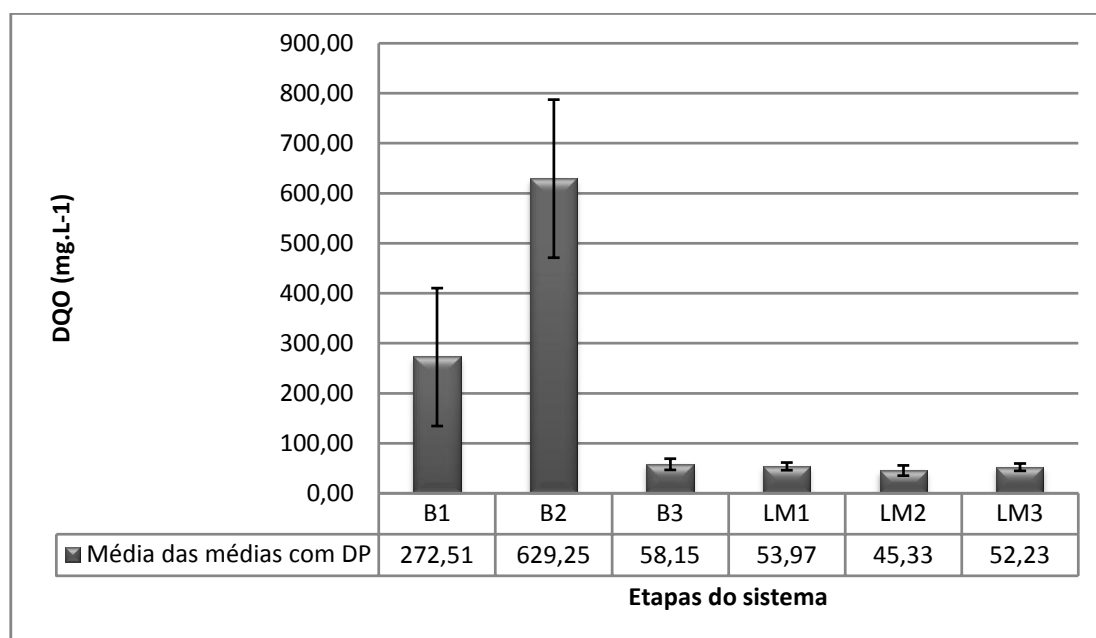


Figura A1.15. Média das médias de DQO e desvio padrão para águas cinzas.

Uma vez que a legislação apresenta limites para esse parâmetro, também aqui procedeu-se à verificação do valor máximo esperado para as médias, estabelecendo uma confiança de que em 99% das medições esse valor não será ultrapassado. A Figura A1.16 mostra esses resultados, onde se nota que a partir de B3 os valores máximos esperados ficam muito abaixo dos 180 mg.L^{-1} definidos pela legislação como limite para lançamento.

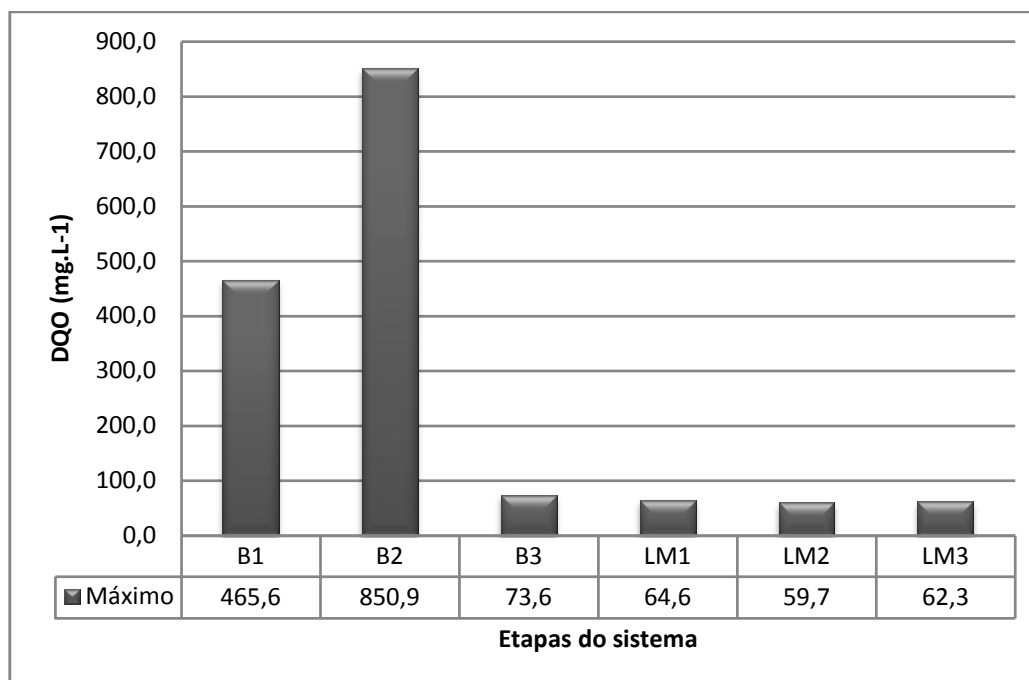


Figura A1.16. Limites superiores de demanda química de oxigênio, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

Utilizando o programa Statdisk, procedeu-se à análise de variância das médias de B3, LM1, LM2 e LM3 (Tabela A1.14), mostrando que não há evidências para rejeição da hipótese nula de igualdade entre as mesmas, ou seja, para o parâmetro DQO, bastaria o banhado construído para atender à legislação de lançamento do efluente.

Tabela A1.14. Análise de variância das médias de B3, LM1, LM2 e LM3.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	3	603,142857	201,047619	2,332275	4,718056	0,099494
Resíduo/Erro	24	2068,857143	86,202381			
Total	27	2672,00				

Para a legislação em vigor, o mínimo de eficiência requerida na remoção de DQO é de 55% e média anual igual ou maior que 65%. A Figura A1.17 apresenta a eficiência de B3, LM1, LM2 e LM3 em relação à entrada do efluente em B1, com o mínimo variando de 7,28% (B3/B1) e 24,79% (LM2/B1) e média entre 90,83% (B3/B1) e 93,35% (LM2/B1). Dessa forma, tomando-se as etapas de tratamento e o efluente bruto, tem-se que a eficiência mínima

esperada para um $\alpha = 0,01$, coloca todo o sistema de tratamento em desconformidade com a legislação, embora a média do sistema seja bastante alta.

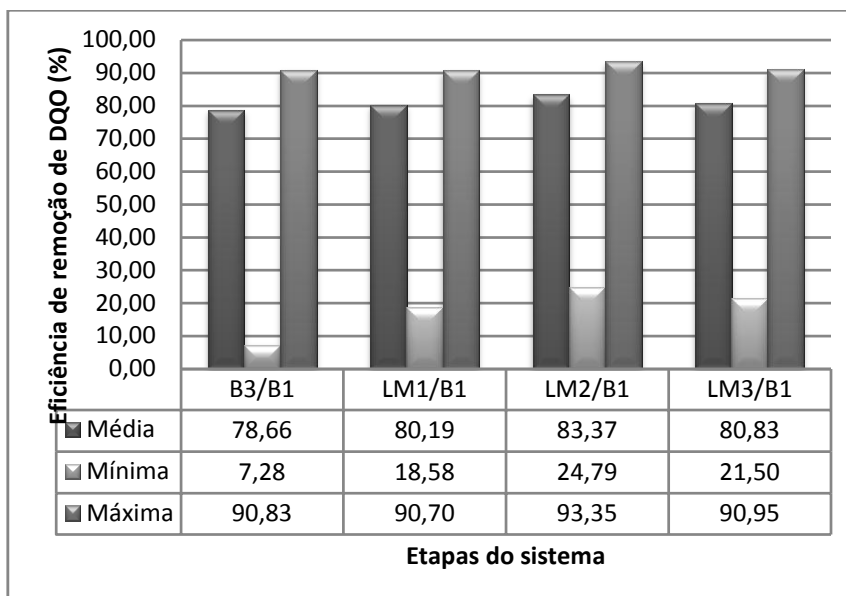


Figura A1.17. Eficiência de remoção de DQO de B3, LM1, LM2 e LM3 em relação a B1.

Por outro lado, a Figura A1.18 mostra a eficiência das mesmas etapas em relação à câmara B2, onde ocorre a pré-digestão do efluente, com um mínimo de eficiência variando de 81,95% (B3/B2) a 85,36% (LM2/B2), com média variando entre 90,76% (B3/B2) e 92,80% (LM2/B2), todos em conformidade com a legislação e indicando a necessidade/utilidade de uma câmara anaeróbia de digestão na entrada do sistema de tratamento.

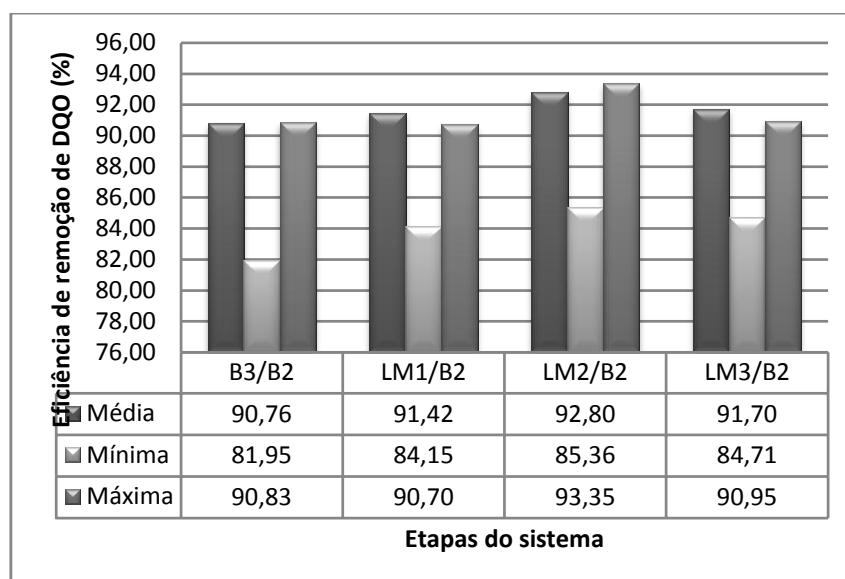


Figura A1.18. Eficiência de remoção de DQO de B3, LM1, LM2 e LM3 em relação a B2.

Sólidos Sedimentáveis (SS)

Os sólidos sedimentáveis são a fração sólida de um efluente que sedimenta em uma hora no Cone Imhoff, indicando aproximadamente a sedimentação em um tanque de decantação. A Tabela A1.15 traz os valores obtidos na análise desse parâmetro e a Figura A1.19 evidencia as médias das médias e os desvios padrões encontrados para cada etapa da tecnologia viva. Mantendo-se em níveis baixos, apenas em B2 ocorre um salto, com média quase 44 vezes maior que a média das outras etapas, lembrando que é nessa câmara que ocorre grande proliferação de bactérias que formam flocos sedimentáveis, e organismos diversos como insetos, larvas e raízes, eles mesmos sedimentáveis, e/ou liberando com a morte, componentes sedimentáveis (pelos, radículas, exoesqueletos, *etc.*), além de compostos, sabões, micelas e material particulado diverso que pode sedimentar. O banhado construído (B3), funciona assim como um filtro físico, além da função bioquímica vista anteriormente, que retém esses sólidos a níveis bastante baixos. A relativa elevação na quantidade de sólidos sedimentáveis em LM1 e LM3, pode ser explicada na primeira, pela grande quantidade de aguapés liberando partículas retidas em suas raízes, essas mesmas se desligando da planta por quebra ou morte, folhas em decomposição no meio aquoso, insetos e larvas, *etc.*; e na segunda, pela grande presença de fito e zooplâncton presentes no meio.

Tabela A1.15. Sólidos sedimentáveis (mL.h^{-1}), desvio padrão, IC e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Média	0,20	8,73	0,10	0,39	0,10	0,18
DP	0,15	3,84	0,00	0,21	0,00	0,10
IC 99%	0,21	5,38	0,00	0,29	0,00	0,14
Limite superior	0,41	14,11	0,10	0,68	0,10	0,32

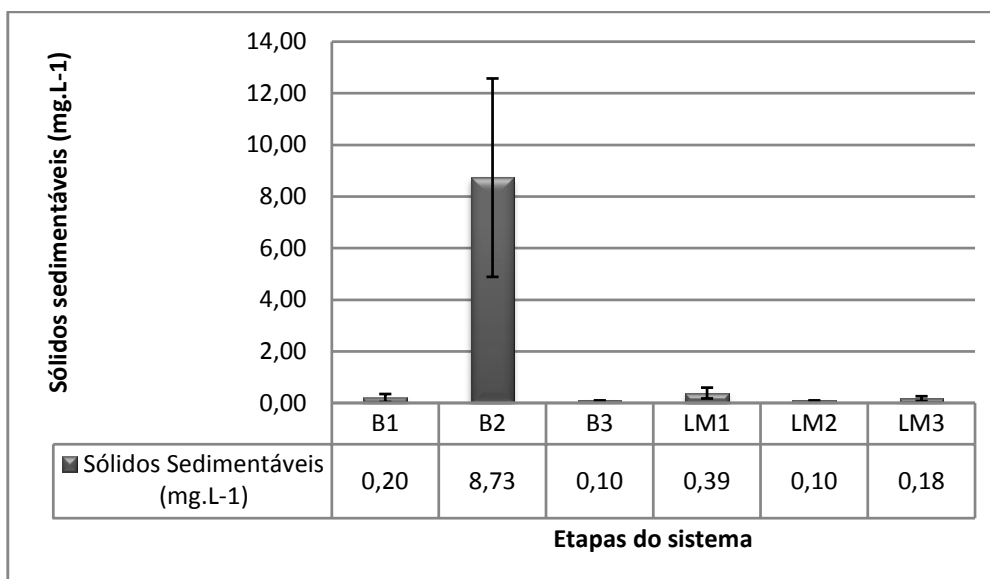


Figura A1.19. Média das médias e desvios padrões de sólidos sedimentáveis para águas cinzas.

A legislação determina um máximo de 1 mg.L^{-1} tanto para águas de classe 1 como para lançamento de efluentes. O máximo esperado para a tecnologia viva estudada (Figura A1.20) é de $0,68 \text{ mg.L}^{-1}$, muito abaixo do limite estabelecido. Note-se que em B3 (saída do banhado construído) a quantidade de sólidos sedimentáveis é praticamente desprezível, bem como em LM2.

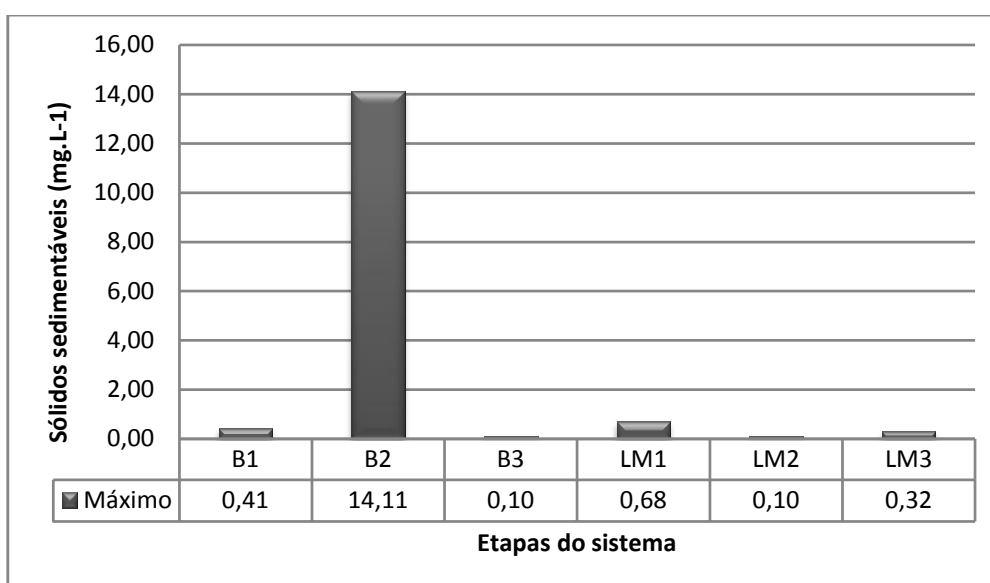


Figura A1.20. Limites superiores calculados para sólidos sedimentáveis, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

A análise de variância mostra que apenas quando se considera B2 há rejeição de igualdade entre as médias, como mostra a Tabela A1.16. De outro modo, B1, B3, LM1, LM2 e LM3 não apresentam variação significativa das médias para $\alpha = 0,01$.

Tabela A1.16. Análise de variância para sólidos sedimentáveis em B1, B3, LM1, LM2 e LM3.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	5	426,480836	85,296167	32,550718	3,591917	0,000
Resíduo/Erro	35	91,714286	2,620408			
Total	40	518,195122				

Sólidos Totais (ST)

Os sólidos totais representam o total de sólidos presentes na amostra, podendo ser fracionados em fixos (minerais, não incineráveis, inertes) e voláteis (componentes orgânicos). O conhecimento dos sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis em cada etapa de tratamento biológico de águas residuárias, fornece informações sobre a eficiência de remoção da matéria orgânica presente no efluente, em função da remoção dos sólidos totais voláteis. Acompanhando a Figura A1.21, observa-se que a entrada de águas cinzas no sistema (B1) tem composição média e desvio padrão semelhantes entre sólidos fixos e voláteis, o que muda drasticamente em B2, quando os voláteis estão mais presentes e com variação maior também. É nesse estágio, anaeróbio, que outros indicadores apontam para o aumento de material orgânico, formado por microrganismos e organismos maiores promovendo a decomposição dos compostos e incorporando os nutrientes na forma de biomassa. A grande variação se dá em função do aporte também variável de efluentes ao longo do dia, influenciando no volume acumulado em B2.

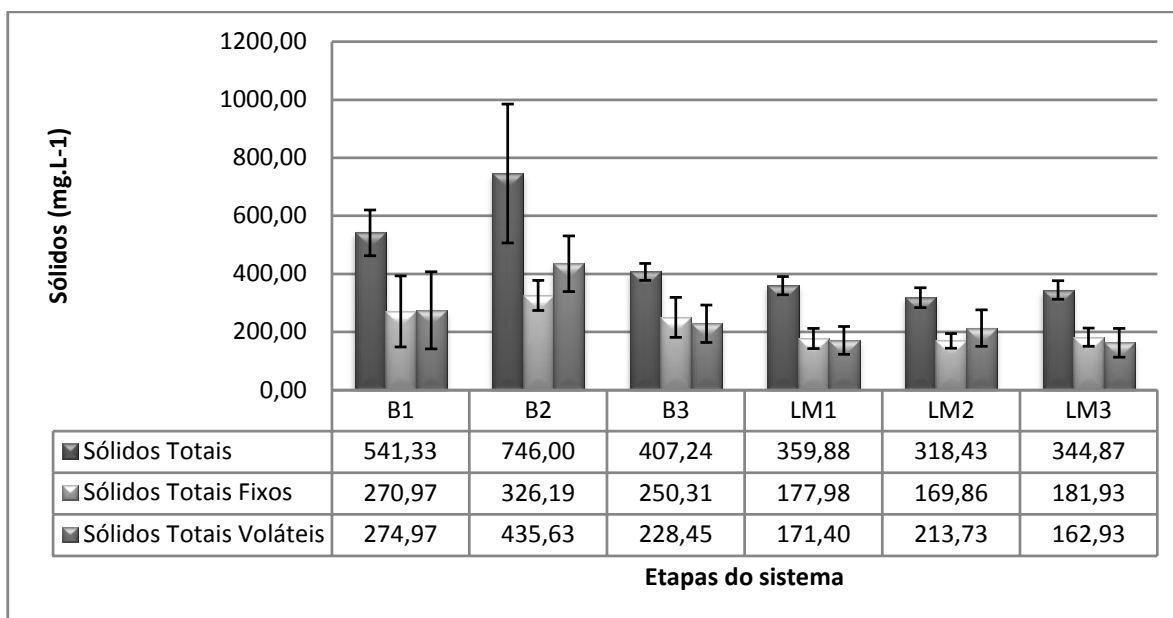


Figura A1.21. Média das médias e desvio padrão para sólidos totais, totais fixos e totais voláteis (mg.L^{-1}) para águas cinzas.

A redução dos sólidos em B3 era esperada, em função da característica que o banhado tem de filtragem e transformação desses sólidos. Um relativo aumento dos sólidos fixos pode-se dar por conta da dissolução e/ou carreamento de partículas minerais existentes no meio de preenchimento (terra, areia e pedra brita).

A redução de sólidos fixos em LM1 pode ser entendida como sedimentação ou mesmo retenção pelo sistema radicular das plantas presentes no sistema (principalmente aguapés), bem como a maior variação de sólidos voláteis pode se dar em função da variação na quantidade de microrganismos fotossintetizantes ao longo do período, ou mesmo em função de diferentes aportes de substâncias diversas oriundas dos diferentes usos e costumes dos moradores ao longo da semana (p.ex., lavagem de roupas que aumentem a incidência de fosfatos assimilados por microrganismos, aumentando a biomassa total, representada pelos sólidos voláteis), ou ainda seu trânsito pela coluna d'água em função de luminosidade, temperatura, oxigênio dissolvido, *etc.*

Sendo LM2 a mais rasa das lagoas multifuncionais, as coletas de amostras podem ter incorporado sedimento rico em microrganismos (lodo), levando a um aumento médio dos sólidos voláteis, bem como de sua variância.

Finalmente em LM3, o incremento de sólidos totais fixos pode-se dar em função da incorporação de carbonato e demais minerais por algas e microrganismos (parede celular,

carapaças de proteção, *etc.*) em função de trocas intensificadas com a presença de peixes e liberação de nitrogênio nas águas. Com a morte dos microrganismos e aumento na presença de compostos nitrogenados poderia ocorrer aumento de minerais, assim como com a vegetação presente no em torno da LM3 - seu fenecimento e dissolução de folhas, caules e raízes poderiam contribuir com esse aumento, ao que responderiam microrganismos com maior variação de sua população.

A análise de variância para esses dados mostrou (Tabela A1.17) que não há dados suficientes para rejeitar a igualdade entre as médias de LM1, LM2 e LM3 para um nível de significância de $\alpha = 0,01$. Em outras palavras, LM2 e LM3 pouco contribuem para a remoção de sólidos totais no tratamento das águas cinzas pela tecnologia viva testada.

Tabela A1.17. Análise de variância de sólidos totais.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	2	9942,541667	4971,270833	4,416819	5,110325	0,017724
Resíduo/Erro	45	50648,9375	1125,531944			
Total	47	60591,479167				

Sólidos Suspensos Totais (SST)

Sólidos suspensos totais são sólidos orgânicos e inorgânicos retidos em filtro (partículas maiores que 1 μm), sendo compostos por fixos (minerais, não incineráveis, inertes) e voláteis (componentes orgânicos), sendo possíveis carreadores de substâncias tóxicas, uma vez que funcionam como ótimos adsorventes para substâncias diversas. As frações fixas e voláteis não foram medidas nesse trabalho.

A Tabela A1.18 apresenta as médias das médias, desvios padrões, ICs e máximos obtidos para sólidos suspensos totais. A Figura A1.22 apresenta as médias das médias e seus desvios padrões. B2 apresenta grande quantidade de sólidos suspensos, provavelmente os mesmos identificados pela DQO (micro e macrorganismos), partículas de sabões, micelas, *etc.* Os sólidos suspensos, retidos quase na totalidade em B3, voltam na LM1, apresentando erro amostral (DP) maior que a média das médias, talvez por influência de revolvimento das águas, liberando material particulado aderido às raízes das plantas, dissolução de folhas e raízes mortas, ou simplesmente erro laboratorial.

Tabela A1.18. Sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}), desvio padrão, IC e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Média	56,42	685,17	18,50	60,67	15,92	25,67
DP	27,37	142,35	2,05	71,42	11,74	28,40
IC 99%	38,35	199,47	2,87	100,08	16,45	39,80
Limite superior	94,77	884,63	21,37	160,74	32,37	65,47

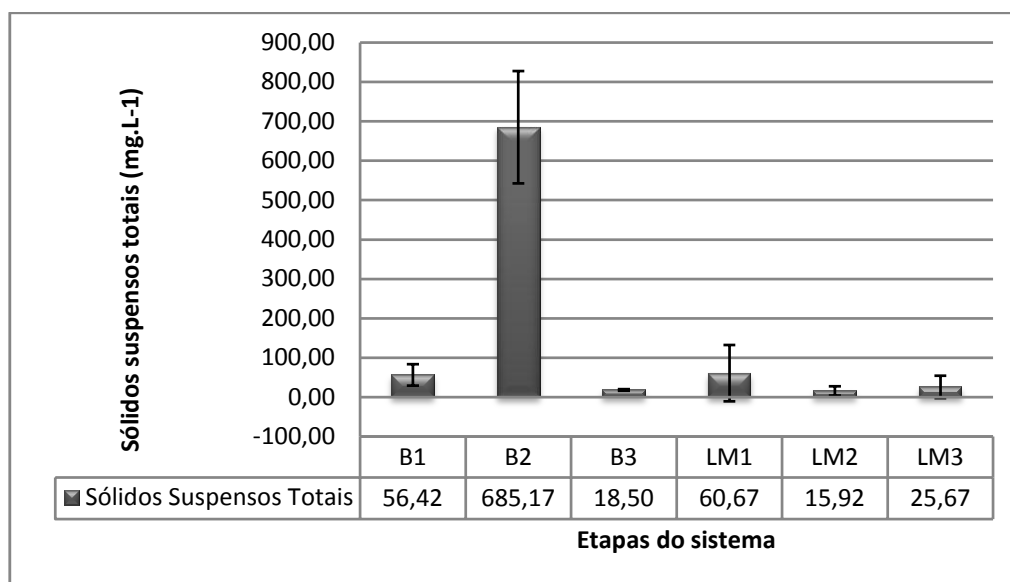


Figura A1.22. Média das médias e desvio padrão para sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}) para águas cinzas.

A Figura A1.23 mostra os máximos esperados para esse parâmetro, considerando um $\alpha = 0,01$. Considerando que a legislação prevê um máximo de 100 mg.L^{-1} para lançamento de efluentes, apenas B2 e LM1 superam este limite. Considerando ainda que águas de Classe 1 tem um máximo de 50 mg.L^{-1} de sólidos suspensos totais, B3 e LM2 estariam dentro do mesmo padrão.

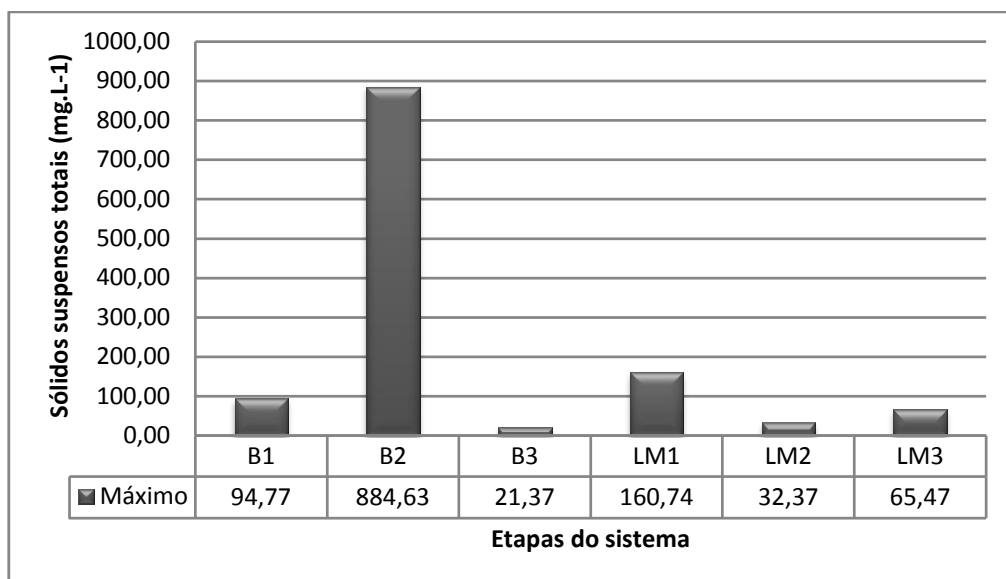


Figura A1.23. Limites superiores calculados para Sólidos Suspensos Totais, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.

A análise de variância da média das médias mostrou ainda que não há evidência suficiente para rejeitar a igualdade das médias de B1, B3, LM1, LM2 e LM3, como mostra a Tabela A1.19.

Tabela A1.19. Análise de variância de sólidos suspensos totais.

Causa de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	F crítico	Valor p
Tratamento	4	15661,791017	3915,447754	3,630224	3,802065	0,012523
Resíduo/Erro	42	45299,911111	1078,569312			
Total	46	60961,702128				

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Os sólidos dissolvidos totais são uma combinação de cátions e ânions dissolvidos na água e materiais em suspensão (partículas menores que $1\ \mu\text{m}$). A potabilidade da água fica comprometida com valor maior que $1000\ \text{mg.L}^{-1}$ desses sólidos, podendo caracterizar sabor, cor e odor.

A decisão tardia de realizar essa série fez com que o número de amostras trabalhadas fosse de apenas 4. Problemas laboratoriais (precisão de equipamento de pesagem),

dificuldades operacionais (manipulação) e o pouco peso medido (diferenças na casa dos milésimos) interferiram fortemente na obtenção dos dados para sólidos dissolvidos, resultando no abandono de alguns dados de amostras. Pode-se aproveitar os resultados de 4 amostras para B2 e B3, 3 amostras para B1, LM1 e LM2 e apenas 2 amostras para LM3, com interferência direta nos desvios padrões, que superaram em muito as médias. Optou-se então por análises tanto para $\alpha = 0,01$, como $\alpha = 0,05$, como mostra a Tabela A1.20. A Figura A1.24 apresenta a média das médias e desvio padrão.

Tabela A1.20. Sólidos dissolvidos totais (mg.L⁻¹), desvio padrão, IC e limite superior.

	B1	B2	B3	LM1	LM2	LM3
Média	488,22	332,50	391,17	285,00	292,00	338,50
DP	102,82	254,95	23,14	49,60	31,32	41,72
IC 99%	589,15	744,58	67,59	284,21	179,47	1877,87
Limite superior	1077,37	1077,08	458,76	569,21	471,47	2216,37
IC 95%	255,41	405,69	36,83	123,21	77,81	374,83
Limite superior	743,63	738,19	427,99	408,21	369,81	713,33

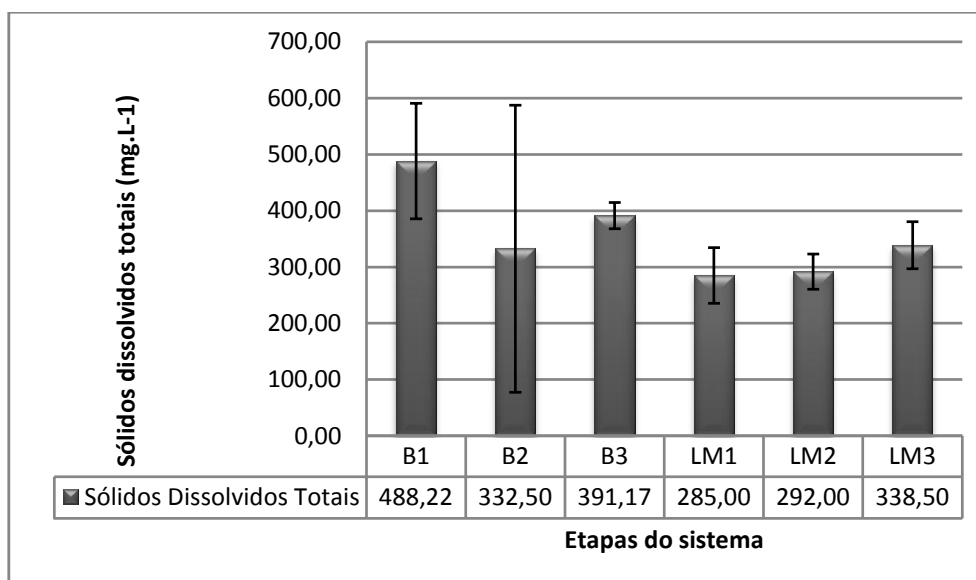
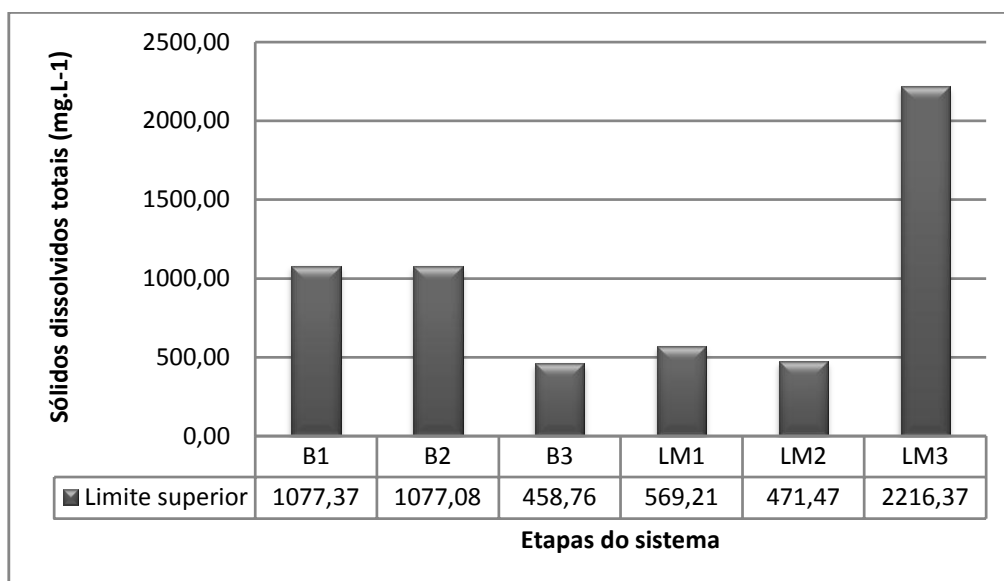


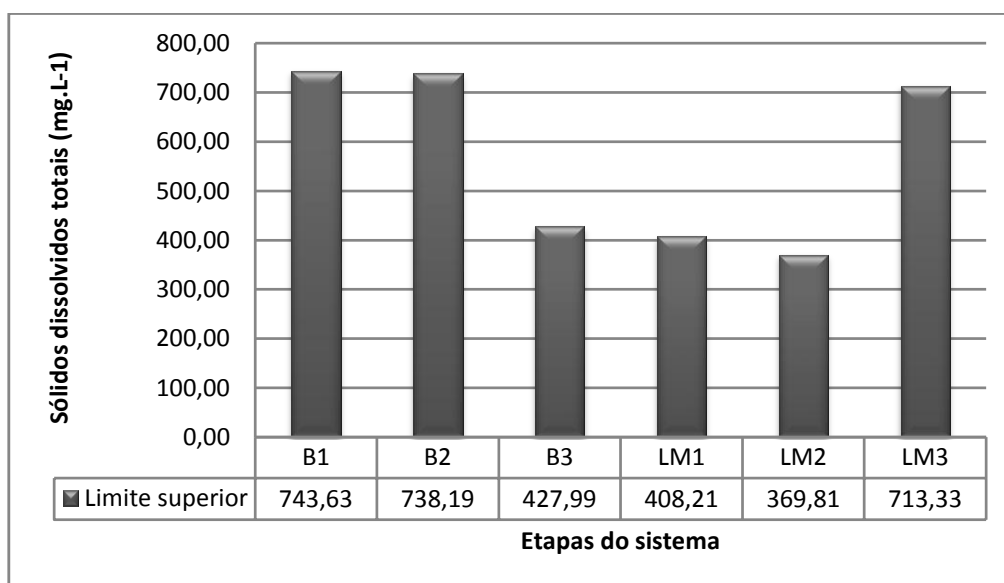
Figura A1.24. Média das médias e desvios padrões para águas cinzas.

As Figuras A1.25 e A1.26 mostram dos dados com um nível de confiança de 99% e 95% respectivamente. À parte a pouca amostragem obtida, níveis de confiança tão altos indicam a esperança de que os verdadeiros valores da população estudada estejam entre a faixa de confiança, que se vai estreitando à medida que mais amostras são estudadas. Como

trabalhou-se com os máximos dos intervalos de confiança, mesmo com insuficiência de dados, é de se esperar ao menos alguma indicação de como a tecnologia viva esteja atuando quanto aos sólidos dissolvidos.



Figuras A1.25. Limites superiores para sólidos dissolvidos totais, com $\alpha = 0,01$ para águas cinzas.



Figuras A1.26. Limites superiores para sólidos dissolvidos, com $\alpha = 0,05$ para águas cinzas.

A legislação não prevê máximos de sólidos dissolvidos para lançamento de efluentes, embora informe que para águas de Classe 1 este máximo seja de 500 mg.L^{-1} . Com uma

confiança de 99% pode-se dizer que B3 e LM2 estariam nessa classe e, considerando um nível de confiança de 95%, também LM1.

ANEXO 2 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUAS PRETAS

Os parâmetros temperatura e oxigênio dissolvido (OD) não foram medidos para águas pretas e os valores de pH, turbidez, DQO, alcalinidade, condutividade e série de sólidos foram todos analisados no laboratório de saneamento da UNIFEI. O universo amostral foi de 5 coletas ($n = 5$), com medidas em tréplica, das quais se obteve a média e posteriormente a média das médias, desvios padrões, intervalo de confiança (99%) e máximos para comparação com a legislação. As coletas e análises foram feitas entre 12 e 24 de maio de 2009. De modo geral, parece que alguns parâmetros (sólidos, pH, alcalinidade) foram influenciados por alguma dissolução do leito de bambu presente no filtro biológico e/ou madeiras e entulho de construção utilizados na base do banhado construído.

pH

O pH medido para águas pretas foi um pouco mais básico que o de águas cinzas, com média próxima de 8,7 na entrada e decrescendo um ponto ao atravessar o sistema, com desvios padrões mantendo-se equivalentes (Tabela A2.1 e Figura A2.1). A literatura (ERCOLE, 2003) aponta para efluentes de águas pretas mais ácidas em relação às águas cinzas, embora não apresente valores. Os valores mais básicos encontrados talvez possam estar associados aos hábitos alimentares dos residentes, mais naturais e integrais, com alimentos ricos em fibras e pouca proteína animal. Uma ligeira elevação do pH em N3 poderia ser devido aos materiais de preenchimento a partir da base, composto de entulho de obra (tijolos, telhas, madeira, pedra brita e torrões de massa de assentamento, compostos por areia, cal e cimento).

Tabela A2.1. pH, desvio padrão, IC, limite mínimo e limite superior.

	N1	N2	N3
Média	8,74	7,59	7,64
DP	0,12	0,11	0,11
IC 99%	0,24	0,23	0,22
Limite inferior	8,50	7,36	7,41
Limite superior	8,99	7,82	7,86

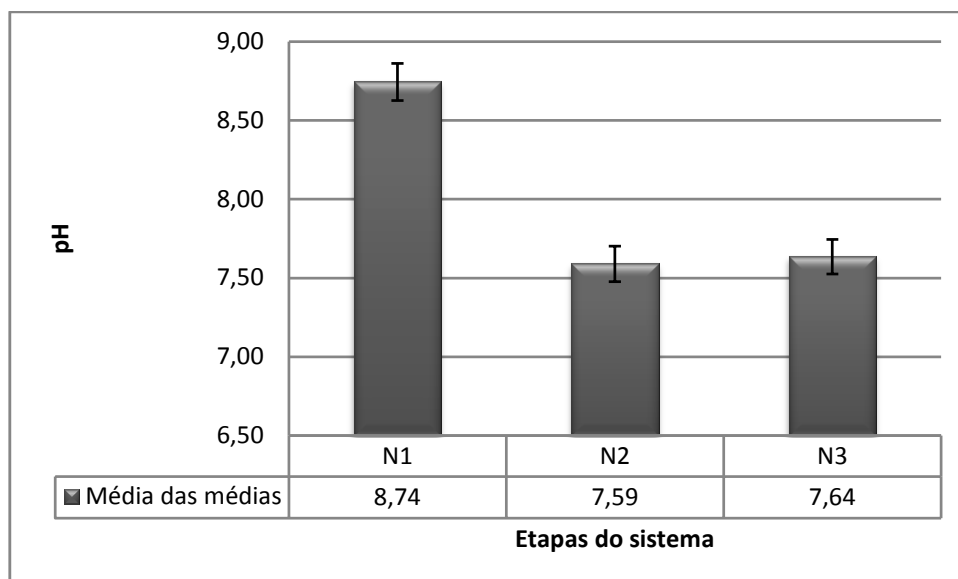


Figura A2.1. Média das médias e desvios padrões de pH para águas pretas.

A legislação indica valores de pH entre 6,0 e 9,0. Com um nível de confiança de 99%, calculou-se os mínimos e máximos esperados para esse parâmetro, cujo resultado é apresentado no Figura A2.2, indicando conformidade do mesmo em relação à legislação.

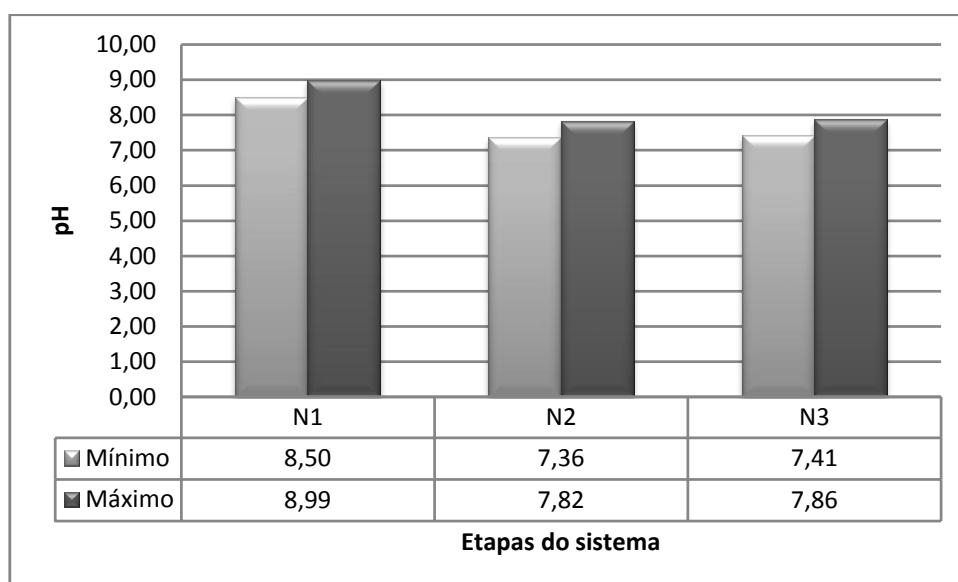


Figura A2.2. Limites inferiores e limites superiores de pH para águas pretas, com $\alpha = 0,01$.

Condutividade

Como ocorre com as águas cinzas, a digestão da matéria orgânica presente nas águas pretas libera íons no meio e, portanto, eleva os valores em N2. A manutenção de valores semelhantes em N3 (Tabela A2.2 e Figura A2.3) sugere que esses íons permanecem livres no efluente, ou então que absorções pelas plantas em N3 foram equilibradas por eventuais liberações de novos íons à partir dos materiais de preenchimento utilizados no banhado construído (tijolos, telhas, madeiras, pedra brita e, principalmente, blocos de massa de assentamento, compostos por areia, cal e cimento). No dia da chuva, a condutividade média aumentou, indicando interferência no banhado construído.

Tabela A2.2. Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), desvio padrão, IC e limite superior.

	N1	N2	N3
Média	1,08	1,91	1,90
DP	0,24	0,22	0,12
IC 99%	0,50	0,45	0,25
Limite superior	1,58	2,36	2,15

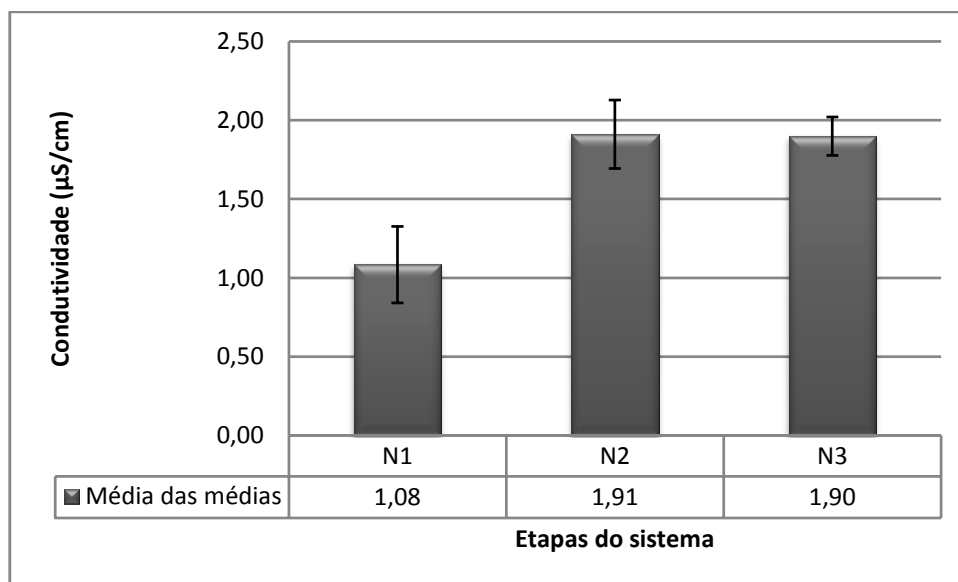


Figura A2.3. Média das médias e desvios padrões para condutividade de águas pretas.

A legislação não limita valores para condutividade, mas tomando-se os máximos de condutividade esperados para a tecnologia viva (Figura A2.4) e considerando o trabalho de

Anderson e Cummings (1999), os efluentes de N3 poderiam ser no mínimo utilizados para irrigação subsuperficial.

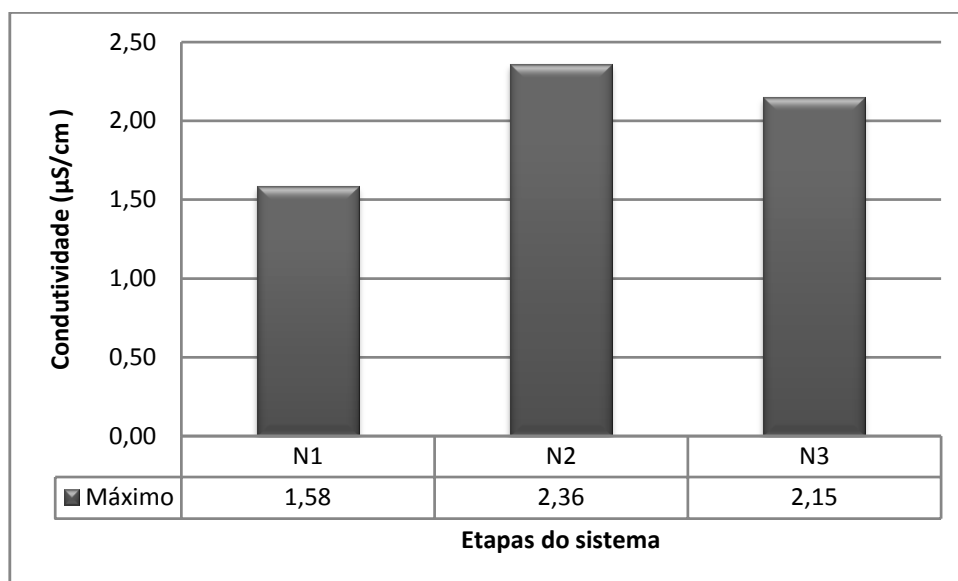


Figura A2.4. Limites superiores para condutividade de águas pretas, com $\alpha = 0,05$.

Turbidez

No dia 15/05/2009 (2ª coleta) choveu, das 0h00 às 6h00, aproximadamente 13mm²⁰, influenciando diretamente nos resultados obtidos em N3 (banhado construído) da tecnologia viva de tratamento de águas pretas. A turbidez medida no banhado construído saltou de uma média próxima a 27 NTU para 233 NTU, medida do dia 15, elevando a média geral para próximo de 69 NTU.

As análises estatísticas apontaram para a normalidade dos dados, indicando possíveis *outliers* nas médias de N1 e N3. O valor discrepante em N1 se deu por acréscimo de matéria fecal em um dos dias de coleta, o que certamente elevou o valor obtido e, por considerar esse fator dentro da normalidade, o mesmo foi mantido. Já para N3, o dia chuvoso interferiu bastante na medida de turbidez, como mostra a Tabela A2.3 e a Figura A2.5, onde se percebe grande aumento no desvio padrão, saltando de 3,89 para 92,25.

²⁰ CPETC-INPE. Plataforma de Coleta de Dados. Itajubá, MG. Disponível em <<http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/metadados.jsp?uf=12&id=32512&tipo=MET&idVariavel=4&ano=2009&mes=05&dia=18&esq=on>>.

Tabela A2.3. Turbidez (NTU), desvio padrão, IC e limite superior, incluído o dia 15/05/09.

	N1	N2	N3
Média	633,26	107,04	68,59
DP	337,44	68,77	92,25
IC 99%	694,78	141,59	189,94
Limite superior	1328,04	248,64	258,53

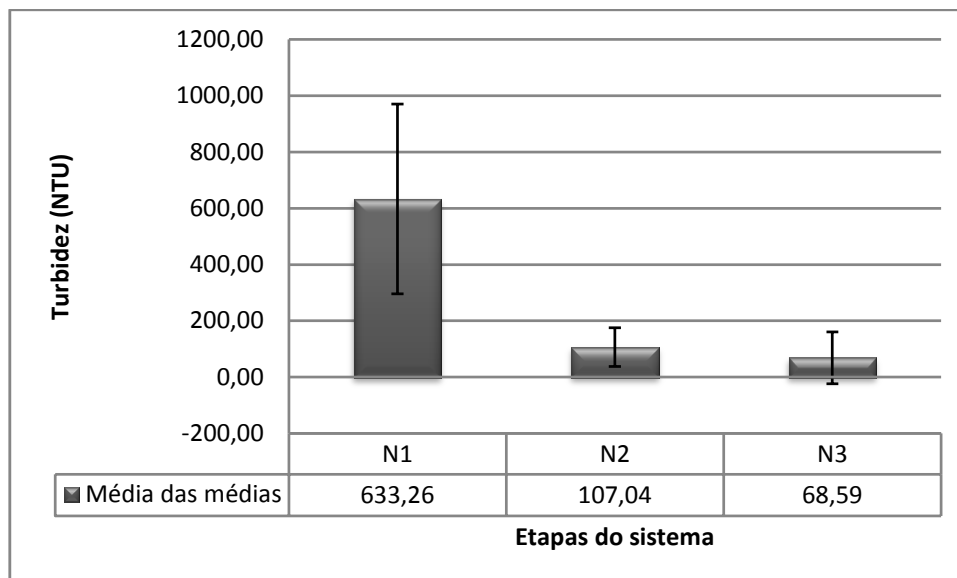


Figura A2.5. Média das médias e desvios padrões para turbidez de águas pretas, incluído o dia 15/05/09.

De modo a comparar-se os dados com e sem chuva, a Tabela A2.4 e a Figura A2.6 apresentam esses dados desconsiderando os valores do banhado (N3) para o dia de chuva, indicando média baixa e pequeno desvio padrão para o conjunto. Um desvio padrão pequeno aproxima os dados da média das amostras, enquanto um desvio padrão muito alto indica grande variação nos valores das amostras.

Tabela A2.4. Turbidez, desvio padrão, IC e limite superior, excluído o dia 15/05/09.

	N1	N2	N3
Média	633,26	107,04	27,36
DP	337,44	68,77	3,89
IC 99%	694,78	141,59	8,01
Limite superior	1328,04	248,64	35,37

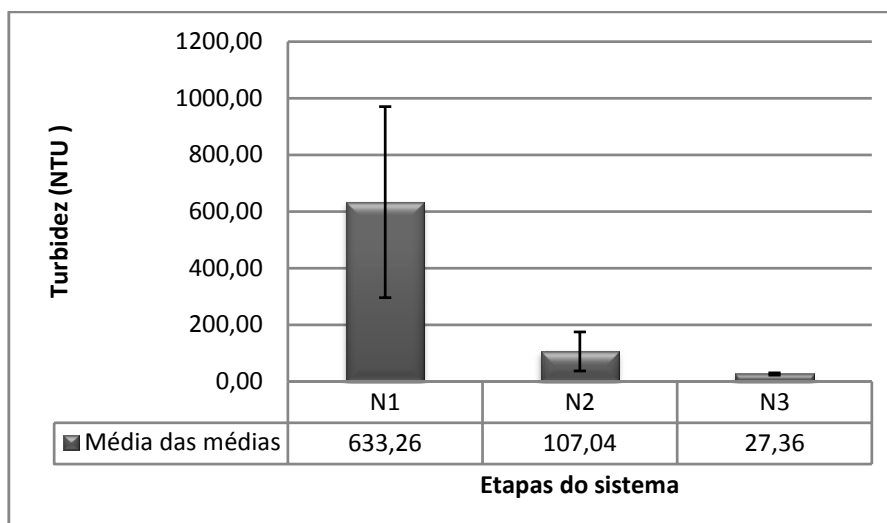


Figura A2.6. Média das médias e desvios padrões para turbidez de águas pretas, excluído o dia 15/05/09.

Os máximos sem chuva e com chuva (IC = 99%), são apresentados n Figura A2.7. Se o primeiro máximo coloca o efluente de N3 dentro dos parâmetros legais de águas de Classe 1 (abaixo de 40 NTU), o tempo chuvoso fez com que esse máximo saltasse para 258,53 NTU, excluindo seu lançamento mesmo para corpos d'água classes 2 e 3, o que poderia ser facilmente revertido instalando-se um filtro de areia de ação vertical descendente após o banhado construído, evitando-se lançar o efluente quando sob tempo chuvoso, ou mesmo mantendo o banhado coberto (o banhado, por exemplo, poderia ser instalado em uma estufa, por exemplo, em regiões onde a ocorrência de chuvas fosse muito intensa).

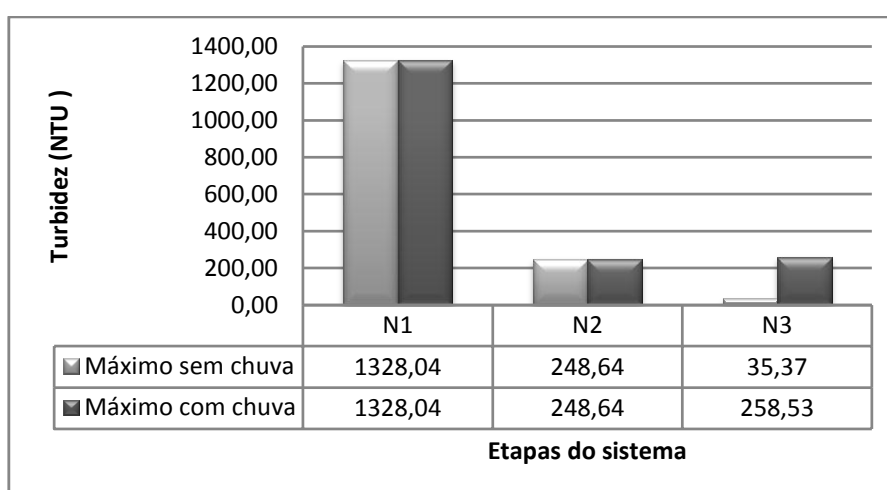


Figura A2.7. Limites superiores de turbidez de águas pretas sem chuva e com chuva, com $\alpha = 0,01$.

Alcalinidade

A resistência a variações de pH com recebimento de eventuais cargas ácidas encontra boa resposta em N2, com baixo desvio padrão, indicando pouca variação desse parâmetro em seu interior. A Tabela A2.5 e a Figura A2.8 evidenciam os dados. O aumento da alcalinidade poder-se-ia dar em função do preenchimento do filtro biológico com bambu, ocasionando a solubilização de compostos básicos que aumentariam a alcalinidade do sistema. A maior variação em N3 ocorreu justamente na noite em que choveu, indicando alguma interferência, solubilizando ou revolvendo compostos básicos presentes na superfície do sistema e misturando-os ao efluente vindo de N2. Desconsiderando o valor médio desse dia, a média geral varia para menor, assim como o desvio padrão. Por ser relativamente pequeno e não consistindo em *outlier*, essa relação não foi estudada mais a fundo.

Tabela A2.5. Alcalinidade ($\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$), desvio padrão, IC e limite superior.

	N1	N2	N3
Média	370,13	813,07	782,97
DP	77,05	16,54	57,74
IC 99%	158,65	34,05	118,89
Limite superior	528,78	847,12	901,86

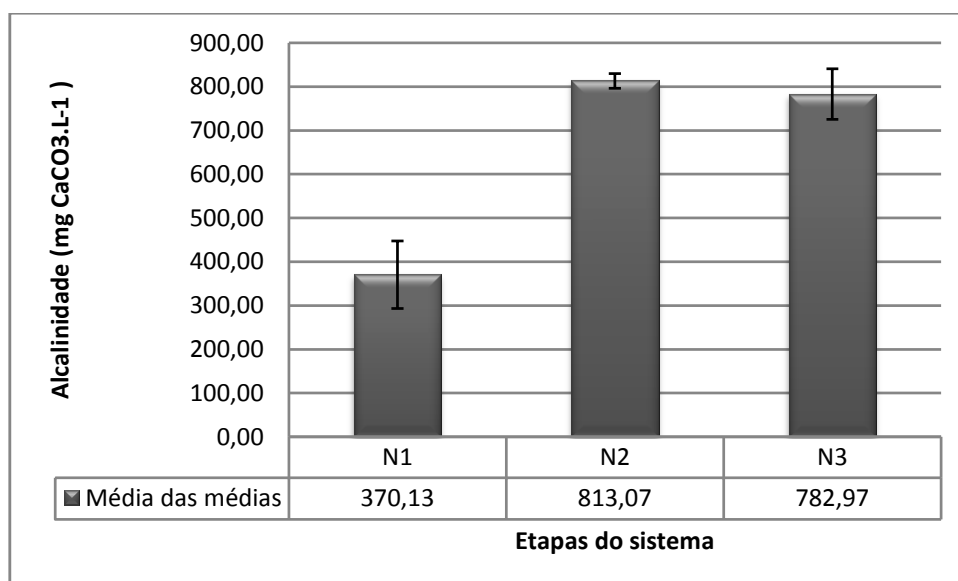


Figura A2.8. Média das médias e desvios padrões para alcalinidade das águas pretas.

Embora em N2 e N3 tenha-se encontrado valores bastante altos para alcalinidade, Florêncio, Bastos e Aisse (2006) reportam valores entre 200 e 700 mg CaCO₃.L⁻¹ para esgotos tratados. Ao encontrar valores médios diferentes de alcalinidade para águas cinzas (138,06 mg CaCO₃.L⁻¹ em B1, na entrada do sistema) e pretas (370,13 mg CaCO₃.L⁻¹ N1, na entrada do sistema), o presente estudo indica diferenças expressivas em relação à alcalinidade encontrada para efluentes fracionados. Tomando-se a média de alcalinidade na entrada dos sistemas, tem-se 254,10 mg CaCO₃.L⁻¹, dentro portanto da faixa apresentada acima. A Figura A2.9 apresenta o máximo esperado para a alcalinidade com um nível de confiança de 99%.

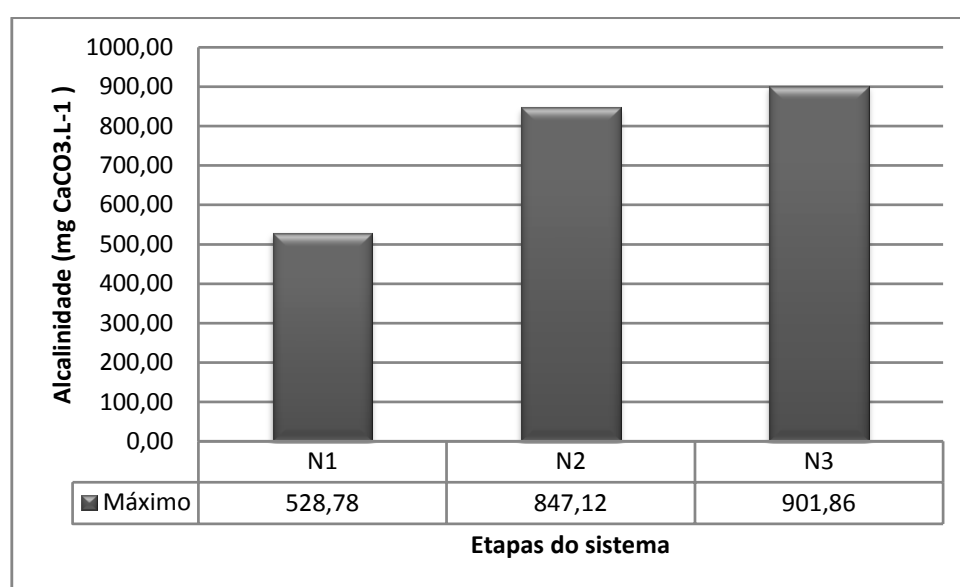


Figura A2.9. Limites superiores para alcalinidade das águas pretas, com $\alpha = 0,01$.

Demanda Química de Oxigênio

Em um dos dias de coleta, notou-se grande elevação nos resultados para DQO, possivelmente decorrente de mulher em período menstrual, comprovado visualmente no efluente. Para uma média esperada próxima a 1051 mg.L⁻¹ em N1, nesse dia em particular a medida foi de 1604 mg.L⁻¹, um possível *outlier* mantido por se aproximar do esperado para a normalidade da população.

No dia da chuva, também a DQO em N3 apresentou grande variação, passando de média esperada em torno de 68 mg.L⁻¹ para 138 mg.L⁻¹, medido no dia e considerado um *outlier*. Dessa forma, procedeu-se ao estudo do parâmetro com e sem contabilizar o dia de

chuva. A Tabela A2.6 e a Figura A2.10 mostram os valores obtidos sem considerar o dia chuvoso.

Tabela A2.6. DQO, desvio padrão, IC e limite superior, excluído o dia 15/05/09 (sem chuva).

	N1	N2	N3
Média	1162,00	100,05	67,81
DP	250,72	11,81	2,23
IC 99%	516,24	24,32	4,60
Limite superior	1678,24	124,37	72,40
Limite inferior	645,76	75,73	63,21

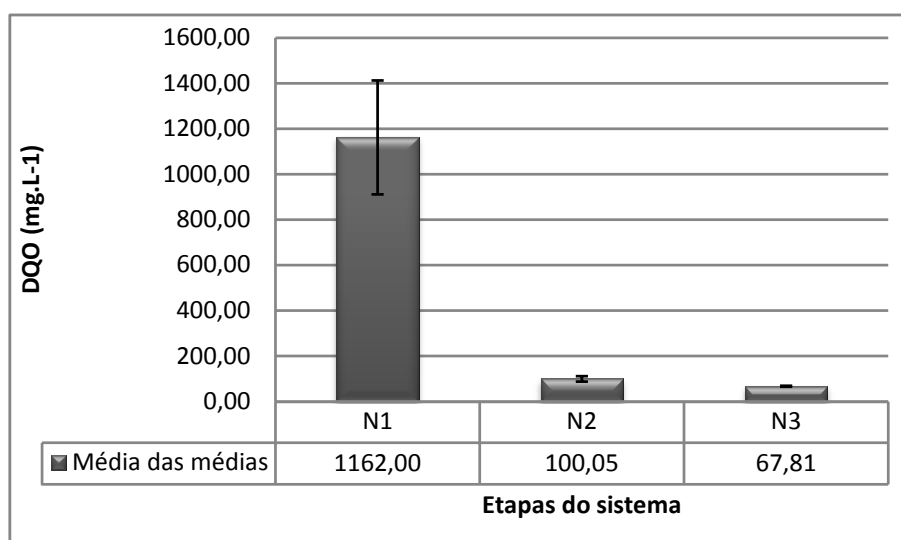


Figura A2.10. Média das médias e desvios padrões para DQO de águas pretas, excluído o dia 15/05/09 (sem chuva).

A variação dos dados pode ter acontecido em função de matéria orgânica acumulada na superfície do banhado (folhas e talos em decomposição, fezes de pequenos animais, larvas, *etc.*), carregada para a subsuperfície pela chuva incidente, contaminando assim o efluente que chega próximo à superfície ascendendo do fundo. A Tabela A2.7 e a Figura A2.11 mostram os valores considerando os dados do dia da chuva.

Tabela A2.7. DQO, desvio padrão, IC e limite superior, incluído o dia 15/05/09 (com chuva).

	N1	N2	N3
Média	1162,00	100,05	81,85
DP	250,72	11,81	31,45
IC 99%	516,24	24,32	64,76
Limite superior	1678,24	124,37	146,60
Limite inferior	645,76	75,73	17,09

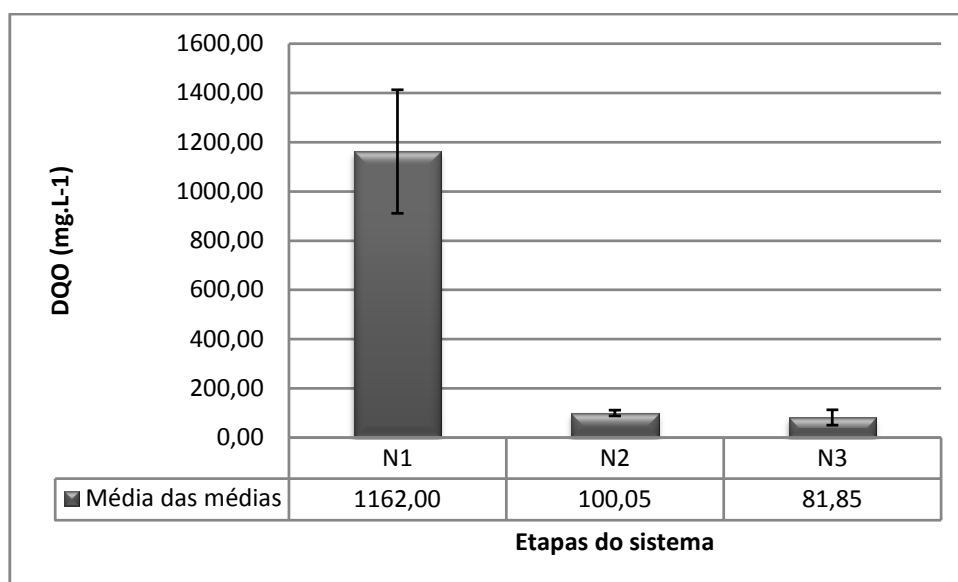


Figura A2.11. Média das médias e desvios padrões para DQO das águas pretas, incluído o dia 15/05/09 (com chuva).

Note-se que o desvio padrão de N3 sem chuva é de 2,23, saltando para 31,45 quando da chuva. De modo a confrontar esses dados com a legislação, tomaram-se os limites máximos calculados para $\alpha = 0,01$, com e sem chuva, como mostra a Figura A2.13.

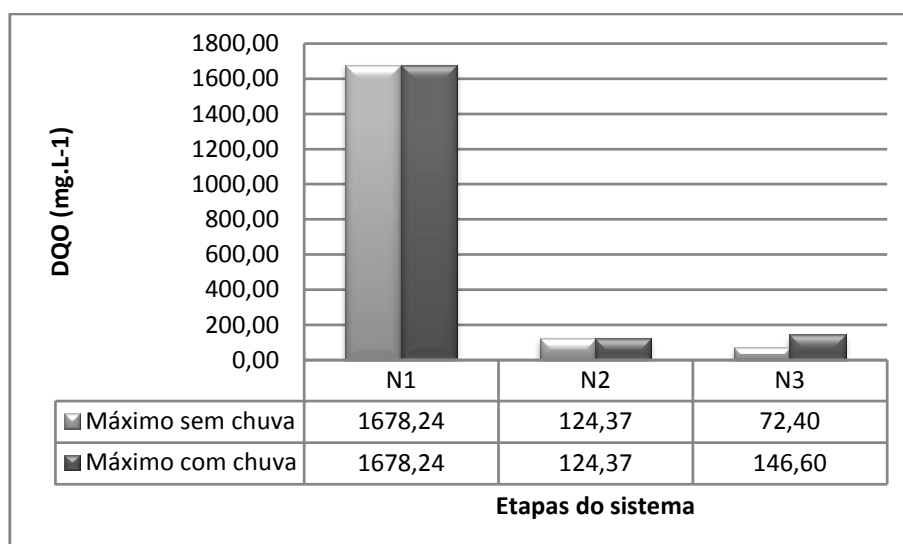


Figura A2.13. Limites superiores de DQO sem chuva e com chuva para as águas pretas, com $\alpha = 0,01$.

A legislação não define valores de DQO para diferentes classes de águas, apenas para o lançamento de efluentes nesses corpos, devendo obrigatoriamente ser menores que 180 mg.L⁻¹. Com os máximos calculados para a tecnologia viva de tratamento de águas pretas de 72,40 mg.L⁻¹ (sem chuva) e 146,60 mg.L⁻¹ (com chuva), em ambos os casos atende-se à legislação, com uma confiança de 99%.

A eficiência dos sistemas de tratamento para remoção de DQO, prevê a legislação, deve ser no mínimo de 55%, com média anual igual ou maior que 65%. Na tecnologia viva de tratamento de águas pretas a eficiência mínima, em dias chuvosos, está entre 77,3% (N3/N1) e 80,74 (N2/N1), como mostra a Figura A2.14.

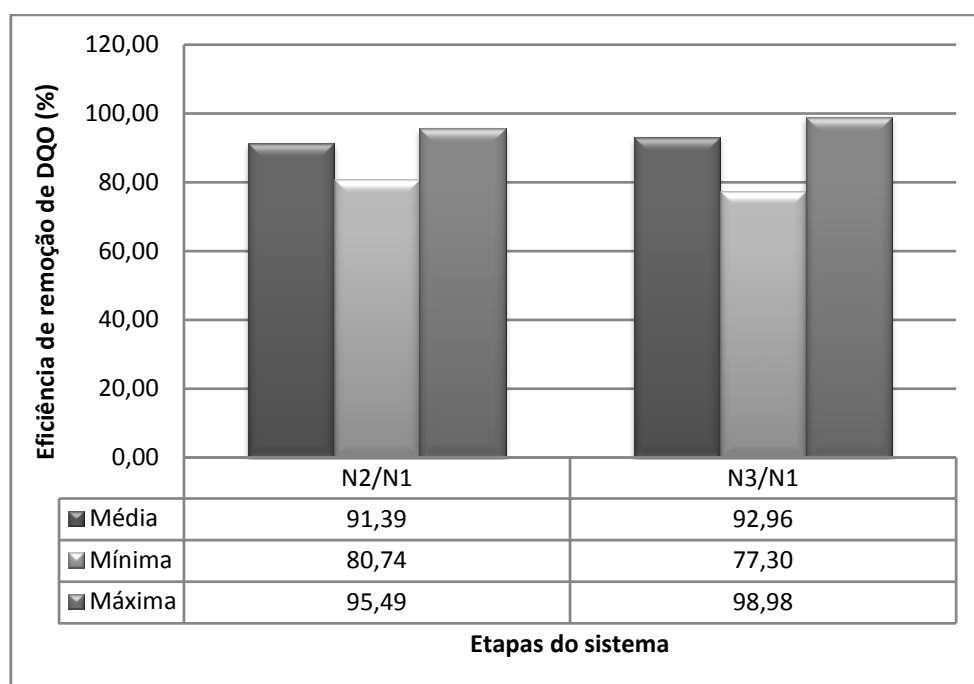


Figura A2.14. Eficiências média, mínima e máxima de remoção de DQO das águas pretas com chuva, $\alpha = 0,01$.

A eficiência do sistema, considerando dias sem chuva (Figura A2.15), não varia de N2/N1 - por se tratar de um sistema fechado, o mesmo não é afetado pela chuva. Já o banhado construído sofre essa interferência, apresentando entre N3 e N1, eficiência média de 94,16%, mínima de 88,79%, e máxima de 96,23%, permanecendo dentro do preconizado pela legislação.

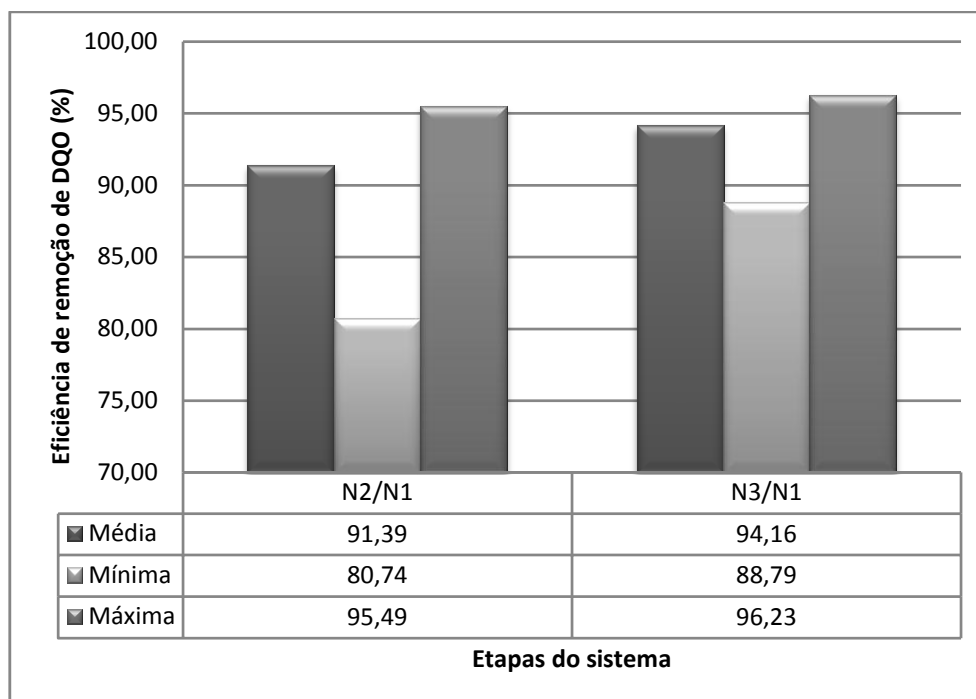


Figura A2.15. Eficiência média, mínima e máxima de remoção de DQO das águas pretas, sem chuva, com $\alpha = 0,01$.

Sólidos Sedimentáveis (SS)

Toda a série de sólidos apresentou valores normais com alguns possíveis *outliers* que foram estudados e considerados como variações possíveis ao acaso, dado estar-se trabalhando com sistema em funcionamento real.

A Tabela A2.8 mostra a média das médias, desvios padrões, ICs e máximos para os sólidos sedimentáveis.

Tabela A2.8. Sólidos Sedimentáveis (mL.L^{-1}), desvio padrão, IC e limite superior.

	N1	N2	N3
Média	8,80	0,08	0,04
DP	1,89	0,04	0,05
IC 99%	3,89	0,09	0,11
Limite superior	12,69	0,17	0,15

Pela Figura A2.16, que apresenta os limites superiores para os sólidos sedimentáveis, nota-se que em N2 e N3 os valores máximos esperados (IC de 99%) estão muito abaixo do máximo permitido pela legislação, que é de 1 mg.L^{-1} para o lançamento em corpos d'água.

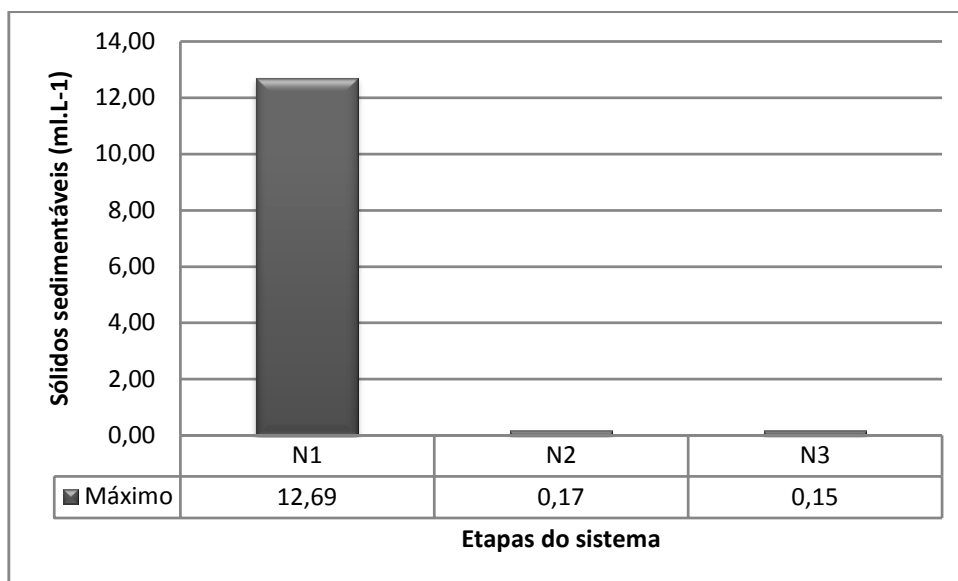


Figura A2.16. Limites superiores de sólidos sedimentáveis para as águas pretas, com $\alpha = 0,01$.

Sólidos Totais (ST)

A Figura A2.17 apresenta a média das médias para sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e seus desvios padrões. Em N1 sobressaem os sólidos voláteis, microrganismos presentes no material sólido fecal de entrada. Esses voláteis sofrem redução de 70,81% em N2 (após o filtro biológico), provavelmente por conta de sua adesão ao meio filtrante e relativa baixa disponibilidade de matéria orgânica, previamente digerida ainda em N1, que parece funcionar também como digestor, além de decantador. Isso parece ocorrer em função do elevado tempo de detenção hidráulica, devido ao superdimensionamento do sistema proposto por Sanguinetto (2009), que tomou por base a NBR 7.229 (1993) que, por sua vez, desconsidera a separação entre águas cinzas e pretas aumentando o volume total do sistema de tratamento. Com menor volume de entrada e mais concentrada, a matéria orgânica inicial tende a ser digerida com maior eficiência pelos microrganismos presentes em N1, cabendo a N2 a filtragem dos excedentes e digestão do lodo carregado da câmara anterior e daquele acumulado no próprio filtro e seu substrato. Dessa forma, um volume projetado para receber

águas cinzas e pretas (total de 130 litros.pessoa⁻¹.dia⁻¹), recepcionando apenas águas pretas (30,7 litros.pessoa⁻¹.dia⁻¹), resulta num tempo de detenção próximo de 58 dias, contando os volumes úteis de N1 e N2. Por outro lado, os sólidos totais fixos tiveram um acréscimo de 4,3%, especula-se por conta da dissolução de parte do material filtrante de N2, composto por bambu.

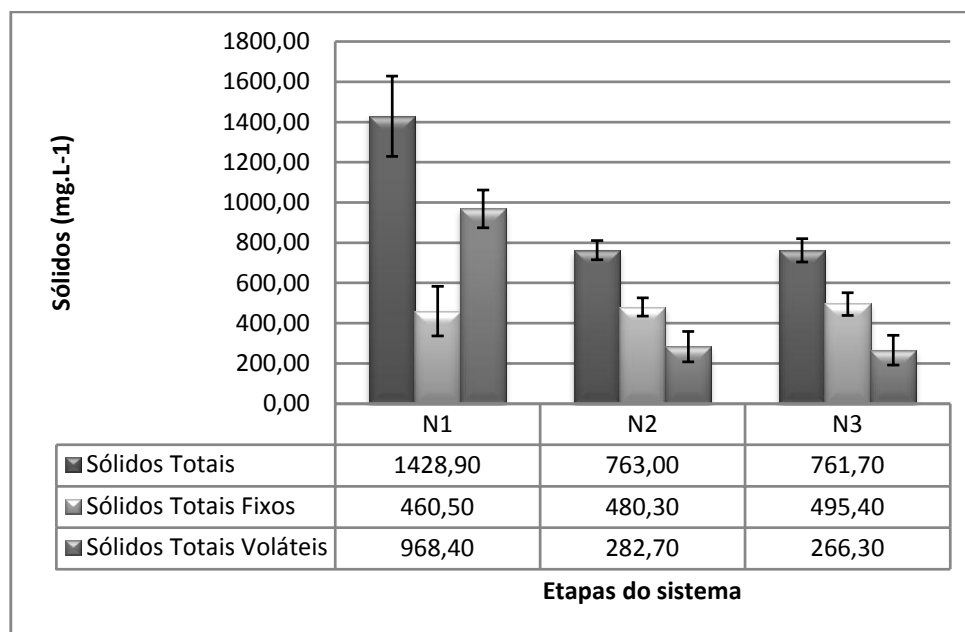


Figura A2.17. Sólidos totais, totais fixo e totais voláteis e desvios padrões para águas pretas.

Sólidos Suspensos Totais (SST)

Sólidos suspensos totais são aqueles retidos em filtro, podendo ser fixos ou voláteis. A eficiência de remoção de N2/N1 é de 77,62%, chegando a 88,08 de N3/N1. Considerando que os sólidos totais no sistema em estudo são compostos principalmente de biomassa, como mostrou a evolução de Sólidos Totais Voláteis, infere-se que a maior parte dos sólidos retidos no filtro são também compostos por biomassa. A certeza viria com o fracionamento dos sólidos suspensos totais em fixos e voláteis. Porém diferenças de pesagem na casa dos centésimos e milésimos comprometeram os resultados e os dados foram descartados. A Tabela A2.9 traz as médias das médias, desvios padrões, ICs e limite superior para os sólidos suspensos totais, enquanto a Figura A2.18 mostra as médias das médias e desvios padrões.

Tabela A2.9. Sólidos suspensos totais (mg.L^{-1}), desvio padrão, IC e limite superior.

	N1	N2	N3
Média	508,60	113,80	60,60
DP	157,55	37,87	23,03
IC 99%	324,39	77,98	47,42
Limite superior	832,99	191,78	108,02

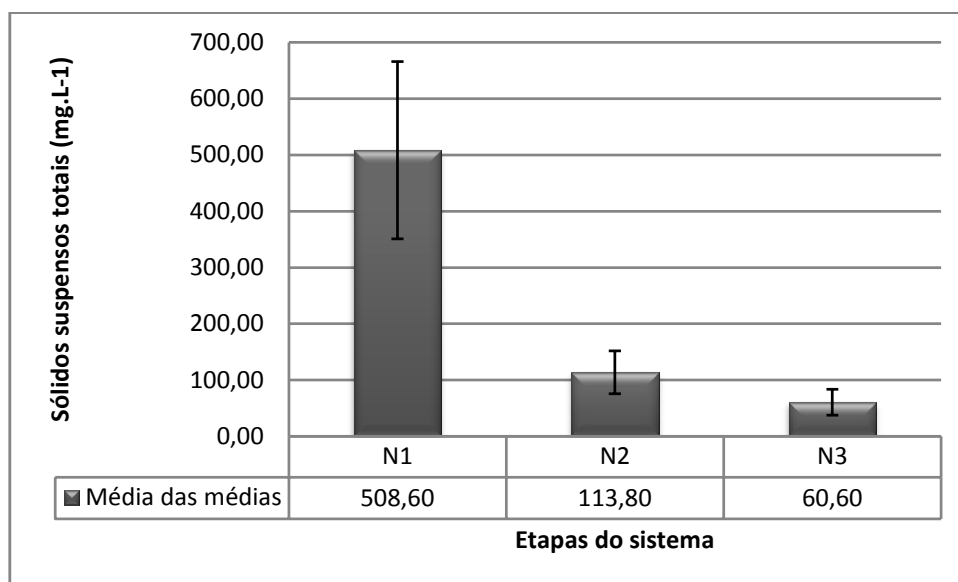


Figura A2.18. Média das médias e desvios padrões para sólidos suspensos totais nas águas pretas.

A legislação define como limites para sólidos suspensos totais os valores de 50 mg.L^{-1} para águas de Classe 1, 100 mg.L^{-1} para águas de Classe 2 e 3, e até 150 mg.L^{-1} quando o despejo ocorrer em lagoas de estabilização. Lembrando que esses são valores de referência para a tecnologia viva estudada, uma vez que os efluentes permanecem no terreno alimentando a linha de bananeiras, tem-se que para uma confiança de 99% (Figura A2.19), somente N3 estaria enquadrado, e mesmo assim se lançasse seus efluentes em uma lagoa de estabilização. Adotando um α de 0,05, menos restritivo, N3 teria um máximo de 89,19 e estaria apto ao lançamento em águas Classe 2 e 3.

No entanto, em se tratando de sólidos suspensos, bastaria que o efluente passasse por um processo simplificado de filtragem, um tanque de areia, ou mesmo fosse direcionado para um banhado construído como o das águas cinzas, que funciona também como filtro. Outra alternativa seria refazer o banhado construído, fazendo-o com fluxo descendente no lugar do

atual ascendente e/ou incorporando uma camada de areia entre o material de preenchimento de fundo e o de superfície.

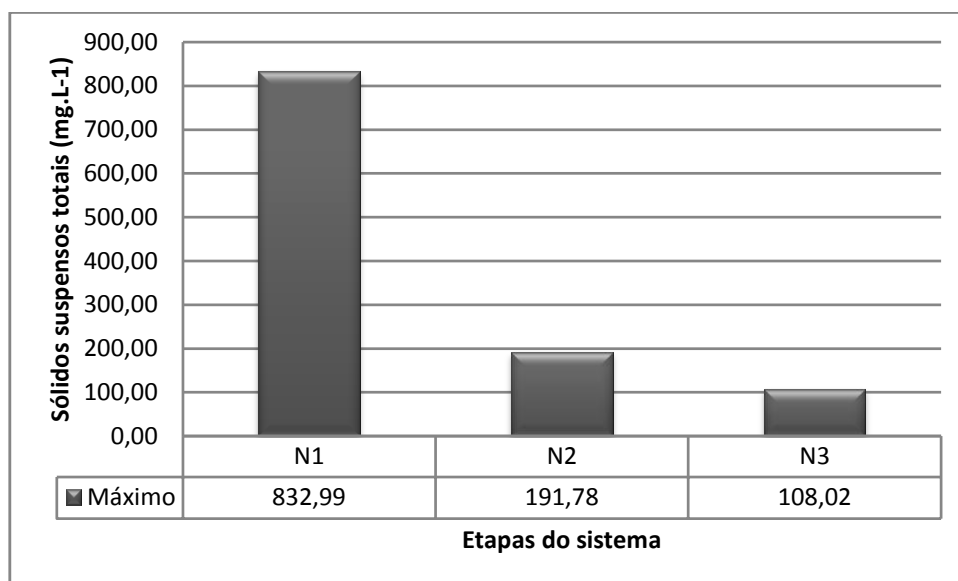


Figura A2.19. Limites superiores para sólidos suspensos totais das águas pretas.

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Como visto, para valores de sólidos dissolvidos maiores que 1000 mg.L⁻¹, a potabilidade da água fica comprometida, podendo caracterizar sabor, cor e odor. A Tabela A2.10 e a Figura A2.20 mostram que nesse item a tecnologia viva se mantém dentro do esperado.

Tabela A2.10. Sólidos dissolvidos totais, desvio padrão, IC e limite superior.

	N1	N2	N3
Média	920,30	649,20	701,10
DP	140,92	41,83	49,92
IC 99%	290,16	86,13	102,79
Limite superior	1210,46	735,33	803,89

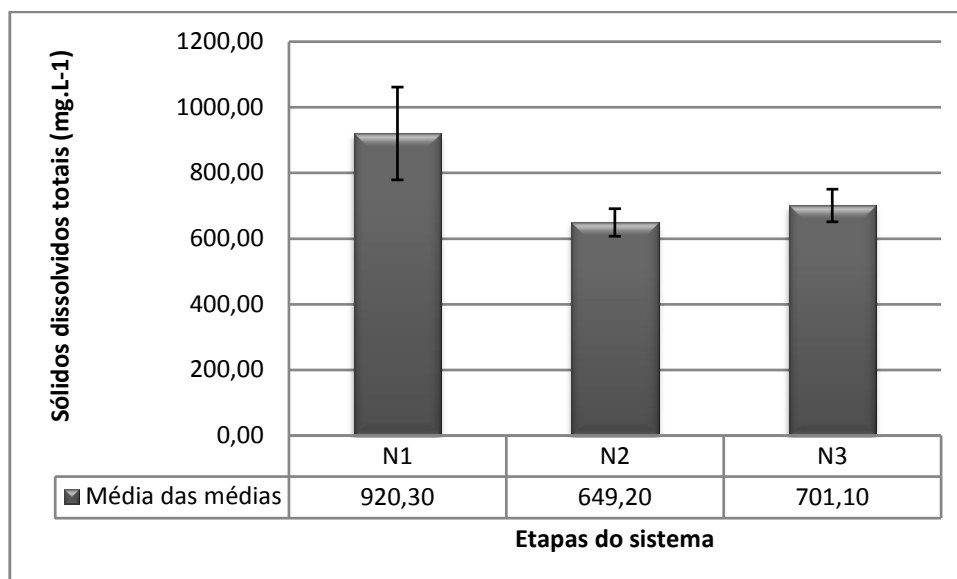


Figura A2.20. Média das médias e desvios padrões para sólidos dissolvidos totais das águas pretas.

A legislação não determina limites de lançamento para sólidos dissolvidos, mas regula que o máximo seja de 500 mg.L⁻¹ para águas de Classe 1, 2 e 3. Também esse limite a tecnologia viva supera, tanto para N2 como para N3, não atendendo à legislação (Figura A2.21). Especula-se que isso se dê em função do material de preenchimento, de um lado o bambu no filtro (N2) liberando partículas minerais; e de outro o material de preenchimento do banhado (N3), também liberando partículas minerais.

Os sólidos dissolvidos poderiam ser eliminados por oxidação química, adsorção, filtração em membrana, carvão ativado, etc. Desses a utilização de carvão ativado poderia ser uma solução; ou ainda pesquisar-se a inversão do fluxo, incluindo camada de material filtrante mais fino entre o fundo e a superfície do banhado; ou ainda modificando o material de preenchimento tanto do filtro quanto do banhado - Sanguinetti (2009) relata trabalhos em que se utilizaram anéis plásticos, brita e cubos de espuma em filtros anaeróbios. Por fim, a disposição controlada no solo ou utilizá-lo como meio filtrante seria outra possibilidade.

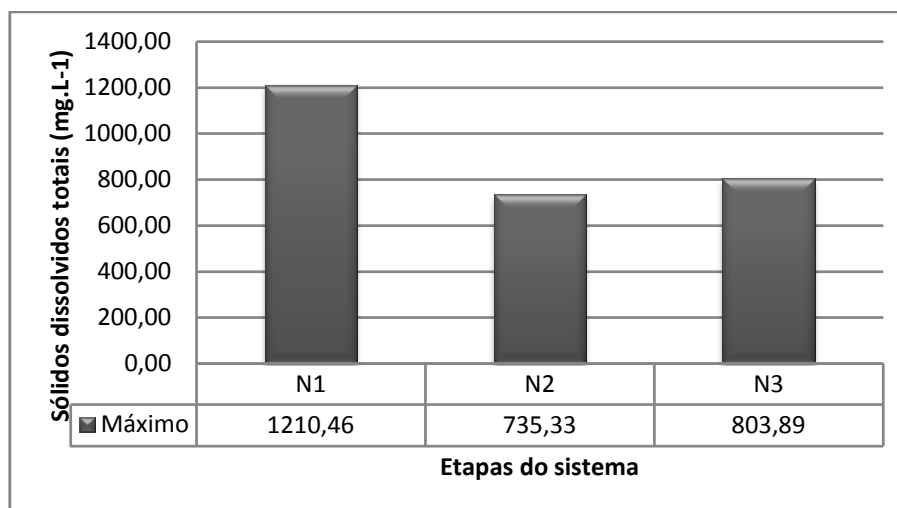


Figura A2.21. Limites superiores para sólidos dissolvidos totais nas águas pretas.

Coliformes Totais e Termotolerantes

O grupo coliformes é indicador de presença de microrganismos potencialmente patogênicos, oriundos do trato intestinal de animais e humanos. Os coliformes termotolerantes se distinguem dos coliformes totais por sua capacidade de fermentar a lactose em temperatura elevada ($44,5 \pm 0,2^\circ \text{C}$). As tendências atuais apontam para a *Escherichia coli* como melhor indicador para coliformes termotolerantes e, portanto, para contaminação fecal, por ser mais conhecida e facilmente diferenciada dos coliformes não fecais.

A presença de coliformes fecais na água, por si só, não representa risco à saúde mas, sendo indicador de sua contaminação, é também indicador da presença de outros microrganismos potencialmente perigosos, que podem concorrer para o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, como a febre tifóide, paratifóide, disenteria bacilar e cólera.

No caso de esgotos ou efluentes tratados utilizados em sistemas de irrigação, Coraucci Filho *et al.* (2001) lembram que, em se tratando de saúde pública, para que uma doença efetivamente se instale em uma pessoa ou população, seria necessário satisfazer algumas condições:

- O patógeno esteja presente em certa concentração no campo irrigado;
- A concentração se mantenha ou atinja níveis de dose infectiva;
- A dose infectiva alcance e penetre uma pessoa sã;
- Esta infecção efetivamente provoque agravo à saúde da pessoa.

Segundo os autores, os fatos demonstram que o risco de agravos à saúde em decorrência da utilização de esgotos e efluentes tratados em irrigação são superestimados. Em relação a esse ponto, Florêncio *et al.* (2006) relatam diretrizes da Organização Mundial da Saúde – OMS para uso agrícola de esgotos sanitários, corroborada por diretrizes do PROSAB, em que técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, caso dos tanques sépticos e reatores UASB, associados a técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização de exposição aos riscos associados a esses patógenos, vale dizer irrigação subsuperficial, admitem a presença nos efluentes tratados de até 10^6 NMP.100mL⁻¹ de *E. coli*, sendo dispensável o padrão de ovos de helmintos que, em outros usos deve ser menor ou igual a 1 ovo.L⁻¹.

Acrescente-se que a tecnologia viva para tratamento de águas pretas instalado em Gaia Terranova, tem seus efluentes dispersos em vala de infiltração após o banhado construído, permanecendo 0,30 m abaixo da superfície e sendo absorvidos por linha de bananeiras distante 2 m da vala de infiltração, diminuindo drasticamente qualquer possibilidade de contato ou infecção dos residentes, trabalhadores e/ou visitantes do lugar. Na revisão de literatura também não foram encontrados relatos ou mesmo indicação de contaminação de frutos, sementes ou partes altas de vegetais irrigados com esgotos.

Os efluentes da tecnologia viva para tratamento de águas pretas apresentou eficiência de 99,06% na remoção de coliformes totais e 99% na remoção de coliformes termotolerantes, como mostra a Tabela A2.11 e a Figura A2.22. Os valores encontrados, no entanto, estão muito distantes daqueles exigidos pela legislação para lançamento em quaisquer corpos d'água e assim precisariam passar por algum sistema que promovesse sua desinfecção (lagoas de maturação, ultravioleta, cloração, dentre outros).

Como em Gaia Terranova o polimento final do efluente se dá por meio da disposição no solo, via vala de infiltração, e considerando as diretrizes da OMS e PROSAB, pode-se afirmar que os valores de coliformes e *E. coli* encontrados estão dentro de faixas aceitáveis e não representam riscos à saúde.

Tabela A2.11. Coliformes totais, termotolerantes e eficiência de remoção.

	N1	N3	Eficiência de Remoção (%)
Totais (NMP)	$3,87 \times 10^7$	$3,65 \times 10^5$	99,06
<i>E. Coli</i> (NMP)	$2,01 \times 10^7$	$2,01E \times 10^5$	99,00

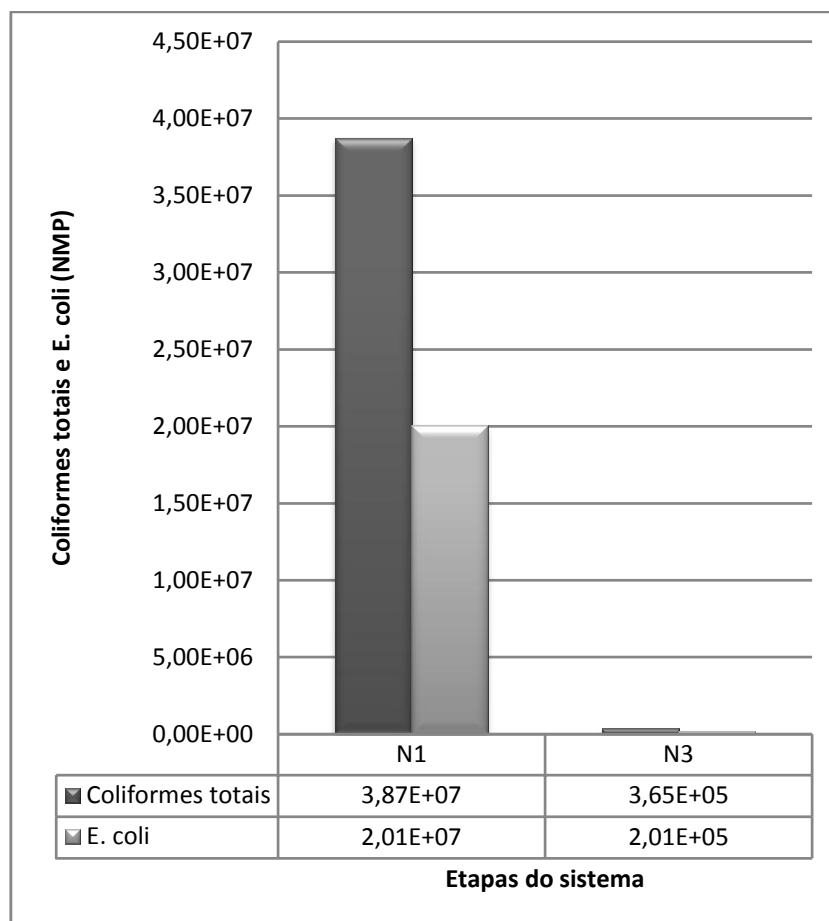


Figura A2.22. Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes para águas pretas.