

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO SOLO**

**QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E
TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR MEIO
DE ZONAS DE RAÍZES EM PROPRIEDADES DE
AGRICULTORES FAMILIARES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Clamarion Maier

Santa Maria, RS

2007

**QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E TRATAMENTO DE
ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR MEIO DE ZONAS DE RAÍZES EM
PROPRIEDADES DE AGRICULTORES FAMILIARES**

por

Clamarion Maier

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Rheinheimer dos Santos

Santa Maria, RS, Brasil.

2007

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a dissertação de Mestrado

**QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS POR MEIO DE ZONAS DE RAÍZES EM PROPRIEDADES
DE AGRICULTORES FAMILIARES**

elaborada por
Clamarion Maier

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Danilo Rheinheimer dos Santos, Dr.
(Presidente/Orientador)

José Antonio Costabeber, Dr.
(EMATER-ASCAR/RS)

Luciano Colpo Gatiboni, Dr.
(UDESC-Chapecó/SC)

Santa Maria, 23 de fevereiro de 2007

DEDICATÓRIA

Aos meus pais
Darcido Antonio Maier
Sirlei Maria Maier,
À minha tia e meu primo
Lorita Dalpaz
Cainan Dalpaz de Matos,
À minha namorada
Andréia Furtado da Fontoura.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Danilo Rheinheimer dos Santos dedico os meus sinceros agradecimentos pela orientação clara, segura, objetiva e pela amizade, que contribuíram no meu processo de formação técnica e, principalmente, humana.

Aos professores João Kaminski, Carlos Alberto Ceretta, Leandro Souza da Silva, Celso Aita, José Miguel Reichert e Dalvan Reinert pelos ensinamentos e amizade.

Às instituições componentes do projeto de monitoramento ambiental em microbacias hidrográficas do programa RS-Rural (DS-UFSM, IPH-UFRGS, EMATER e FEPAGRO). Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas Marquel Jonas Holzschuh, Elisandra Pocojeski, Letícia Sequinatto, Andressa Lauermann, Douglas Rodrigo Kaiser e aos demais pela amizade e companheirismo ao longo do curso.

Aos amigos Engenheiros Agrônomos Carlos Roberto Maciel Alende, M.Sc., Sady Domingos Alves Grisa e Fábio Pereira Neves pelo companheirismo e ensinamentos.

Aos mestres Celso Silva Gonçalves, João Pellegrini, Gustavo Brunetto e aos amigos e companheiros de trabalho André Carlos Cruz Copetti, Fábio Joel K. Mallmann, Davi Alexandre Vieira e demais bolsistas que ajudaram na execução do trabalho.

Ao Grupo de Agroecologia Terra Sul (GATS) e a Associação dos Pecuaristas e Agricultores Familiares de Alegrete (APAFA) pelas oportunidades de conhecer a realidade fora da universidade e contribuir com a mudança.

À zootecnista M.Sc. Janete Amador pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos amigos de futebol e horas vagas Alysson e Nestor Arnemann Jr., Tobias (Peter Pan), Silvio, Cassius (Kaka), Rodrigo (Paulista), Peter, Pablo, Cássio Bertoldo, Élvio (Barba), Cléber e Dhyone Corrêa pela descontração e motivação para execução do trabalho. Ao Sport Club Internacional pelas alegrias do ano que passou.

Aos funcionários da Universidade Tarcisio Uberti (Tarça, secretário do PPGCS) pelos mates e discussões de toda natureza; Flávio e Gládis (secretários do Departamento de Solos), Finamor (técnico de laboratório) pela amizade.

SUMÁRIO

RESUMO	pg viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ANEXOS	xiii
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Poluição hídrica no meio rural.....	16
2.2 Impactos das ações humanas sobre a qualidade da água.....	19
2.3 Parâmetros de qualidade de água e efluentes: Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Saúde e Secretaria Estadual do Meio Ambiente (RS).....	25
2.4 Alternativas para o tratamento de esgotos domésticos e outras fontes de poluição pontual.....	27
2.4.1 Tipos de áreas alagadas construídas.....	28
2.4.2 Funcionamento das áreas alagadas construídas.....	33
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS	36
4. MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1 Histórico do projeto.....	38
4.2 Descrição da Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino.....	39
4.3 Descrição dos locais de coleta de amostras de água: arroio e fontes para o consumo humano.....	43
4.4 Descrição das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes.....	46
4.5 Metodologias de coleta e transporte das amostras de água e efluentes.....	48
4.5.1 Amostras de água do arroio e das fontes de consumo humano.....	48
4.5.2 Amostras de efluentes das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes.....	49
4.6 Análises laboratoriais.....	49
4.6.1 Análises microbiológicas.....	49
4.6.2 Análises físico-químicas.....	50
4.6.3 Indicadores de matéria orgânica.....	50

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1 Monitoramento da qualidade da água do arroio.....	52
5.1.1 Análises microbiológicas.....	52
5.1.2 Análises físico-químicas.....	56
5.2 Monitoramento da qualidade da água das fontes de consumo humano.....	63
5.2.1 Análises microbiológicas.....	63
5.2.2 Análises físico-químicas.....	68
5.3 Avaliação da eficiência das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes.....	74
5.3.1 Análises microbiológicas.....	74
5.3.2 Análises físico-químicas.....	79
5.3.3 Indicadores de matéria orgânica.....	83
6. CONCLUSÕES	89
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
9. ANEXOS	96

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR MEIO DE ZONAS DE RAÍZES EM PROPRIEDADES DE AGRICULTORES FAMILIARES

Autor: Clamarion Maier
Orientador: Danilo Rheinheimer dos Santos
Data e local da defesa: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2007.

A ação antrópica tem alterado a qualidade da água de rios e seus afluentes e, inclusive, do lençol freático. Nas áreas rurais com predomínio de agricultura familiar integrada à agroindústria este problema é generalizado. Este trabalho tem como objetivos (a) monitorar a qualidade das águas superficiais do arroio principal numa microbacia hidrográfica de cabeceira, (b) avaliar a qualidade da água de consumo humano, e (c) avaliar a eficiência de duas estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes. Para isso, foram realizadas amostragens de quatro pontos do arroio principal e cinco fontes de água utilizadas para o consumo humano, localizados na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Agudo - RS. Além disso, coletaram-se amostras de efluentes na entrada e na saída de duas estações de tratamento de esgotos. Analisaram-se os teores de N-amônia, N-nitrato, P-total e P-solúvel; coliformes totais e *Escherichia coli*. Para as estações de tratamento de esgotos além dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram analisados os indicadores de matéria orgânica (demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio). Os resultados mostraram que, durante o período avaliado, a água do Arroio Lino sempre esteve contaminada com coliformes totais e ultrapassam os limites estabelecidos pelo CONAMA para águas classe 2. Ao mesmo tempo, a água das fontes sempre apresentou contaminação microbiológica, principalmente por coliformes totais, excedendo os valores máximos permitido pelo Ministério da Saúde. As fontes que não sofreram intervenção técnica foram as que apresentam maiores problemas, ficando evidente que a construção de fontes sob orientação permite diminuir a contaminação. As estações de tratamento de esgotos foram eficientes na diminuição dos valores dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e de indicação de matéria orgânica dos efluentes, porém, em muitas ocasiões não se enquadraram nos limites estabelecidos pelo CONSEMA.

Palavras chave: agricultura familiar; eutrofização; tratamento de esgotos.

ABSTRACT

Master Degree Dissertation
Program of Post- Graduation in Soil Science
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

QUALITY OF SUPERFICIAL WATERS AND TREATMENT OF RESIDUAL WATERS THROUGH ROOTS ZONES IN FAMILIAR FARMERS PROPERTIES

Author: Clamarion Maier
Adviser: Danilo Rheinheimer dos Santos
Date and place of the defense: Santa Maria, February 23, 2007.

The anthropic action has changed the water quality of rivers and its tributaries as well as the sheets. In rural areas, where there is the predominance of familiar agriculture linked to the agroindustry, this problem is generalized. This work has the objectives of (a) to monitor the quality of superficial waters of the main stream in a head hydrographic microbasin, (b) to evaluate the quality of the human consumption water and (c) to evaluate the efficiency of two stations of drainages treatment through the roots zones. In order to do this, samples of four points of the main stream and five spring waters used to the human consumption placed in the hydrographic microbasin of Arroio Lino, Agudo, RS, were done. Besides that, samples of effluents in the entry and in the exit of two stations of drainages treatment were gathered. The amount of N-ammonia, N-nitrate, P-total, P-soluble, total fecal microorganisms and *Escherichia coli* were analyzed. In these stations of drainages treatment, besides the microbiological physical-chemical parameters, the indicators of organic material (biochemical and chemical demand of oxygen) were also analyzed. The Arroio Lino's water always has been contaminated with total fecal microorganisms and they overtake the limits established by CONAMA to classes 2 waters. At the same time, the spring waters always have presented microbiological contamination, mainly by total fecal microorganisms, exceeding the maximum values allowed by the Health Ministry. The spring waters that have not suffered technical intervention are the ones that have presented the major problems, that is, it is obvious that the construction of springs upon supervision enables to decrease the contamination. The stations of drainages treatment are extremely efficient in the values reduction of the physical-chemical and microbiological parameters as well as in the indication of effluent organic material, however for many times they do not fit to the limits established by CONSEMA.

Key-words: familiar agriculture, eutrophication, drainages treatment.

LISTA DE TABELAS

	pg
1. Número Mais Provável de coliformes totais e coliformes fecais na entrada e na saída da estação de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Ademar Markendorf (ETE 1), Nova Boemia, Agudo-RS.....	77
2. Número Mais Provável de coliformes totais e coliformes fecais na entrada e na saída das estações de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Odir Friedrich (ETE 2), Nova Boemia, Agudo-RS.....	78
3. Nitrogênio total e fósforo total na entrada e na saída da estação de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Ademar Markendorf (ETE 1), Nova Boemia, Agudo-RS.....	81
4. Nitrogênio total e fósforo total na entrada e na saída da estação de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Odir Friedrich (ETE 2), Nova Boemia, Agudo-RS.....	82
5. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na entrada e na saída das estações de tratamento de esgotos nas propriedades do Sr. Ademar Markendorf (ETE 1) e do Sr. Odir Friedrich (ETE 2), Nova Boemia, Agudo-RS.....	87
6. Demanda química de oxigênio (DQO) na entrada e na saída das estações de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Ademar Markendorf (ETE 1) e do Sr. Odir Friedrich (ETE 2) Nova Boemia, Agudo-RS.....	88

LISTA DE FIGURAS

	pg
1. Áreas alagadas de fluxo superficial (a), áreas alagadas de fluxo subsuperficial (b) e áreas alagadas de fluxo vertical (c).....	30
2. Localização da Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo – RS.....	42
3. Localização dos pontos de coleta de água no riacho, nas fontes de consumo humano e nas estações de tratamento de esgotos.....	44
4. Desenho esquemático da estação de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes (adaptado de Kaick, 2002).....	47
5. Planta utilizada nas estações de tratamento de esgotos (<i>Colocassium antiquorum</i>) (1); Plantas distribuídas sobre a estação de tratamento de esgotos (2); Detalhe das raízes da planta (3).....	47
6. Número Mais Provável de coliformes totais na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.....	53
7. Número Mais Provável de coliformes fecais na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.....	55
8. Teores de N-NH ₃ +N-NH ₄ na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.....	57
9. Teores de N-NO ₃ na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.....	58
10. Teores de P-solúvel na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.....	60
11. Teores de P-total na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.....	62
12. Número Mais Provável de coliformes totais na água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 a 2005).....	65
13. Número Mais Provável de coliformes fecais na água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 a 2005).....	67
14. Teores de N-NH ₃ +N-NH ₄ na água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 a 2005).....	70
15. Teores de N-NO ₃ na água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 e 2005).....	71
16. Teores de P-solúvel na água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 a 2005).....	72
17. Teores de P-total na água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 a 2005).....	73

LISTA DE ANEXOS

	pg
A. Materiais, quantidades e custo para construção de uma estação de tratamento de esgotos.....	96

1 INTRODUÇÃO

Os povos pré-históricos, vivendo como nômades, não se preocupavam com a canalização da água, a instalação de redes de esgotos e a remoção do lixo. Para “afastar-se” dos resíduos oriundos de suas atividades, o homem nômade migrava para outras regiões até degradá-las também. Depois o ser humano passou a lançar seus resíduos nos cursos d’água ou em terrenos desabitados, distantes dos olhos da população. Assim, há milhares de anos as civilizações situam-se ao longo dos cursos d’água, e a partir da domesticação de plantas e animais, os agricultores aproveitam os recursos hídricos para os mais diversos fins, porém provocam alterações graves no ambiente.

Desde a Revolução Industrial as atividades humanas vêm alterando significativamente o meio ambiente. O crescimento acelerado e desordenado da população mundial provoca intensa degradação, tanto dos ecossistemas aquáticos como terrestres. O planeta vem sendo mudado ao longo do tempo através de desmatamentos, da agricultura praticada em regiões ecologicamente frágeis, de monocultivos de espécies arbóreas, da criação intensiva de animais, da urbanização, e também pela alteração dos ciclos hidrológicos.

A evolução histórica do Brasil é rica e revela características intrínsecas do progresso de cada região. Por exemplo, a ocupação humana da região central do Rio Grande do Sul foi iniciada por sociedades indígenas que tiveram seus modos de vida modificados por influência dos jesuítas. De um modo geral, a posse de áreas extensas propícias para criação de gado deu origem a grandes latifúndios. Posteriormente, através de processos de colonização, as áreas marginais foram sendo ocupadas por famílias vindas principalmente da Alemanha e da Itália, para consolidar um sistema social dos pequenos produtores agrícola que receberam lotes em áreas inapropriadas para as atividades produtivas. Enquanto nas regiões planas se desenvolveu uma agricultura voltada para o mercado, onde a pecuária e o cultivo do arroz tiveram relevância, nas zonas periféricas a subsistência era o que movia a população.

Durante muitos anos foi desta maneira que se deu a dinâmica socioeconômica local. Entretanto, avançando alguns anos à frente, com a consolidação da agricultura de

base familiar, surgiu e se fortaleceu a indústria fumageira, a qual movimentou a economia das pequenas propriedades pelo fato de potencializar e garantir a compra do tabaco produzido pelos pequenos proprietários. Cabe ressaltar que muitas áreas de florestas nativas foram cortadas e, depois de queimadas, deram lugar a lavouras de fumo. Outro evento importante é que as famílias de colonos eram grandes e seus lotes pequenos. Dessa forma, a fragmentação das áreas ocorrida nas décadas de 60 e 70 tornou-se inevitável e a degradação ambiental também foi acelerada, pois novas áreas de lavoura foram abertas onde antes havia matas. Isto se constata nos dias atuais com maior ênfase devido às técnicas agrícolas, especialmente na fumicultura, terem avançado de maneira rápida, propiciando o cultivo em áreas onde antes não se podia. Além disso, a cultura do fumo, pelo fato de não aprofundar seu sistema radicular e devido aos solos dos locais onde é cultivada serem rasos, necessita de elevadas cargas de fertilizantes. A acentuada declividade do terreno, a retirada da mata das encostas e ciliar para o plantio, bem como a utilização da madeira como lenha na secagem do fumo, ocasionam a aceleração do processo erosivo. Lavouras em locais inaptos, culturas exigentes em nutrientes, estradas mal localizadas e a má alocação de casas e pocilgas que despejam seus efluentes residuais diretamente nos cursos d'água causam impactos de diversas magnitudes no ambiente aquático. A combinação desses fatores resulta em contaminação das águas superficiais e subsuperficiais ao longo das microbacias. Tão danoso quanto as demais cargas poluidoras, o esgoto domiciliar e da criação de animais despejado em córregos e rios representa um grave problema para o meio ambiente, para saúde pública e para a economia da região.

Contudo, muito se tem estudado a respeito da produção agropecuária e seus impactos ambientais, em especial na água, tanto de consumo humano quanto águas superficiais. Ainda assim existe uma lacuna no que diz respeito ao tratamento dos efluentes domésticos das zonas rurais, que são lançados diretamente no sistema de drenagem sem nenhuma forma de mitigação dos poluentes.

Diante deste quadro, faz-se necessário o acompanhamento da qualidade das águas superficiais e o desenvolvimento e validação de sistemas de tratamento de águas e esgotos que sejam simples, não mecanizados, baratos e fáceis de construir e operar, utilizando materiais alternativos, com mão-de-obra não especializada e que

possam ser incorporados à paisagem local sem alterações bruscas, criando uma harmonia com o ambiente. Sendo assim, as áreas alagadas construídas para tratamento de efluentes utilizam tecnologias não convencionais combinando eficiência com baixos custos de implantação e operação. Portanto, existe a necessidade de se avaliar seu comportamento na diminuição do problema no meio rural. Estes sistemas artificiais manejáveis têm despertado interesses acentuados nas últimas décadas e é tema de varias discussões que levam ao desenvolvimento de pesquisas e experimentos conduzindo para um maior conhecimento e experiências nessa linha de pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Poluição hídrica no meio rural

A água é um líquido composto, quimicamente formado por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, sem cor, cheiro ou sabor, transparente em seu estado de pureza. Entre esses átomos há uma ligação na forma de um ângulo de 105°, criando um dipolo, que atribui a água característica de ser um solvente universal, podendo se ligar a partículas positivas e negativas (Righes, 2000). Ainda, a água é um recurso natural essencial, seja como componente bioquímico dos seres vivos, como meio de vida de inúmeras espécies vegetais e animais ou como fator de produção de vários bens de consumo, tanto final como intermediário (Rosa et al, 2000).

O incrível volume de água que cobre a Terra pode levar à conclusão falsa e perigosa de que se trata de um bem abundante e inesgotável, o que evidentemente não é, pelo menos quando se fala em água doce própria para o consumo humano e para produção de alimentos. Na composição de toda a massa líquida do globo terrestre, 97% correspondem à água salgada dos mares e oceanos, 2% correspondem a gelo e 0,8% à água doce distribuída em rios e lençóis freáticos (Costa & Costa, 2004).

A distribuição de água na terra não é homogênea, variando muito entre os continentes em razão das peculiaridades climáticas e geográficas. Além da distribuição mundial ser desigual, há ainda a variabilidade natural das medidas dos volumes e vazões dos rios em determinadas bacias e microbacias hidrográficas. Essas variabilidades determinam os principais usos da água e as estratégias de gerenciamento (Tundisi, 2003).

O Brasil possui grande disponibilidade hídrica distribuída de forma desigual em relação à densidade populacional. A produção total de águas doces no país representa 53% do continente sul-americano e é considerado o maior reservatório de água doce do mundo, com 13,8% da disponibilidade hídrica (Rebouças et al; 1999). No entanto, 70% desse volume estão localizados na Amazônia, exercendo uma função ecológica importantíssima, compondo o ecossistema da floresta amazônica, mas como a

densidade demográfica é baixa, essa água é pouco utilizada pelo homem (Senra, 2004). Em outras regiões, ocorre o inverso, devido à alta concentração populacional, que consome maiores quantidades de água. De acordo com dados disponíveis, a agricultura intensiva responde pelo maior consumo, cerca de 70%, seguido da indústria com 15% e abastecimento doméstico com o restante (Costa & Costa, 2004).

O modelo agrícola desenvolvido a partir do evento de modernização da agropecuária, chamado Revolução Verde, que se baseia no uso intensivo de recursos naturais com dependência total de agroquímicos, que de uma forma ou de outra acabam atingindo os mananciais de água, tornou-se fonte de poluição difusa. As diferentes regiões do estado do RS, devido a características naturais e culturais, fazem com que os sistemas de produção de grãos de sequeiro, o arroz inundado, a criação intensiva de aves e suínos e da lavoura de fumo contribuam maciçamente para a contaminação da água no sul do Brasil (Rheinheimer et al, 2003).

A conversão de ambientes naturais equilibrados em áreas agriculturáveis provoca a aceleração do escoamento superficial e a erosão hídrica, levando a uma rápida e intensa degradação do solo. A erosão traz como conseqüências a perda da capacidade produtiva, a diminuição da quantidade de água disponível na superfície, a contaminação da água de escoamento, bem como o assoreamento de rios e reservatórios.

As águas rurais também podem ser contaminadas pelos dejetos humanos e de animais que são lançados a céu aberto pela falta de saneamento básico, tornando-se constantes fontes de poluição. A falta de saneamento básico no meio rural, independente da forma de ocupação, é um fator preocupante por se tratar de constante lançamento de poluentes no meio ambiente (Rheinheimer et al, 2003).

Por características próprias de cada região do estado do Rio Grande do Sul, desenvolveram-se diferentes sistemas de produção, que possuem distintos tipos de poluentes. Nas regiões mais planas ou suavemente onduladas, destaca-se a produção de grãos de sequeiro (Planalto) e de arroz irrigado (Metade Sul), que são dois sistemas dependentes de grandes quantidades de fertilizantes e agrotóxicos. Nas regiões de pequenas propriedades as maiores fontes de contaminação são provenientes das

lavouras de fumo e outras culturas anuais, da fruticultura e de sistemas de criação de aves e suínos em confinamento.

Um dos sistemas de produção com grande potencial poluidor é a fumicultura, a qual conta com mais de 170 mil produtores no Sul do Brasil, onde aproximadamente 86% das propriedades têm menos de 20ha, existindo ainda os agregados e os trabalhadores assentados. Geralmente essas propriedades estão localizadas em solos marginais, declivosos e com muitos problemas de manutenção da capacidade produtiva (Rheinheimer et al, 2003). Esses agricultores são dependentes de um pacote tecnológico que preconiza o uso excessivo de insumos industrializados. É um dos sistemas de produção de suma importância para o Estado sob o ponto de vista de arrecadação de tributos e que contribui para contaminação do ambiente. Esse sistema necessita de grande quantidade de mão-de-obra, que no meio rural esta disponível em maior número nas propriedades familiares.

Entretanto, o progresso científico e tecnológico atual oferece, muito mais do que no passado, a possibilidade de promover rápidas alterações nos ecossistemas agrícolas. A alternativa a ser buscada é que apresente uma solução efetiva para os problemas de desequilíbrio ecológico, atacando as causas e não os efeitos da degradação dos agroecossistemas. O uso adequado dos recursos naturais num agroecossistema deve estar fundamentado na administração integrada das áreas de lavoura e de preservação ambiental, através de práticas que visem à diminuição do transporte de poluentes e contaminantes para os sistemas aquáticos. Não menos importantes são as ações individuais que cada produtor pode adotar em sua propriedade, de uma forma simples e barata, capaz de trazer benefícios na melhoria da qualidade da água no meio rural, tais como: manutenção de cobertura constante no solo, proteção de fontes de águas superficiais, preservação de matas ciliares, utilização mínima de agrotóxicos, maximização da reciclagem dos dejetos animais, seleção do lixo e tratamento do esgoto doméstico, entre outros (Rheinheimer et al, 2003).

Portanto, nota-se que a preocupação com a qualidade do ambiente e, em especial, da água no meio rural não deve ser de exclusividade dos agricultores, mas por serem eles recursos naturais de domínio público devem atrair o interesse de toda população. E como os grandes responsáveis pela contaminação das águas são as

atividades agropecuárias e o despejo de resíduos domésticos e industriais ao longo dos cursos d'água, deve-se exigir maior atenção dos órgãos responsáveis pela manutenção do ambiente, bem como das pessoas que habitam as proximidades dos mananciais.

2.2 Impactos das ações humanas sobre a qualidade da água

Poluição da água é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas que possa importar em prejuízo à saúde, bem-estar das populações e, ainda, comprometer a sua utilização para fins agrícolas, industriais, comerciais, recreativos e, especialmente, a existência da fauna aquática (CONAMA, 2005). Entende-se ainda por poluição das águas a adição de substâncias ou de forma de energia que, direta ou indiretamente, alteram a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos (von Sperling, 1996).

As precárias condições que muitas vezes se encontram os corpos d'água são frequentemente os sintomas de problemas que estão ocorrendo ao longo da microbacia hidrográfica. Esses sintomas são resultantes das atividades extrativistas, da produção e do consumo de bens ou do despejo e emissão de esgotos domésticos e industriais. As tentativas de intervenção que se preocupam apenas em resolver o problema depois de instalado geralmente falham e frustram na medida em que recursos financeiros são investidos sem que se veja o retorno.

As alterações provocadas na paisagem, sejam elas por estabelecimento de novas áreas de cultivo ou mesmo instalações rurais, levam a perda de características naturais do local. Elas propiciam que o potencial poluidor aumente a partir do momento que o equilíbrio ambiental é alterado. O desequilíbrio da natureza pelas ações humanas gera impactos no local ou em outras zonas, pois os ciclos naturais estão interligados.

O comprometimento da qualidade da água para fins de abastecimento doméstico é decorrente de poluição causada por distintas fontes, tais como efluentes domésticos, efluentes industriais e deflúvio superficial urbano e agrícola. Os efluentes domésticos, por exemplo, são constituídos basicamente por contaminantes orgânicos, nutrientes e microrganismos que podem ser patogênicos. Os poluentes resultantes do deflúvio

superficial agrícola são constituídos de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos de animais (Merten & Minella, 2002).

As fontes de contaminação são divididas em difusas e pontuais. Entende-se por poluição difusa a ação de contaminação que ocorre esparsa na natureza por todo tipo de resíduo orgânico ou inorgânico, inserido pelo homem, que pode ser carregado pelo deflúvio superficial para os mananciais de água. Diferente do que ocorre na indústria, por exemplo, quando lança algum tipo de contaminante de forma pontual em um manancial d'água (Braile, 1971). Segundo von Sperling (1996), na poluição difusa os poluentes adentram no corpo d'água distribuídos ao longo da sua extensão, como é o caso da poluição por fertilizantes ocorridas ao longo de uma bacia de captação em regiões onde a agricultura é intensiva. Já a poluição pontual é aquela na qual os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço. Um exemplo é o da descarga direta em um rio dos esgotos gerados pela unidade familiar.

Com o crescimento demográfico e a necessidade de se produzir mais alimentos, as atividades intensivas, tanto na pecuária como na agricultura, se destacaram. No início do século passado, predominava a adubação com detritos orgânicos produzidos na propriedade rural. Esta adubação supria em parte as necessidades das plantas e a diferença necessária era completada, principalmente, pelos fertilizantes industrializados.

O excessivo uso de fertilizantes causa a translocação do nitrogênio e do fósforo para os ambientes aquáticos, que serão gradativamente eutrofizados e empobrecidos em oxigênio disponível para a vida animal. Embora a remoção de fosfatos do solo seja quantitativamente pequena quando comparada com a de nitrato, o fosfato compõe-se como o principal fator de eutroficação, pois este se encontra em déficit nos organismos aquáticos. O nitrato e o fosfato requerem cuidados redobrados com relação ao seu potencial de aumento da carga de organismos consumidores do oxigênio dissolvido na água e também ao fato de serem necessários novamente nos próximos cultivos.

Com relação à presença de outros nutrientes, como potássio e cálcio, não existe muita preocupação, pois estes nutrientes não influenciam de maneira grave o crescimento de microrganismos e algas na água. Mesmo assim, analisando do ponto de vista econômico observa-se que as perdas desses nutrientes aumentam a necessidade

de novas adubações nas culturas subseqüentes, ocasionando um novo dispêndio monetário.

Na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, região na qual se cultiva fumo de maneira intensiva, o monitoramento realizado por Gonçalves (2003) apontou que a água do arroio sempre esteve com o teor de fósforo total (média de $0,17 \text{ mg l}^{-1}$) muito acima do estabelecido pelo CONAMA, o que caracteriza um ambiente aquático eutrofizado. Os maiores teores foram observados nas coletas efetuadas nos meses de inverno, justamente quando há uma maior ocorrência de chuvas. Os teores de nitrato sempre se mantiveram abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA para águas de classe 1. Além do P e do N, foram constatadas presenças de cobre e zinco de forma complexada nos argilominerais suspensos, os quais mantêm baixos os teores biodisponíveis. Os teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio foram elevados, aumentando em direção a foz. Os altos valores encontrados condizem com a forma de manejo adotada na microbacia, onde, de acordo com Rheinheimer et al. (2003), as empresas fumageiras consolidaram um sistema de adubação baseado na segurança de produção e não na otimização e preservação dos recursos naturais. Os levantamentos do estado de fertilidade da microbacia constatam que os teores de cálcio, magnésio e potássio, por exemplo, estão muitas vezes acima do nível crítico, não havendo necessidade de adição por um longo período de tempo (Rheinheimer et al. 2001 e 2003). Da mesma forma que a água do arroio possui baixa qualidade, as águas utilizadas pelas famílias nessa mesma MBH, sempre estiveram impróprias para o consumo humano pela presença de coliformes totais, principalmente em épocas de altas precipitações (Gonçalves, 2003). Os teores de fósforo total e solúvel encontrados na água das fontes foram muito similares aos encontrados no arroio. Quanto ao nitrogênio, em algumas coletas os teores ultrapassaram os limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde. A utilização do solo fora de sua capacidade de aptidão, aliada ao manejo inadequado, a imposição do pacote tecnológico das empresas fumageiras e a falta de planejamento paisagístico-ambiental, estão contaminando os mananciais de água da MBH. Além disso, nem a posição na paisagem, nem a proteção física das fontes impedem que a água de consumo humano fique contaminada por nutrientes, microrganismos ou agentes químicos (Gonçalves, 2003).

Conforme Pellegrini (2005), a transferência de sedimentos e de fósforo dos sistemas terrestres aos ambientes aquáticos é incrementada pelo aumento nas áreas de lavoura e de estradas. No caso da MBH do Arroio Lino, apesar da área ocupada com lavouras ser de apenas 25%, a concentração de sedimentos e de fósforo na água durante os eventos pluviométricos foi elevada. Segundo o autor, a distribuição das lavouras e das estradas na paisagem foi tão ou mais importante na perda de sedimentos e fósforo do que a sua contribuição relativa em termos de área. A falta de planejamento das instalações das sedes das propriedades e do recolhimento dos dejetos animais contribuíram para o enriquecimento da água com fosfato.

Pellegrini (2006), estudando o manejo de solo na cultura do fumo na MBH do Arroio Lino, constatou que as perdas de solo e água foram influenciadas por variáveis intrínsecas das chuvas, como intensidade e quantidade, mas também pela intensidade do preparo e grau de cobertura do solo. Significa dizer que podemos interferir em apenas alguns fatores, principalmente de manejo de culturas, e diminuir a poluição provocada pelo deflúvio superficial, que é o principal responsável pelo arraste de nutrientes para os cursos hídricos. As perdas de fósforo aumentaram com a quantidade de chuva precipitada, ficando claro que a maior parte das perdas ocorre através do escoamento superficial, ligado às frações mais reativas dos solos, que são as argilas e a matéria orgânica do solo. Dessa forma, as quantidades de P e K perdidas são dependentes da quantidade de sedimento perdido. As perdas de P e K foram minimizadas com o aumento da cobertura e diminuição do revolvimento, pois a magnitude das perdas dos nutrientes esteve na quantidade de solo perdido. Assim, a menor mobilização do solo e a permanência da cobertura morta sobre a superfície do solo contribuem para o aumento da umidade do solo, diminuição da amplitude térmica da temperatura do solo e das perdas de água, solo e nutrientes, conseqüentemente, diminuindo a entrada de elementos eutrofizantes (P e N) nos cursos d'água.

O arraste de agrotóxicos que freqüentemente permanecem durante longo tempo no ecossistema aquático e acabam contaminando a cadeia alimentar é ainda mais grave. Quase todos os agrotóxicos apresentam algum índice de toxicidade, ainda que pequeno, sendo poucos deles atóxicos. Outros, quando hidrolisados, aumentam muito seu potencial de toxicidade. Assim, como os peixes são muito sensíveis aos agrotóxicos

eles são utilizados como bioindicadores para a comprovação da presença destes produtos em águas de arroios, rios e lagos. Em estudo realizado por Machado (2003) foi constatado que a concentração letal (CL_{50}) do herbicida clomazone para jundiá é e $7,32 \text{ mg l}^{-1}$ (5,68 a 9,03) e para quinclorac, esteve entre 390 a 400 mg l^{-1} . Ainda este mesmo autor comprovou que na concentração de $2,7 \mu\text{g l}^{-1}$ do herbicida clomazone da água drenada de lavouras de arroz, não afetou o comprimento, o ganho de peso ou a sobrevivência do jundiá.

No caso da MBH de Agudo, Bortoluzzi et al (2006) identificaram que a qualidade das águas superficiais oriundas de sub-bacias hidrográficas foi comprometida devido à presença de princípios ativos dos agrotóxicos imidacloprid, atrazina e clomazone. Assim, as águas dos córregos margeadas por lavouras com fumo tendem a apresentar agrotóxico e não se enquadram na classe I de qualidade de água preconizada pelo CONAMA. De maneira diferente, as sub-bacias com predominância de vegetação nativa próxima aos córregos (mata ciliar), embora apresentando lavouras com fumo distantes dos riachos, tenderam a não transferir moléculas de agrotóxico às águas superficiais das amostras estudadas nos níveis de detecção dos métodos empregados.

A conscientização dos agricultores é o primeiro passo para se evitar a contaminação da água por agrotóxicos. O seu uso e armazenagem, bem como o descarte de embalagens deveriam estar sujeitos a fiscalizações periódicas pelos órgãos ambientais. Os manejos das áreas, principalmente frágeis, deveriam seguir programas pesquisados e recomendados pelos órgãos de pesquisa e extensão. Tal aspecto representa a tentativa de eliminar ou reduzir os problemas antes que venham a se tornar maiores com aumento das dificuldades de intervenção. Portanto, tratar das fontes de poluição não pontual é de suma importância para a manutenção da qualidade das águas superficiais e subsuperficiais.

Por outro lado, analisando-se as fontes de poluição pontual, constata-se que o esgoto doméstico é uma das principais fontes de poluição dos mananciais aquáticos no meio rural onde não há criação de animais confinados em escala. O esgoto familiar contém aproximadamente 99,9% de água e a fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. As características dos esgotos são funções dos usos à qual a água foi submetida. Esses usos e a forma

com que são exercidos variam com o clima, situação sócio-econômica e hábitos da população. De maneira geral, a produção de esgotos corresponde quase ao consumo de água. No entanto, a quantidade do esgoto que entra na rede de drenagem pode variar, devido ao fato de que parte do líquido infiltra no solo de diferentes formas (von Sperling, 1996).

Outra fonte de poluição da água é a criação de animais em confinamentos. A pecuária contribui com o despejo significativo de detritos orgânicos de origem animal. A estes detritos devem-se somar as águas utilizadas na limpeza das instalações, as quais ainda contêm produtos químicos de desinfecção. Os detritos animais deveriam ser utilizados para obtenção de adubos orgânicos, aproveitáveis para adubação de diversas culturas e jamais liberados em curso d'água, como acontece ainda hoje. Entre as atividades de pecuária, a que representa maior risco à contaminação das águas é a suinocultura, devido à grande produção de efluentes altamente poluentes produzidos e lançados ao solo e aos cursos de água sem tratamento prévio (EMBRAPA, 1998). No caso da MBH que vem sendo monitorada desde 2000, as fontes de poluição pontual de fósforo são compostas por pocilgas, estábulos e algumas encerras de porcos. Nestes locais há um grande acúmulo de dejetos de animais, que por ocasião das chuvas são carregados pelo escoamento superficial aos cursos d'água. Por conta da criação de bovinos, suínos e aves, há uma considerável deposição de dejetos próximos às instalações, os quais, na maioria dos casos, se acumulam na superfície do solo sem receber nenhum tipo de tratamento (Pellegrini, 2005).

Nos países desenvolvidos, maior atenção tem sido dada à poluição difusa, pelo fato dos lançamentos pontuais já terem sido em grande parte equacionados. Entretanto, nas nossas condições brasileiras há praticamente tudo a se fazer em termos do controle da poluição pontual originária de aglomerados rurais, cidades e indústrias (von Sperling, 1996), bem como em relação as fontes de poluição difusa, principalmente da agricultura.

2.3 Parâmetros de qualidade de água: Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Saúde e Secretaria Estadual de Meio Ambiente (RS)

O Ministério do Meio Ambiente, através do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na resolução N° 357, de 17 de março de 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*”, retrata que existem parâmetros aceitáveis para os diferentes usos da água, desde o consumo humano até águas para recreação ou atividades esportivas. Tal legislação está baseada em normatizações estabelecidas nos países desenvolvidos e que em muitos casos possuem características socioculturais e econômicas completamente distintas das encontradas no Brasil.

Os corpos de água foram classificados em nove categorias, sendo cinco classes de água doce (salinidade <0,5‰), duas classes salinas (salinidade superior a 30‰) e duas salobras (salinidade entre 0,5 e 30‰). A classe "especial" é apta para uso doméstico sem tratamento prévio, enquanto o uso doméstico da classe IV é restrito, mesmo após tratamento, devido à presença de substâncias que oferecem risco à saúde humana. A classificação padronizada dos corpos de água possibilita que se fixem metas para atingir níveis de indicadores consistentes com a classificação desejada (Merten & Minella, 2002).

Dentre os diversos indicadores avaliados para obtenção do grau de qualidade da água sobressaem-se os que comprometem, especialmente, a sustentação da vida aquática e terrestre. Como exemplo de indicadores está o nitrogênio, o fósforo, os coliformes e os agrotóxicos. Esta legislação usa como limites para fósforo em águas classe 1 de 0,020 mg l⁻¹ (ambiente lântico) até 0,1 mg l⁻¹ (ambiente lótico). Já para nitrogênio total amoniacal a faixa varia de 0,5 a 3,7 mg l⁻¹ e está vinculada ao pH d'água. Da mesma forma, o limite para coliformes termotolerantes é de 200 NMP 100 ml⁻¹. Assim, a importância do nitrogênio e do fósforo se refere ao fato de serem os principais responsáveis pela eutrofização dos cursos d'água, pois são necessários para o desenvolvimento dos organismos aquáticos. A rápida proliferação de algas, plantas aquáticas e microrganismos faz com que se eleve o consumo de oxigênio dissolvido na

água, causando a morte de peixes e até impossibilitando o consumo humano. Já a utilização das bactérias do grupo coliformes, especialmente *Escherichia coli*, para apontar contaminação fecal é devido a elas serem termotolerantes, ou seja, são bactérias que conseguem se desenvolver no trato intestinal de animais de sangue quente, onde a média de temperatura é mais elevada. Isto pode indicar a presença de microrganismos que causam doenças de veiculação hídrica, que estão entre as principais causas de morte de crianças em áreas com falta de água e saneamento básico.

O Ministério da Saúde, através da Portaria N.º 518 de 25 de março de 2004, “*estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e o seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*”, também trata de indicadores de qualidade de água, sendo que esta legislação igualmente segue regulamentações internacionais desenvolvidas para diferentes situações.

A Portaria N.º 518/2004 estabelece, em seus capítulos e artigos, as responsabilidades por parte de quem produz a água, no caso, os sistemas de abastecimento de água e de soluções alternativas, a quem cabe o exercício de controle de qualidade da água e das autoridades sanitárias das diversas instâncias de governo, a quem cabe a missão de vigilância da qualidade da água para consumo humano. Também ressalta a responsabilidade dos órgãos de controle ambiental no que se refere ao monitoramento e ao controle das águas brutas de acordo com os mais diversos usos, incluindo o de fonte de abastecimento de água destinada ao consumo humano.

Além dessas legislações, há ainda a regulação aplicada pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) através da Resolução N.º 128 de 24 de novembro de 2006 que “*dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul*”. Esta resolução vem pela necessidade de preservar a qualidade ambiental, de saúde pública e dos recursos naturais, quanto ao lançamento de efluentes líquidos em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul e pela necessidade de redução progressiva da carga poluidora lançada nos recursos hídricos. Entretanto, nota-se a dificuldade em se fazer cumprir essa e as demais legislações em

vigor. Isso talvez ocorra pelo fato de não se conhecer profundamente as leis, bem como por não se saber quais parâmetros são confiáveis ou se encaixam na situação vivenciada.

Cabe, nesse sentido, um contínuo estudo dos parâmetros de qualidade de água e suas normatizações, a fim de estabelecer limites que possam qualificar a água no intuito de preservar a sua integridade (Gonçalves, 2003). Ao mesmo tempo, ações governamentais que preconizam o desenvolvimento de padrões específicos e o acompanhamento ambiental devem fazer parte de um amplo programa de conservação dos recursos naturais, visto que de alguma forma os ecossistemas naturais são atingidos por processos de degradação muitas vezes ligados a locais inaptos e manejos incorretos executados pelos agricultores.

2.4 Alternativa para o tratamento de esgotos domésticos e outras fontes de poluição pontual

As fontes de poluição pontual, como visto anteriormente, são aquelas em que o poluente atinge diretamente os cursos d'água provocando alterações imediatas no ambiente aquático. Destacam-se como forma desta poluição os esgotos domésticos devido a sua natureza e também ao fato das moradias rurais na maioria das vezes estarem localizadas nas margens de rios e córregos devido a facilidades de remoção dos rejeitos.

Todo lançamento de dejetos líquidos em um corpo receptor está obrigado a seguir padrões de qualidade contemplados nas legislações do Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Saúde e órgãos Estaduais responsáveis pela proteção dos cursos d'água. Estes padrões se baseiam no princípio de restabelecimento do equilíbrio e da autodepuração do corpo receptor. Estes são os responsáveis pela conversão de compostos orgânicos ativos em compostos orgânicos inertes e não prejudiciais do ponto de vista ecológico (von Sperling, 1996). Assim, existe a necessidade de compreensão e quantificação destes mecanismos para desenvolvimento de tecnologias

apropriadas para o tratamento de efluentes domésticos no meio rural que se assemelhem aos sistemas naturais de remoção e filtragem.

Nesse sentido, na natureza existem ecossistemas que se comportam como grandes filtros facilmente reconhecidos como as várzeas, os banhados e os pântanos, que estão sujeitos a um alagamento periódico. As características e as propriedades desses ecossistemas variam dependendo da geologia, da geomorfologia e dos solos da área considerada, bem como das condições climáticas. As características ecológicas desses ecossistemas refletem a evolução biológica que acabou por caracterizar a flora e a fauna associada (Salati, 2003).

2.4.1 Tipos de áreas alagadas construídas

Do ponto de vista prático, áreas alagadas construídas oferecem melhores oportunidades para o tratamento de águas poluídas do que áreas alagadas naturais, pois podem ser idealizadas para maximizar sua eficiência quanto à diminuição da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO); da remoção de nutrientes; e do máximo controle sobre o sistema hidráulico e a vegetação (Verhoeven & Meuleman, 1999 apud Salati, 2003). A tecnologia de construção e utilização de áreas alagadas para tratamento de águas residuárias é recente. Tal tecnologia procura introduzir organismos vegetais e microrganismos com o objetivo de promover a melhoria da qualidade da água para posterior lançamento no curso d'água ou no solo. A técnica pode ser arquitetada sobre ou abaixo do nível do solo, dependendo das características locais.

Segundo Kadlec e Knight (1996), existem vários tipos de áreas alagadas construídas, porém descrevem três como sendo as principais: fluxo superficial ou subsuperficial e fluxo vertical. De acordo com Vymajal (1998), as *áreas alagadas de fluxo superficial* são constituídas de canais com algum tipo de barreira superficial, geralmente o próprio solo, que fornece condições de desenvolvimento para as plantas, sendo que a água flui a uma pequena profundidade (Figura 1a). Nos EUA é muito utilizada para o tratamento de grandes volumes de água com bons resultados na remoção de nitrogênio e fósforo. As *áreas alagadas de fluxo subsuperficial* são

essencialmente filtros horizontais preenchidos com brita ou areia como meio suporte onde as raízes das plantas se desenvolvem (Figura 1b). Este sistema mostrou-se eficiente no tratamento secundário de águas residuárias (Valentin, 1999), porém com baixa taxa de nitrificação. É muito utilizada no tratamento de efluentes de pequenas comunidades nos EUA, na Austrália, África do Sul e Europa. As *áreas alagadas de fluxo vertical* são filtros de escoamento vertical intermitente preenchidos com areia ou brita. O nível de água permanece abaixo do meio suporte impossibilitando o contato com animais e pessoas além de evitar a proliferação de insetos e o mau cheiro (Figura 1c). As primeiras áreas alagadas surgiram na Europa nos anos 1970 e eram conhecidos como “campos de infiltração” na Holanda e “sistema Siedel” na Alemanha, e ficou conhecido como o “processo do Instituto Max Planck”.

A estação de tratamento de esgotos é um ecossistema artificial, que pode ser construída através de diferentes tecnologias que utilizam os mesmos princípios básicos da modificação da qualidade de água das áreas alagadas naturais, diferindo destas principalmente pelo regime hidrológico, o qual é controlável. Para Kaick (2002), a estação de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes é um sistema físico-biológico, idealizado seguindo a lógica do biofiltro, utilizando-se, porém, de mais um filtro constituído por raízes. Nesse sistema o esgoto é lançado por meio de uma rede de tubulações perfuradas instaladas logo abaixo de uma área plantada com espécies típicas dos alagados naturais que possuem grande capacidade de absorção de nutrientes e transporte de oxigênio as raízes.

Nas estações de tratamento de esgotos instaladas na Alemanha as áreas utilizadas são entre 3 a 5 m² por 1 metro de profundidade. Nelas pode ocorrer evaporação de 800 a 1000 litros de água por m² ano⁻¹ (Bahlo, 1996; Ambros, 1998 apud Kaick). Em climas tropicais, onde a insolação ao longo do ano pode ser maior do que algumas regiões européias, a probabilidade de evaporação da água da ETE deve ser maior. Este fator permitiria, teoricamente, a redução da área da estação em projetos desenvolvidos no Brasil (Kaick, 2002).

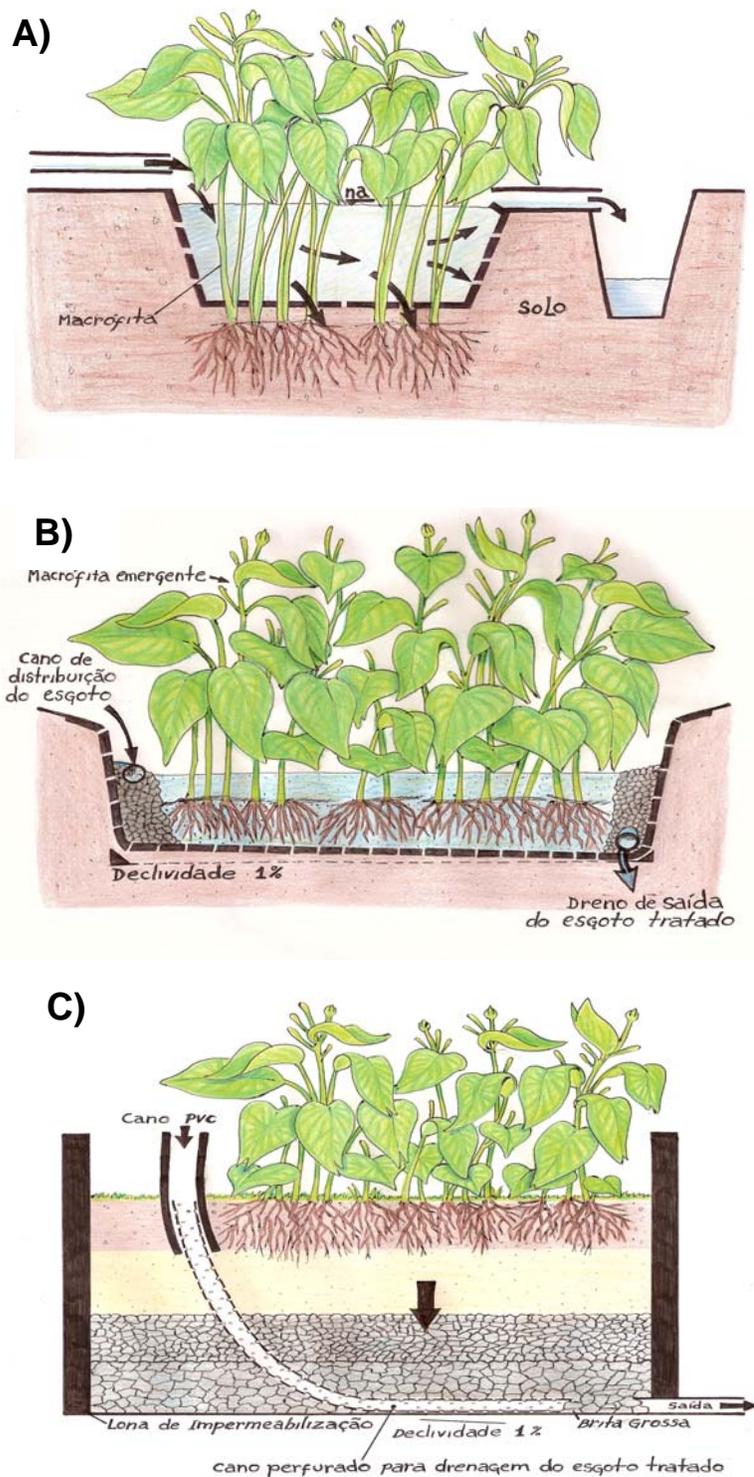


Figura 1. Áreas alagadas de fluxo superficial (a), áreas alagadas de fluxo subsuperficial (b) e áreas alagadas de fluxo vertical (c) (Adaptado de Vymajal, 1998).

A ETE por meio de zona de raízes deve ser impermeabilizada com uma lona plástica resistente, concreto armado ou uma caixa d'água. Esta escolha irá depender de condições econômicas e, principalmente, do tipo de terreno onde será instalada, pois serve para evitar qualquer tipo de infiltração ou contaminação do lençol freático local.

O filtro físico é constituído de uma camada de 30 a 40 cm de areia de granulometria média para grossa que preenche o fundo do filtro. Esta camada de areia encontra-se logo abaixo de uma camada de brita nº 2 de 50 cm de espessura. É nessa superfície que as plantas que formam a zona de raízes neste tipo de ETE devem ser plantadas. No fundo dessa estrutura se dispõem as tubulações que farão a captação do efluente tratado conduzindo-o para fora da estação através de um dreno. Sobre a camada de brita ou a 10 cm de profundidade (zona das raízes) há também uma rede de tubulações que fazem a distribuição dos efluentes a serem tratados.

Para que o tratamento seja eficiente, primeiramente o efluente passa por uma fossa séptica, sendo este o tratamento primário que remove, por decantação, os sólidos mais pesados e sedimentáveis. Em seguida, através da rede de distribuição o efluente é lançado na estação e o processo está iniciado. Esta forma de tratamento apresenta benefícios, pois passa por duas etapas: um tratamento primário no qual a porção mais grosseira do esgoto fica depositada após a sedimentação e a parte aquosa avança para o tratamento secundário, que é a estação de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes. O efluente resultante devolvido apresentará uma redução de matéria orgânica e sólidos sedimentáveis, evitando a contaminação do corpo hídrico ao qual será lançado (Kaick, 2002).

Ainda existe a possibilidade de instalação de um filtro tipo anaeróbio que contém pedra brita nº 2 e carvão vegetal, acondicionados dentro de recipientes de material impermeável, que por meio de um sifão ficam interligados. Tal filtro serve para as águas residuárias que contêm elevados teores de sabão em pó, sabão caseiro e detergente. Tanto o sabão caseiro como o sabão em pó comercializado no país são riquíssimos em fósforo e seu potencial de biodegradação é bastante lento. A água da lavanderia conduzida diretamente a estação de tratamento prejudicam o desenvolvimento das plantas, causando sintomas de toxidez por excesso de fósforo. Portanto, as águas

residuárias provenientes da lavagem de roupas necessitam passar por esse filtro anaeróbio para que o fósforo fique retido.

Nas plantas que compõem a zona de raízes prendem-se bactérias que recebem oxigênio conduzido pelos aerênquimas do caule e folhas até as raízes (Kaick, 2002). Parte do oxigênio pode ainda sair do sistema radicular para o entorno da área da rizosfera, criando condições de oxidação para os sedimentos que, de outra forma, seriam anaeróbios, criando assim condições para decomposição da matéria orgânica, bem como para o crescimento de bactérias nitrificadoras (Pareschi, 2004).

Existem 150 espécies de plantas conhecidas para serem utilizadas em estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes. Entretanto, as plantas, independentes do gênero, devem ter aerênquimas bem desenvolvidos, no caule e nas raízes, além de serem nativas da região pelo fato de estarem adaptadas às condições ambientais. De tal modo, as plantas mais utilizadas e com resultados já comprovados são *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Acorus calamus*, *Íris pseudacorus* e *Schoenoplectus lacustris*.

Como as estações de tratamento por meio de zona de raízes sempre vão estar com o solo inundado com a água do esgoto, é necessário que as plantas possuam uma rede de aerênquimas bem desenvolvida para poder prover de maneira satisfatória todas as partes da planta com oxigênio. A entrada de oxigênio no solo é necessária para que ocorram os processos de oxidação da matéria orgânica, carboidratos e elementos que podem ser nocivos para as plantas.

Portanto, trata-se de uma tecnologia barata, de simples implantação e manuseio que pode ajudar na tarefa de minimizar o impacto causado pelo lançamento direto destes efluentes nos riachos e arroios. Também, tal sistema, por reunir diferentes formas de remoção de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos, parece mostrar-se eficiente ao que se propõem. Outro ponto a favor dessa metodologia de “limpeza” de águas se deve ao fato de que nossas condições geográficas e climáticas fazem com que o sistema funcione melhor do que em zonas frias.

2.4.2 Funcionamento das áreas alagadas construídas

Em ambos os sistemas de áreas alagadas construídas ocorrem alterações químicas, físicas e biológicas, as quais podem ser chamadas de processos biogeoquímicos ou de ciclagem biogeoquímica, uma vez que todos são direta ou indiretamente mediados biologicamente. Nos sistemas biológicos, os responsáveis pela remoção da matéria orgânica das águas residuárias são os microrganismos (aeróbios, facultativos e anaeróbios) que a utilizam como fonte de carbono, elétrons, energia e outros nutrientes essenciais ao seu crescimento (Valentin, 1999). A importância do conhecimento desses processos está no fato de se poder explicar e controlar a forma com que nutrientes, matéria orgânica e outros contaminantes (patógenos, metais pesados e nutrientes em altas concentrações) são removidos do efluente (Nogueira, 2003).

A degradação da matéria orgânica nas águas residuárias é governada pelos vários aceptores de elétrons disponíveis no meio, sendo que o sistema utiliza aquele que produz a mais alta quantidade de energia. Por essa razão, o oxigênio dissolvido é utilizado primeiramente deixando o sistema de ser aeróbio. Após a entrada do efluente em um sistema de tratamento através de áreas alagadas, vários processos competem pelo oxigênio dissolvido (OD) e assim afetam sua concentração. O OD é utilizado nestes sistemas em quatro situações principais: demanda de O_2 pelo sedimento orgânico, respiração, demanda de O_2 por compostos de carbono dissolvidos e demanda de O_2 por compostos de nitrogênio dissolvidos (Nogueira, 2003).

A temperatura do efluente a ser tratado é aproximadamente igual à média diária da temperatura do ar devido às formas dominantes de transferência de energia: ganho pela radiação, perda por irradiação, condução, evaporação (predominante nas áreas alagadas de fluxo superficial) e evapotranspiração (áreas alagadas cultivadas). Ela influencia a atividade microbiana e a solubilidade do oxigênio na água. Existem temperaturas máximas e mínimas que determinam processos químicos, as atividades bioquímicas e as taxas de crescimento dos microrganismos. Cada espécie microbiana é caracterizada por uma faixa de temperatura ótima de crescimento (Cardoso et al., 1992).

A concentração do íon hidrogênio, expresso como pH, influencia muitas transformações bioquímicas. O pH afeta a dissociação das formas ionizadas e não ionizadas de ácidos e bases e controla a solubilidade de muitos gases e sólidos. Os íons hidrogênio fazem parte do conteúdo total de cátions das áreas alagadas e são ativos nos processos de trocas catiônicas com os sedimentos e solos destas áreas (Kadlec & Knight, 1996).

Caso haja nitratos disponíveis no meio líquido, os organismos aparelhados para utilizá-los na respiração passam a fazê-lo convertendo nitrato a óxido nitroso ou gás di-nitrogênio (desnitrificação) - condição anóxica (ausência de O₂ dissolvido e presença de nitratos). Quando estes se extinguem têm-se as condições anaeróbias estritas, sendo utilizados os sulfatos, que são reduzidos a sulfetos, e o CO₂ é convertido a metano (Valentin, 1999). A seqüência de transformações que ocorrem no tratamento de águas residuárias é função do acceptor de elétrons e do estado de oxidação do composto, medido pelo seu potencial de oxi-redução. As bactérias desnitrificantes são mais abundantes do que as nitrificantes em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgotos. Estes microrganismos têm seu melhor desenvolvimento em uma ampla faixa de temperatura que vai de 25°C até 65°C, sendo que acima ou abaixo desta faixa causam decaimento das taxas.

Dierberg & Brezonik (1984) estimaram as taxas de fixação de nitrogênio em estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes que receberam efluente doméstico com altas doses de nitrogênio total e observaram que os valores situavam-se entre 0,012 e 0,19 g m² ano⁻¹. Dessa forma concluíram que a fixação é um componente insignificante para estações de tratamento que recebem esgotos domésticos.

Processos bióticos e abióticos regulam a remoção de P em áreas alagadas. Processos bióticos incluem: absorção pela vegetação e microrganismos e mineralização de restos vegetais. Processos abióticos incluem: sedimentação e oxidação, adsorção e precipitação e processo de troca entre a interface solo-coluna d'água (Nogueira, 2003). O fósforo orgânico é normalmente de menor importância nos esgotos domésticos típicos, mas pode ser importante em águas residuárias industriais e lodos oriundos do tratamento de esgotos. No tratamento de esgotos e nos corpos d'água receptores o fósforo orgânico é convertido a ortofosfatos. O fósforo inorgânico

que entra nas áreas alagadas ou resultante da mineralização, pode ser precipitado por hidróxidos de ferro hidratados, pela adsorção às argilas ou pela precipitação por minerais de cálcio em solos alcalinos (Nogueira, 2003). As reações de adsorção e precipitação são as maiores formas de remoção do fósforo dos efluentes quando este tem oportunidade de contato com um volume significativo de solo ou sedimentos (Valentin, 1999). A brita e a areia que possuem textura grosseira têm baixa capacidade de adsorção de fósforo, e os solos hidromórficos, que são em sua maioria orgânicos, têm um elevado potencial de adsorção devido à presença de ferro e alumínio. Os solos das estações de tratamento de esgotos por meio de zonas de raízes têm uma capacidade adsorvedora de fósforo, porém esta aptidão possui um limite de saturação e, caso este limite seja ultrapassado, as áreas alagadas tornam-se incapazes de retê-lo por adsorção (Lautenschlager, 2001).

A quantidade de fósforo efetivamente removida por uma área alagada é geralmente menor do que a quantidade de fósforo retirada pelas plantas durante o seu crescimento (Kadlec & Knight, 1996). Esses autores ainda observaram que a biomassa total foi relativamente constante durante as estações do ano. Estudos de Mitsch & Gosselink (1993), revelaram que macrófitas de áreas alagadas localizadas no norte dos EUA apresentaram uma rotatividade de 1 a 2, o que significa que o material vivo acima do substrato foi substituído de uma a duas vezes ao ano. Kadlec & Knight (1996) em outro trabalho encontraram rotatividade de 3 a 6 em regiões quentes como a Flórida.

3 HIPÓTESES E OBJETIVOS

Geralmente a agricultura familiar se distribui por zonas com características ecológicas extremamente frágeis, onde o espaço é inapropriado para as atividades agrícolas ou de pecuária intensiva. Além disso, a preocupação ambiental inexistente, ocorrendo inúmeros processos de degradação do solo, da água e do ar. O desmatamento, queimadas, assoreamento dos cursos d'água, cultivos em locais com alta declividade e pedregosidade, práticas convencionais que facilitam a perda de solo, uso de solos rasos ou muito arenosos, aplicações desequilibradas de fertilizantes e agrotóxicos, lançamento de efluentes diretamente na água vêm comprometendo a qualidade dos mananciais superficiais e do lençol freático. Baseado nisto, são estabelecidas as seguintes hipóteses.

Hipótese 1: Considerando as características paisagísticas, ambientais e de uso dos recursos naturais, a microbacia hidrográfica do Arroio Lino, em Agudo/RS, deve possuir águas superficiais comprometidas quanto a sua qualidade.

Hipótese 2: Os efluentes domésticos, por sua carga poluidora, devem ser de alguma forma tratados e a estação de tratamento de esgotos por meio de zonas de raízes é eficiente na remoção dos poluentes físico-químicos e biológicos.

Para testar as hipóteses, esse trabalho teve como objetivos gerais (a) monitorar a qualidade das águas superficiais na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boemia, Agudo-RS e (b) avaliar a eficiência de duas estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes.

Os objetivos específicos foram:

- a) avaliar os níveis de contaminação química (N-amônia, N-nitrato e P-total e P-solúvel) da água do arroio;
- b) avaliar os níveis de contaminação microbiológica (*Eschericia coli* e coliformes totais) da água do arroio;
- c) avaliar os níveis de contaminação química (N-amônia e N-nitrato e P-total e P-solúvel) das fontes de consumo humano;

- d) avaliar os níveis de contaminação microbiológica (*E. coli* e coliformes totais) das fontes de consumo humano;
- e) avaliar a eficiência das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes na remoção de contaminantes químicos (N-total, P-total);
- f) avaliar a eficiência das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes na remoção de contaminantes microbiológicos (*E. coli*, Coliformes totais);
- g) avaliar a eficiência das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes na remoção de matéria orgânica (DBO e DQO).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Histórico do projeto

Esse trabalho é continuidade de um projeto realizado em parceria com o Programa de Manejo dos Recursos Naturais e de Combate à Pobreza Rural – RS, sendo o governo do estado do RS o gestor e coordenador. Esse programa apoiava projetos de infra-estrutura, geração de renda e manejo dos recursos naturais, com financiamento do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e do Governo do Estado do Rio Grande do Sul. O programa objetivava combater a pobreza, reverter o quadro da degradação ambiental e melhorar as condições de vida dos pequenos agricultores, agricultores assentados, agricultores atingidos por barragens, pecuaristas familiares, povos indígenas, pescadores artesanais e quilombolas do Estado.

Entendia-se que para realização dos trabalhos as unidades geográficas deveriam estar caracterizadas como microbacias hidrográficas, tanto na estratégia de organização dos agricultores quanto para a implantação de práticas de uso, manejo e conservação dos recursos naturais. Participaram do monitoramento ambiental da microbacia hidrográfica do Arroio Lino o Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (DS-UFSM), o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH-UFRGS), a Associação Riograndense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER/RS) e a Fundação de Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO). O projeto obteve parcialmente financiamento do RS-Rural, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Os trabalhos iniciados no ano de 2002 na microbacia foram coordenados pelos professores do Departamento de Solos da UFSM, Danilo Rheinheimer dos Santos, José Miguel Reichert e Dalvan Reinert. Além desses professores faziam parte do grupo de afazeres alunos de pós-graduação, de graduação e um técnico agrícola contratado para atuar permanentemente na comunidade. Dentre estes, destacam-se o empenho dos

pós-graduandos Celso Silva Gonçalves, João Batista Pellegrini e dos acadêmicos Vinicius Dalbianco, Marcelo Soares, André Carlos Cruz Copetti, Davi Alexandre Vieira, Fábio Joel K. Mallmann e do técnico agrícola Antonio Britzke, que desenvolveram praticamente todas as atividades de diagnóstico e monitoramento.

Cabe ressaltar que durante os anos seguintes, outros acadêmicos e professores acompanharam as ações na MBH demonstrando grande envolvimento com o projeto e gerando dissertações de mestrado, teses de doutorado bem como diversos artigos e resumos publicados em revistas acadêmicas de destaque nacional e apresentados em outros tantos eventos dos quais os acadêmicos participaram.

4.2 Descrição da Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino

A microbacia hidrográfica do Arroio Lino está localizada na comunidade de Nova Boemia em Agudo, Rio Grande do Sul - Brasil (latitude 29° e longitude 53° ou 28° 16' sul, 67° 35' oeste) (Figura 2). O clima da região é do tipo subtropical, Cfa segundo a classificação de Köppen. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e do mais frio fica entre -3°C e 18°C. A pluviosidade é normalmente bem distribuída, com precipitação anual que varia de 1300 a 1800 mm. Os maiores valores são registrados de maio a junho e as chuvas são mais intensas nos meses da primavera.

Os solos da microbacia são classificados como Neossolos e associação Chernossolo – Neossolo (EMBRAPA, 1999), ambos pouco profundos e altamente suscetíveis à erosão. Na MBH há uma grande diversidade de tipos de solos, mas com predomínio do Neossolo Litólico eutrófico chernossólico, e do Chernossolo Argilúvico férrico típico, com associações entre esses (Dalmolim, 2003). A maioria das lavouras (78%) possui solos com limitação forte a extremamente forte para suscetibilidade a erosão, pois estão localizadas em áreas de alta declividade. As altitudes variam de 120 a 480 metros acima do nível do mar, o que caracteriza um relevo montanhoso, de longas pendentes com declividades de 10 a 50%.

A MBH apresenta uma área total de 480 ha e suas divisas fazem com que as águas converjam para o Arroio Lino, afluente do Rio Jacuí. As unidades de produção

agropecuária possuem áreas médias de 10 ha, caracterizando tipicamente uma área de produção agrícola familiar. A população está em torno de 163 pessoas que residem na comunidade, entretanto, cerca de 100 pessoas participam efetivamente das atividades agropecuárias, principalmente no cultivo do fumo (Gonçalves, 2003).

Dentro dos 4 anos estudados, as lavouras ocupam em média, o equivalente a 25,4% do total da MBH, e estas podem se concentrar em algumas áreas ou podem espalhar-se pelo meio da vegetação natural em forma de pequenas glebas. O maior problema da concentração de glebas é o aumento do comprimento da pendente, o que é responsável pelo aparecimento das voçorocas, que é uma das principais vias de chegada de solo, nutrientes e materiais orgânicos ao riacho. As pastagens perenes, com 7% da área total da MBH, tendem a localizar-se nas proximidades do riacho como forma de suprir a necessidade de água para os animais, o que de certa forma contribui para entrada de dejetos para o meio aquático. Da mesma maneira, as instalações das propriedades (sedes das UPAs) ficam nesta mesma posição da paisagem e também contribui para entrada de esgoto doméstico, e assim caracterizando uma fonte pontual de poluição (Reichert, 2006).

A cultura do fumo prevalece no período de verão, abrangendo 70% em média, e o milho no período pós-fumo (safrinha) com uma variação devido às condições climáticas, podendo chegar a 70%, como na safra de 2003/2004 e 48% em 2004/2005, estando toda essa amplitude relacionada com a distribuição das chuvas. Como o solo tem baixa capacidade de infiltração, seja pela formação do solo ou pelo manejo, em períodos com pouca precipitação, como no caso de 2004/2005, compromete o plantio assim como o desenvolvimento das culturas. Com isso aumentam as áreas de pousio, chegando a atingir 47% da área de lavoura. A cultura da aveia, que será a cobertura no inverno também é prejudicada nessa situação (Reichert, 2006). A cultura do fumo na safra 2005/2006 ocupou uma área de aproximadamente 80,4 ha, o que demonstra a flutuação devido ao abandono de área e abertura de novos locais de plantio.

As culturas de subsistência se mantiveram em aproximadamente 6% da área de cultivo com um acréscimo no verão pelo cultivo de feijão de pelo menos 4% e até 8% em 2005/2006. As plantas de cobertura abrangem uma pequena área, assim como a

subsistência ganha pouca importância em ambos os períodos tendendo sempre a ceder espaço para o fumo.

No que se refere ao manejo do solo podemos dizer que o plantio direto na cultura do fumo está longe de se tornar uma realidade, pelo menos na MBH estudada. Em média 38% do solo são mobilizados no período da cultura do fumo e de 5% para o período safrinha na cultura do milho. No entanto, devemos levar em conta a cobertura do solo com restos culturais, que no período de safrinha apresenta cobertura morta sobre 38% do solo das lavouras, 20% a mais que no mesmo período em 2005. Enquanto que a superfície exposta passou de 81% para 29% da área das lavouras, impedindo que o impacto da gota da chuva incida diretamente no solo nu, o que acarretaria um processo de erosão, já o restante ficou numa situação intermediária. No período de verão a área com cobertura da superfície atingiu apenas 31% e compreende as lavouras itinerantes cultivadas geralmente com feijão ou ainda em solos com alto índice de pedregosidade (Reichert, 2006).

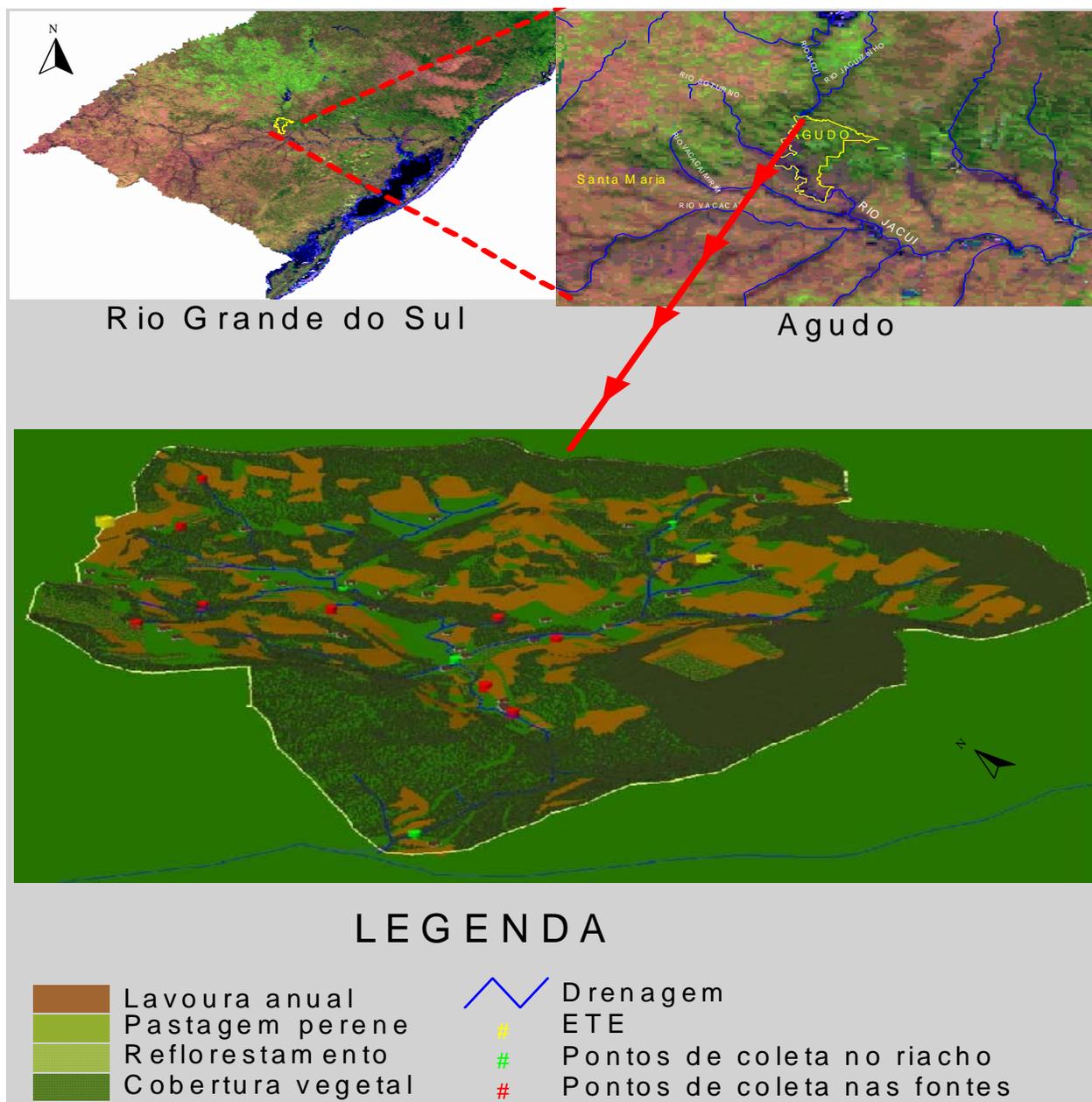


Figura 2. Localização da Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boêmia, Agudo – RS (elaborado por Copetti, 2007).

4.3 Descrição dos locais de coleta de amostras de água: arroio e fontes para o consumo humano

Os locais de amostragem da água do arroio apresentam características diferenciadas e estão localizados na Figura 3. O ponto 1 está localizado na drenagem da sanga secundária. A água é coletada logo abaixo de uma estrada secundária na saída do bueiro, tornando-se a principal e potencial fonte de contaminação. O local, de coordenadas UTM X: 0282660 Y: 6735502 é protegido por capoeirão e não há influência de casas, pocilgas e lavouras. O ponto 2 (coordenadas UTM X: 0281731 Y: 6735666), refere-se a parte mediana da sanga principal, logo abaixo da junção de duas drenagens, uma que vem da propriedade do senhor Édson Markendorf e a outra da propriedade do senhor Adair Stefenon. A coleta é feita nos fundos da sede da propriedade do senhor Odélio da Rosa. Ambas as propriedades são fontes de contaminação. O ponto 3 localiza-se dentro da calha coletora instalada na MBH e é local de junção das duas sangas que formam o arroio, de coordenadas UTM X: 0281663 Y: 6735025. A calha de drenagem foi instalada imediatamente atrás da sede da propriedade do senhor Leandro da Silva. Há um chiqueiro a menos de 5 metros do leito do rio e a fossa vaza diretamente no arroio. Não há mais mata ciliar em uma extensão de, pelo menos, 500 metros. O solo é parcialmente recoberto com campo nativo, o qual não protege adequadamente a barranca do arroio, sendo comum o desbarrancamento das margens. O ponto 4 está localizado a aproximadamente 2 km abaixo do ponto 3, tendo as coordenadas UTM X: 0280901 Y: 6734036. Neste trajeto o arroio percorre por um leito declivoso com bastantes pedras e proteção de mata ciliar madura, inclusive com presença de pequenas cachoeiras, que ajudam na oxigenação da água (Gonçalves, 2003).

Todas as fontes analisadas foram descritas quanto à localização (Figura 3), vegetação, proteção e outras características de importância para detecção da causa do problema e possíveis soluções.

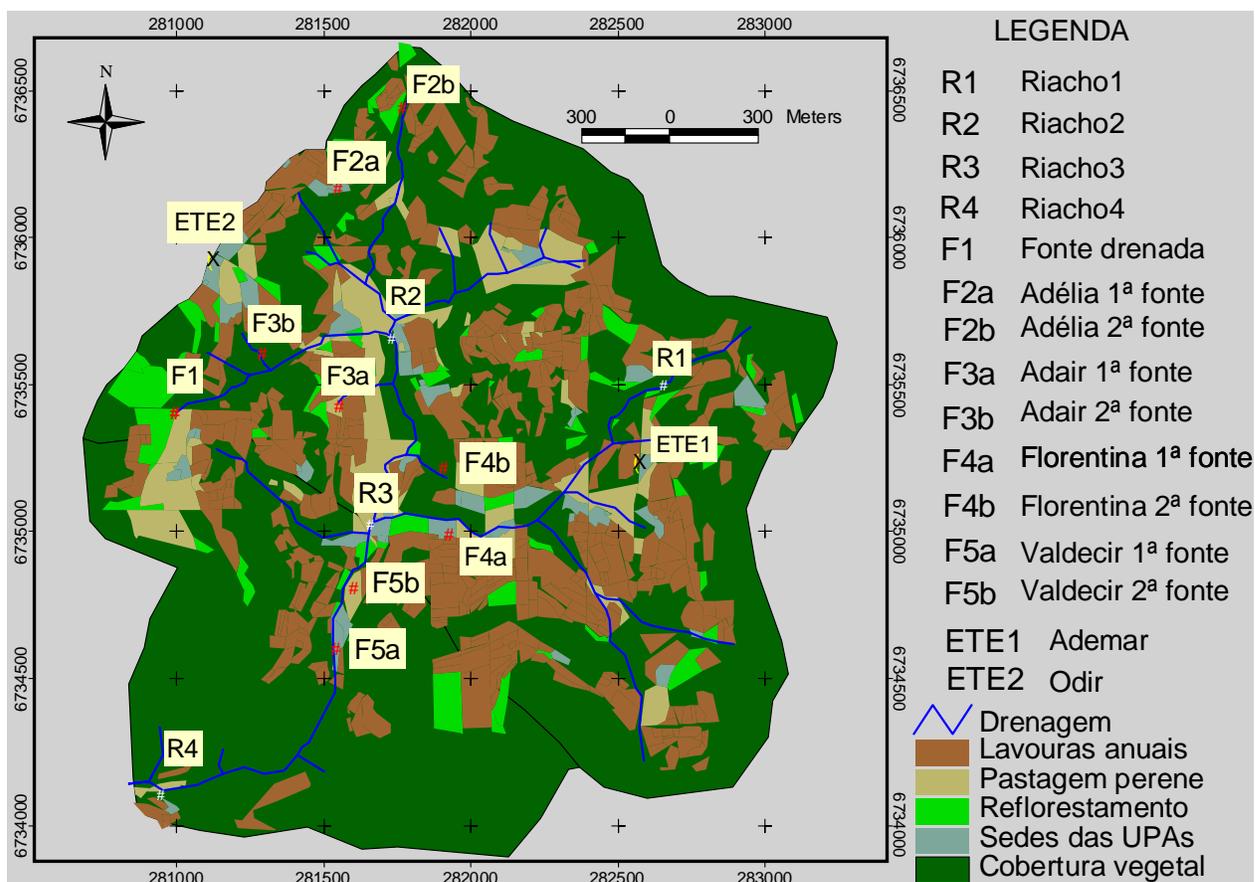


Figura 3 - Localização dos pontos de coleta de água no riacho, nas fontes de consumo humano e nas estações de tratamento de esgotos (elaborado por Copetti, 2007).

A fonte n° 1 (coletiva) está localizada na meia encosta (coordenadas UTM X: 0280999 Y: 6735406), ao lado de um poteiro, sem lavouras nas proximidades e distante de casas. A vegetação existente ao redor da fonte é mata nativa e acima há um talhão de eucalipto. Possui uma construção em alvenaria que protege a fonte contra entrada de água pelo escoamento e entrada de animais. Durante o monitoramento, seis produtores estavam cadastrados para retirar água dessa fonte.

A fonte n° 2 abastece a propriedade da produtora Adélia Urlich. Essa fonte está localizada nas coordenadas UTM X: 0281555 Y: 6736170, em uma área abaixo da lavoura e da estrada. A vegetação ao redor é formada por campo nativo, ficando a céu aberto. Como proteção possui apenas uma construção de tijolo para formar o poço e com uma tampa que o fecha. A casa fica afastada da fonte sendo que a água é

conduzida por bomba submersa. A pocilga está localizada abaixo da fonte dentro de uma área de capoeirão e ocorre livre circulação de animais em volta da fonte, com lama e fezes na superfície do solo. A partir de outubro de 2004 a agricultora trocou de vertente, pois na antiga foi detectado traços de agrotóxicos (inseticidas imidacloprid e clorpirifós). A nova fonte localiza-se nas coordenadas UTM X: 0281772 Y: 6736452.

A fonte nº 3 abastece a propriedade do produtor Adair Stefenon e está localizada nas coordenadas UTM X: 0281558 Y: 6735428, na base da encosta dentro da lavoura. A fonte é protegida com pedras na volta e coberta com tábuas, as quais oferecem pouca proteção à entrada de água de escoamento superficial e à entrada de pequenos animais. Ao lado e abaixo da fonte existe uma vala de drenagem das águas. Devido aos resultados parciais demonstrarem que a água não se apresentava em boas condições, o produtor construiu outra fonte, desta vez de alvenaria e em uma área com proteção nativa nas proximidades, mas de um modo geral sofre influência das lavouras que ficam acima da mesma. Está localizada dentro de um potreiro, nas coordenadas UTM X: 0281298 Y: 6735611.

A fonte nº 4 abastece a propriedade do produtor Valdecir Binder. De coordenadas UTM X: 0281934 Y: 6734989, a fonte está localizada na meia encosta, logo abaixo da estrada e acima de um açude. Acima da estrada estão localizadas as lavouras de fumo. A proteção é feita com blocos de pedras e coberta com telha de zinco o que não evita a contaminação, pois a água da chuva escoar diretamente para dentro da fonte. A água é conduzida até a sede da propriedade por uma bomba submersa. A partir do mês de agosto de 2004 passou a usar água de outra fonte protegida, feita de alvenaria localizada em um potreiro abrigado por um capoeirão, e também isolada de animais; nas coordenadas UTM X: 0281914 Y: 6735217.

A fonte nº 5 abastece a propriedade da produtora Florentina de Sousa, e estava localizada nas coordenadas UTM X: 0281607 Y: 6734603. Situada em uma baixada, próximo ao arroio e é inundada pela ocasião de fortes chuvas. A fonte localizava-se abaixo da estrada e da casa, recebendo os poluentes domésticos e de um chiqueiro que freqüentemente é atingido pelas enxurradas. Outros animais domésticos vivem livremente nas proximidades da fonte. A partir de abril de 2004, depois de secar esta fonte, motivo pelo qual não se realizou a coleta, se inativou a fonte passando a usar a

água da fonte coletiva, fonte esta que foi construída de alvenaria em local mais apropriado, ou seja, protegida com mata nativa e sem entrada de escoamento superficial (Rheinheimer et al, 2004).

4.4 Descrição das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes na MBH Arroio Lino

As duas estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes estão instaladas na MBH na comunidade de Nova Boemia, Agudo/RS. De acordo com a figura 7, as propriedades dos Srs. Ademar Markendorf (ETE 1), nas coordenadas UTM X: 02825577 e Y: 6735239, e Odir Friedrich (ETE 2), nas coordenadas UTM X: 0281362 e Y: 6736241, foram escolhidas porque na época da construção eram as únicas residências que possuíam banheiros e instalações hidráulicas satisfatórias. As ETEs foram dimensionadas de modo que contemplasse a utilização de cerca de quatro a cinco pessoas.

Para a construção da estação de tratamento de esgotos (Figura 4) foi escavada no solo uma área de 5 m² de superfície por 1 m de profundidade (5 m³). Em seguida ocorreu a impermeabilização do local com lona de polietileno. No fundo foi depositada uma fina camada de areia para que logo após pudessem ser colocadas as tubulações perfuradas responsáveis pela drenagem do efluente tratado. Na seqüência colocou-se cerca de 40 a 50 cm de areia e sobre esta camada depositou-se a brita N° 2 na mesma proporção. É esta camada de brita que serve de suporte para as plantas e onde o esgoto é despejado através de tubulações de distribuição. Neste caso, a planta utilizada foi a *Colocasium antiquorum* (Figura 5), típica de áreas úmidas, conhecida popularmente na MBH como “inhame”. Entretanto, em algumas oportunidades se tentou implantar outras espécies (especialmente, *Typha sp.*) que não se adaptaram às condições impostas.

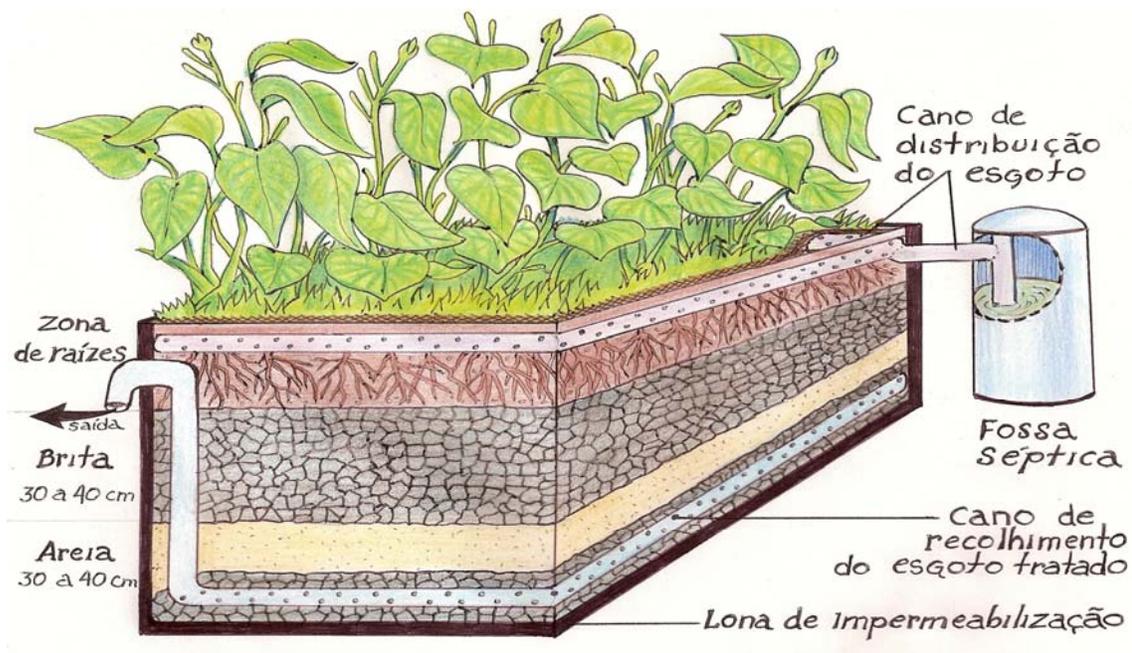


Figura 4. Desenho esquemático da estação de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes (adaptado de Kaick, 2002).

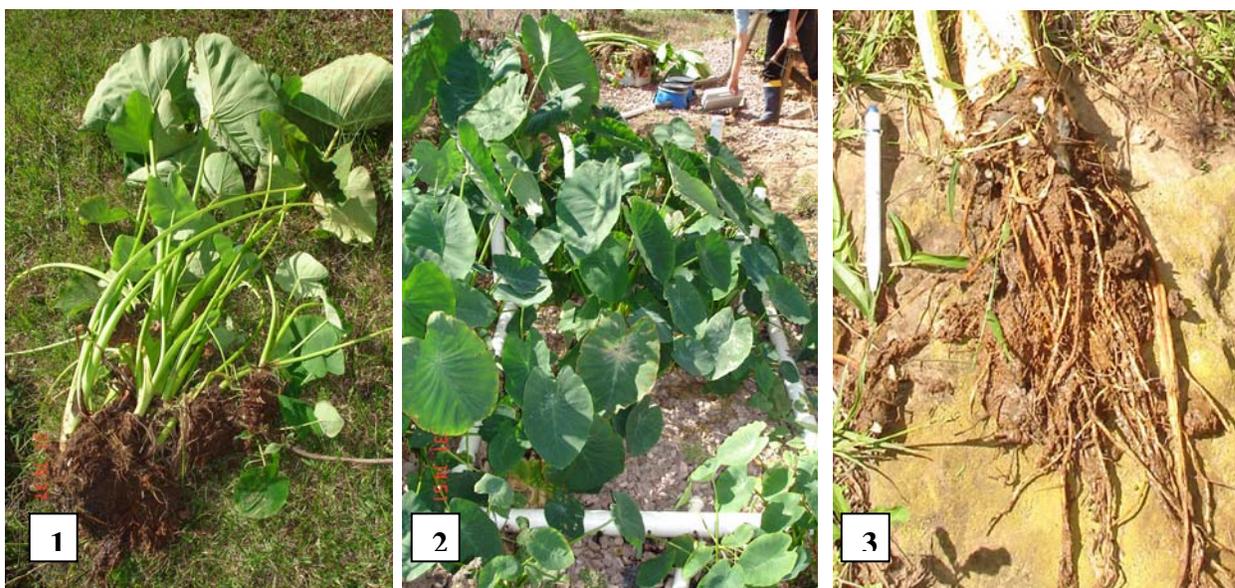


Figura 5. Planta utilizada nas estações de tratamento de esgotos (*Colocasia antiquorum*) (1); Plantas distribuídas sobre a estação de tratamento de esgotos (2); Detalhe das raízes da planta (3) (fotos do autor).

Com relação à distribuição do esgoto, pode ser feita diretamente na zona das raízes, 10 cm abaixo da superfície de brita, ou sobre esta camada. Nestas ETEs optou-se em despejar o esgoto superficialmente pois torna-se mais prático o acesso as tubulações em caso de entupimentos. A rede de distribuição é formada por uma tubulação a partir da fossa séptica e de outra que passa pelo sistema de filtragem da água da lavanderia, que após se encontrarem vertem o esgoto para que se inicie o tratamento. Para facilitar as coletas foram preparados dois recipientes, um antes do tratamento e outro depois, de onde foram retiradas alíquotas para posterior análise em laboratório. Também nestes pontos foram feitas algumas determinações diretamente no efluente.

Pode-se estimar um custo de aproximadamente R\$ 498,67 (18/01/2007), o que equivale a 5,7 arrobas de fumo do tipo BO1, para construção de uma estação de tratamento de esgotos (Anexo A).

4.5 Metodologias de coleta e transporte

4.5.1 Amostras do arroio e das fontes de consumo humano

Coletaram-se amostras de água dos quatro pontos do arroio e das cinco fontes mensalmente ao longo de quatro anos, de janeiro de 2002 a dezembro de 2005. Tais coletas foram realizadas pelos acadêmicos nominados anteriormente (graduação e pós-graduação), que estavam envolvidos com as atividades de monitoramento na MBH.

Para as análises microbiológicas as amostras foram coletas em frascos de vidro tipo “snap cap” com capacidade de 100 ml, lavados em solução de limpeza de ácido clorídrico 0,1 N e autoclavados por esterilização úmida.

Para as determinações físico-químicas foram utilizados frascos de plástico, com volume de 500 ml previamente lavados em solução de limpeza (0,1 N de ácido clorídrico).

Os recipientes foram abertos nos locais de coleta e ambientados, colocando-se $\frac{3}{4}$ da capacidade dos frascos com o material a ser coletado para análise e em seguida descartado. Após, efetuaram-se as coletas propriamente ditas e tamparam-se os

frascos que, por sua vez, foram acondicionados em caixas térmicas e transportados até o laboratório.

4.5.2 Amostras das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes

Coletaram-se dezenove amostras de efluentes na entrada e na saída das duas estações de tratamento de esgotos. A primeira coleta foi realizada em 03/08/2005 e as outras 18 amostragens foram feitas em intervalos de 13 a 96 dias, cuja última amostragem foi em 17/08/2006. Também, como as amostras do arroio, estas foram coletadas pelos acadêmicos envolvidos no projeto. As coletas das amostras tanto para a análise microbiológica como para o monitoramento dos parâmetros físico-químicos seguiram os mesmos procedimentos para coleta da água do arroio e das fontes. Foram efetuadas coletas na entrada da estação de tratamento e na saída em recipientes previamente instalados. Além disso, “in loco” foram realizadas medições de temperatura e oxigênio dissolvido com o auxílio de oxímetro portátil.

4.6 Análises laboratoriais

4.6.1 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas constaram da determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e coliformes fecais. A metodologia empregada foi a utilização de caldo seletivo enriquecido. Para tal, utilizou-se 17 g do meio de cultura FLUOROCULT Caldo LMX (Merk, pH 6.8 a 25°C) em um litro de água destilada. Adicionaram-se 5 ml do meio de cultura em tubos de ensaio com tampa rosca e esterilizou-se em autoclave sob uma pressão de 1 atmosfera e 121°C, por 20 minutos. Na câmara de fluxo laminar, efetuaram-se as diluições para os efluentes coletados na entrada da ETE (10^{-1} até 10^{-8}), na saída da ETE (10^{-1} até 10^{-6}) e para água coletada no arroio e fontes (10^{-1} até 10^{-4}), com auxílio de pipeta automática. As amostras foram incubadas 24 a 48 horas em temperatura de 35–37°C. A presença de coliformes totais

foi indicada pelo aparecimento da cor verde azulada e de coliformes fecais (*Echerichia coli*) pela fluorescência azul, quando exposto à luz ultravioleta. Em função do número de tubos positivos e da respectiva diluição estimou-se, por tabela estatística, o número mais provável de coliformes totais e fecais.

4.6.2 Análises físico-químicas

O pH foi medido imediatamente após a chegada das amostras ao laboratório com auxílio do pHmetro digital. Do mesmo modo, a condutividade elétrica foi medida com auxílio de condutivímetro.

Os teores de nitrato e amônio na água foram determinados por destilação em Microkjeldahl, captado em ácido bórico e titulado com ácido sulfúrico. O teor de fosfato biodisponível foi determinado pelo método colorimétrico de Murphy & Riley (1962). Numa subamostra de água do arroio e das fontes sem digestão determinaram-se os teores de nitrato, amônio e fósforo solúvel.

Para a análise dos teores totais, uma alíquota de 45 ml de água foi digerida com 4 ml de ácido sulfúrico concentrado em tubos de digestão e aquecida até 120°C por quatro horas. Os teores de cálcio, magnésio, zinco, ferro, manganês e cobre foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; potássio e sódio por espectrofotometria de emissão de chama, e fósforo por espectrometria visível.

Nas amostras retiradas das ETE para determinação do nitrogênio total utilizou-se a mesma forma de digestão, e destilaram-se 20 ml após adição de 10 ml de hidróxido de sódio 10 M. Na determinação do nitrogênio solúvel efetuou-se a filtragem da amostra e destilação de 20 ml, adicionando óxido de magnésio e liga Devarda ao mesmo tempo. Da mesma forma, o fósforo total das amostras das ETEs foi obtido através do método colorimétrico de Murphy & Riley (1962).

4.6.3 Indicadores de matéria orgânica

As análises de $\text{DBO}_5^{20^\circ\text{C}}$ seguiram a metodologia descrita por APHA (1995), entretanto, em algumas coletas a determinação foi pelo método manométrico. Esta

determinação foi feita em frasco âmbar, no qual havia uma quantidade pré-determinada de amostra, tampada e conectada a um sensor. Dentro do frasco, acima da amostra, contém uma concentração de oxigênio de 21%. As bactérias presentes utilizam o oxigênio contido na amostra para oxidar a matéria orgânica presente. O ar acima da amostra reabastece a quantidade de oxigênio utilizado pelas bactérias para degradação da matéria orgânica. O corte na pressão do ar causa uma redução na pressão dentro do frasco, o que é detectado pelo sensor. Durante o período de incubação do teste (normalmente 5 dias) a amostra é agitada continuamente com um agitador magnético. O agitador ajuda a transferir o oxigênio da atmosfera para a amostra e simula condições naturais. Dióxido de carbono é produzido por microrganismos na oxidação do material orgânico e deve ser removido do sistema, pois a diferença de pressão no sistema é proporcional somente à quantidade de oxigênio usado. O dióxido de carbono é removido adicionando-se cristais de hidróxido de potássio nos frascos contendo amostra.

A demanda química de oxigênio (DQO) foi realizada pelo Método titulométrico – refluxo fechado (APHA, 1995). Neste método muitos tipos de matéria orgânica são oxidados por uma mistura em ebulição de ácidos crômico e sulfúrico. A amostra é refluxada em solução fortemente ácida com um excesso conhecido de dicromato de potássio. Após a digestão, a quantidade remanescente de dicromato não reduzido é titulada com sulfato ferroso de amônio para determinar a quantidade de dicromato consumido e a matéria orgânica oxidável é calculada em termos de oxigênio equivalente. O tempo padrão do refluxo é de 2 horas, podendo ser reduzido se tiver verificado que períodos menores levem ao mesmo resultado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do monitoramento da qualidade das águas superficiais da microbacia hidrográfica do Arroio Lino e da eficiência do tratamento de esgotos serão apresentados em três partes. A primeira parte refere-se a qualidade da água de quarenta e oito amostragens realizadas em quatro pontos do arroio, utilizando-se a resolução 357/05 do CONAMA como referência. A segunda refere-se às quarenta e oito amostragens realizadas nas cinco fontes de água utilizadas para consumo humano, baseando-se em padrões da portaria 518/04 do Ministério da Saúde. A terceira tratará do monitoramento de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e indicadores de matéria orgânica dos efluentes das duas estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes durante dezenove amostragens tendo como referencial a resolução 128/06 do CONSEMA.

5.1 Monitoramento da qualidade de água do arroio

5.1.1 Análises microbiológicas

A água do Arroio Lino, durante os quatro anos monitorados pelos acadêmicos participantes do projeto de acompanhamento da qualidade das águas na MBH, praticamente sempre esteve contaminada com coliformes totais nos quatro pontos coletados, conforme mostra a Figura 6. As exceções foram às amostras coletadas nos meses de abril de 2004, janeiro, fevereiro, março e agosto de 2005, que não apresentaram coliformes totais no ponto 1 e no ponto 4 nos meses de agosto de 2004, janeiro e junho de 2005. Nos pontos 2 e 3 sempre se teve a presença desses microrganismos. Na resolução 357 do CONAMA (2005) o valor máximo admitido para águas classe 1 utilizada para outros fins que não recreação ou irrigação de vegetais comestíveis “in natura” é de 1000 NMP 100 ml⁻¹, e dessa forma doze amostras no ponto 1, quatorze no ponto 2, dezenove no ponto 3 e nove no ponto 4 estiveram acima desse limite.

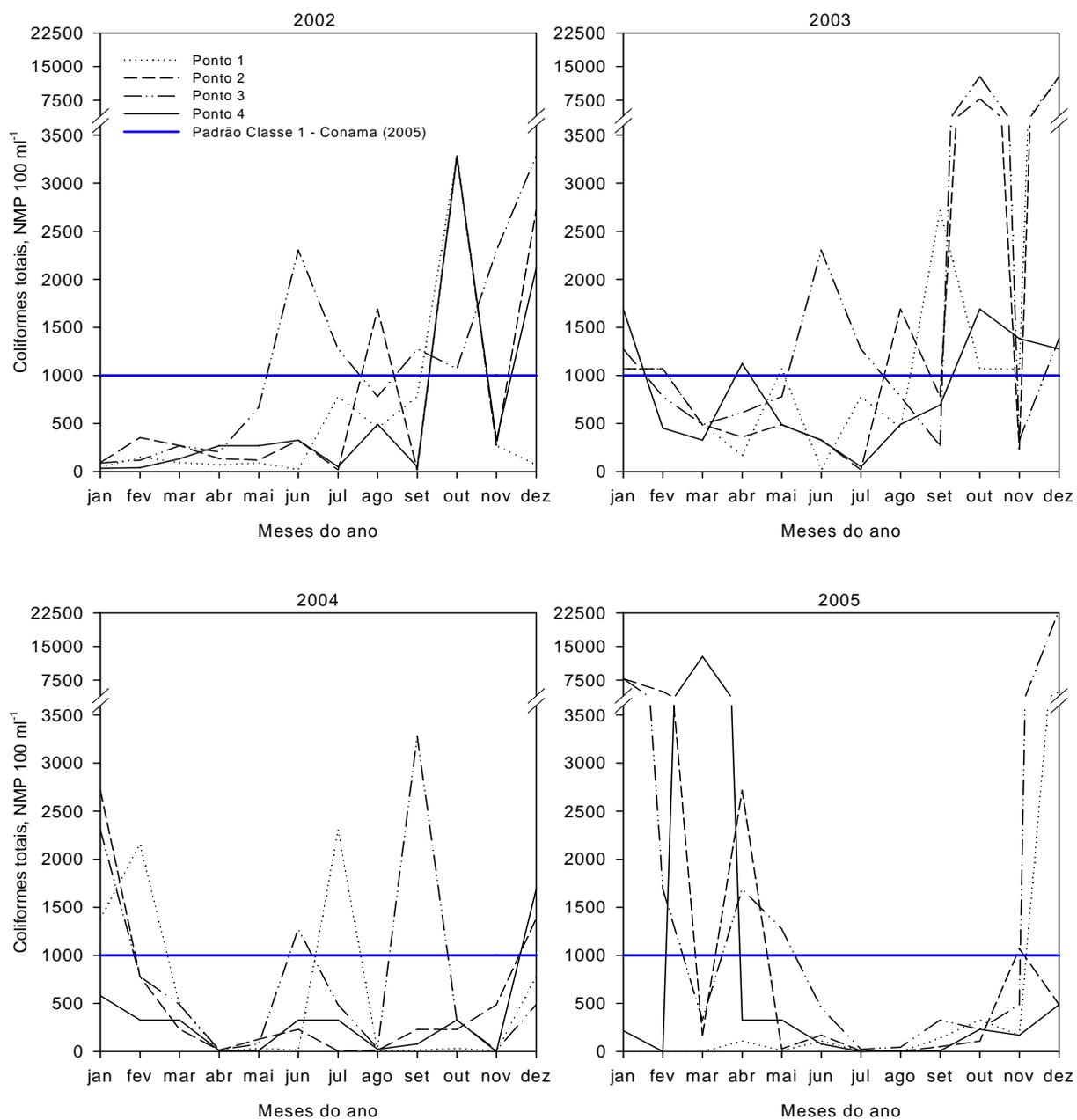


Figura 6. Número Mais Provável de coliformes totais na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.

Diferentemente do que ocorre com os coliformes totais, a contaminação com coliformes fecais de um modo geral é baixa ao longo dos quatro anos, contudo o limite determinado pelo CONAMA para águas classe 1, de 200 NMP 100 ml⁻¹, só não é atingido em quinze coletas entre os quatro pontos (Figura 7). Todavia, há picos de contaminação em determinados meses e pontos de coleta no arroio, tendo cerca de 690 e 1275 NMP 100 ml⁻¹, respectivamente no ponto 2 em agosto de 2003 e no ponto 3 em dezembro de 2005 como valores máximos obtidos.

As médias mostram que a contaminação por coliformes fecais no Ponto 1 é baixa por não ter interferência antrópica. No Ponto 2 a contaminação é relativamente maior, pois o local de coleta das amostras neste ponto é ao fundo da propriedade do Sr Odélio da Rosa, anterior a duas propriedades que são fontes de contaminação pontual, onde os efluentes domésticos são despejados diretamente no riacho sem nenhum tratamento. Em direção a foz a contaminação tende a se elevar, pois passa por outras propriedades que lançam suas águas residuárias no riacho, além do deflúvio superficial. Oliveira *et al.* (2002), ao analisar as águas da bacia do Rio Paraguai, constataram que o NMP de coliformes totais e de termotolerantes aumenta à medida que o rio recebe efluente e que durante as coletas de verão ocorrem os maiores índices de contaminação. No Ponto 3 podem-se observar as maiores médias de coliformes fecais. O local de coleta nesse ponto situa-se atrás da propriedade do Sr Leandro Silva, onde há um chiqueiro próximo a margem do arroio, uma fossa que vaza constantemente e, além disso, nos campos das margens criam-se bovinos e não existe mata ciliar. Assim, todo dejetos animal tende a ir à direção do riacho no momento das enxurradas, ocasionando a elevação do número de bactérias termotolerantes. A densidade média de bactérias coliformes fecais diminui no Ponto 4 devido ao fato de o local de coleta ser afastado das moradias, distante cerca de 2 quilômetros do Ponto 3. A água coletada para análise percorre um trecho entre matas ciliares, que atuam como filtro biológico, e cachoeiras que proporcionam a oxigenação da água e a diminuição da temperatura média, fato que pode ter reduzido densidade de bactérias. Além disso, pode ter ocorrido diluição uma vez que algumas coletas foram efetuadas após intensas precipitações.

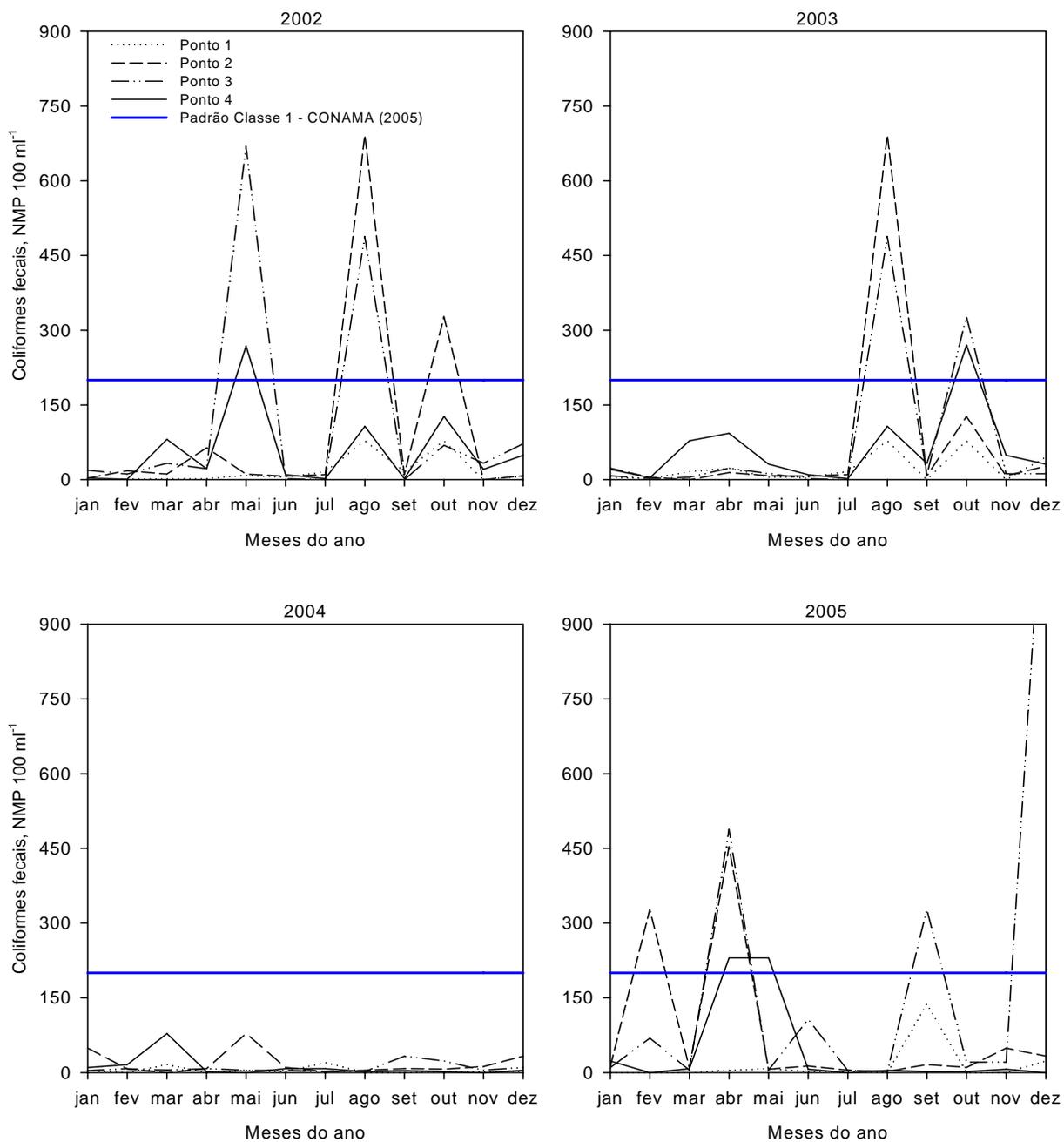


Figura 7. Número Mais Provável de coliformes fecais na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.

5.1.2 Análises físico-químicas

Conforme pode se ver na Figura 8, o comportamento dos teores de $\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4$ presentes na água do arroio apresenta diferenças entre os anos de 2002/2003 e 2004/2005, com quantidades mais elevadas no primeiro biênio em relação ao segundo. As concentrações de nitrogênio presentes na água do arroio mostram que no mês de outubro do ano de 2002 todas as amostras, em seus respectivos locais de coleta, estavam acima do padrão admitido pelo CONAMA (2005) para Nitrogênio Total Amoniacal ($\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4$) em pH entre 7,5 e 8,0, que é $2,0 \text{ mg l}^{-1}$ para águas Classe 1. Da mesma forma, nota-se que o ponto 4 apresenta amostras fora do padrão, confirmando a tendência de aumento em direção a foz. Todas as médias semestrais extrapolaram o limite de $0,2 \text{ mg l}^{-1}$, valor acima do qual pode provocar convulsões, coma e morte de peixes (EMBRAPA, 2006).

Quando o nitrato é avaliado pode-se perceber que ao longo do monitoramento manteve-se com concentrações estáveis (Figura 9). Apenas em 2003, no mês de julho os teores excederam o valor máximo permitido pelo CONAMA. O limite estabelecido por esta legislação é de 10 mg l^{-1} , porém nota-se que há um aumento dos teores da nascente em direção a foz. Isto acontece, pois o arroio recebe toda carga de nutrientes oriundos das lavouras de fumo pelo escoamento superficial provocado pelas chuvas.

Os valores médios de N-NO_3 foram confrontados com os indicadores de qualidade de água da EMBRAPA (2006) e todas as amostras de todos os pontos analisados ficam acima do limite de $0,2 \text{ mg l}^{-1}$. Dessa forma, pode beneficiar a desenvolvimento de plantas aquáticas e diminuir o conteúdo de oxigênio dissolvido, a temperatura e a passagem de luz, com reflexos negativos na vida aquática (Gonçalves, 2003). O nitrogênio demonstra a contribuição total de nutrientes em água e o nível de eutroficação da mesma. É um elemento do metabolismo de ecossistemas aquáticos, contribuindo para a formação das proteínas e podendo atuar como fator limitante na produção primária. Do ponto de vista sanitário, esse elemento, ao ser incorporado a qualquer água, aumenta a proliferação de microrganismos, podendo aumentar a DBO do sistema (Palma-Silva, 1999).

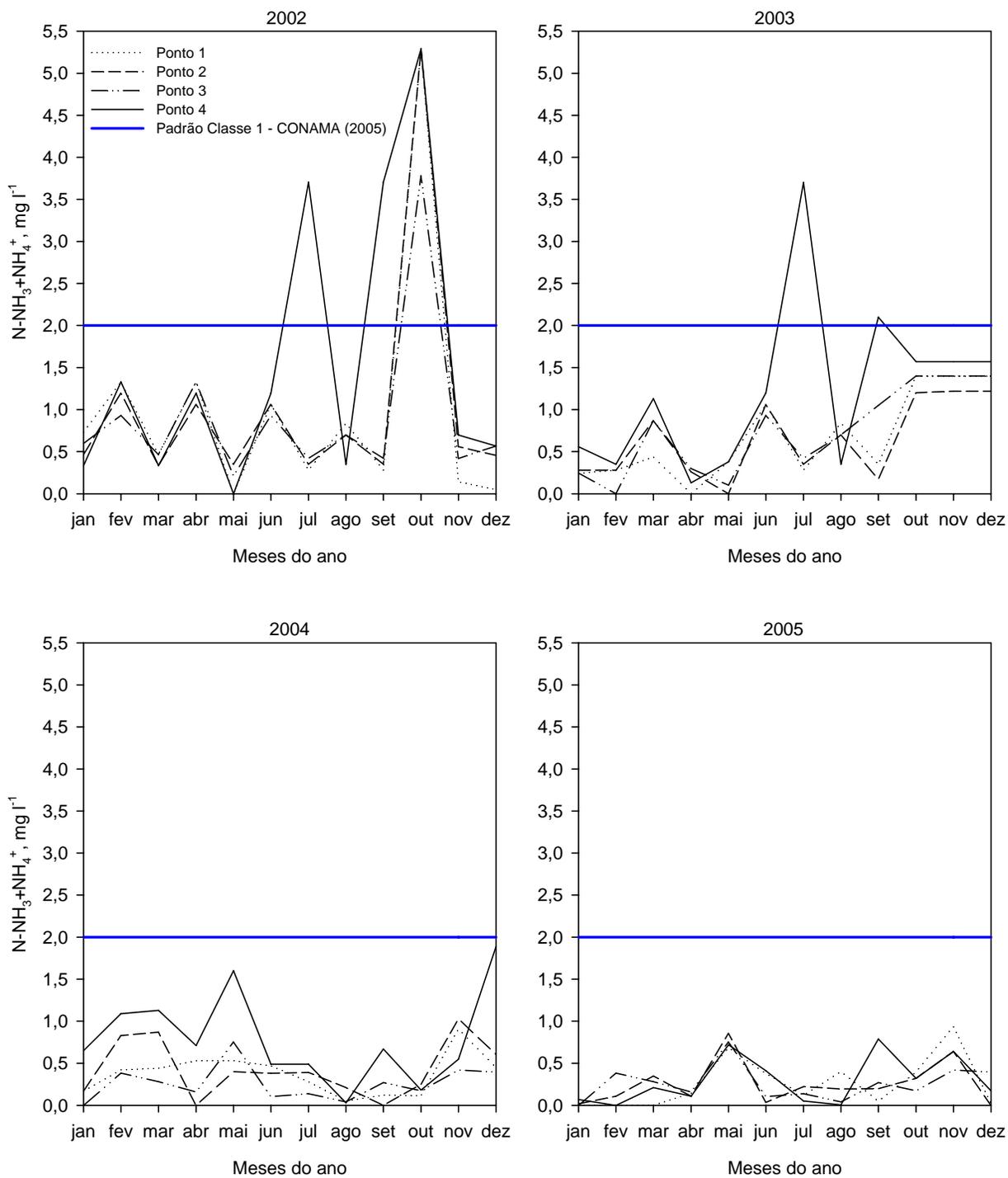


Figura 8. Teores de $\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4$ na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.

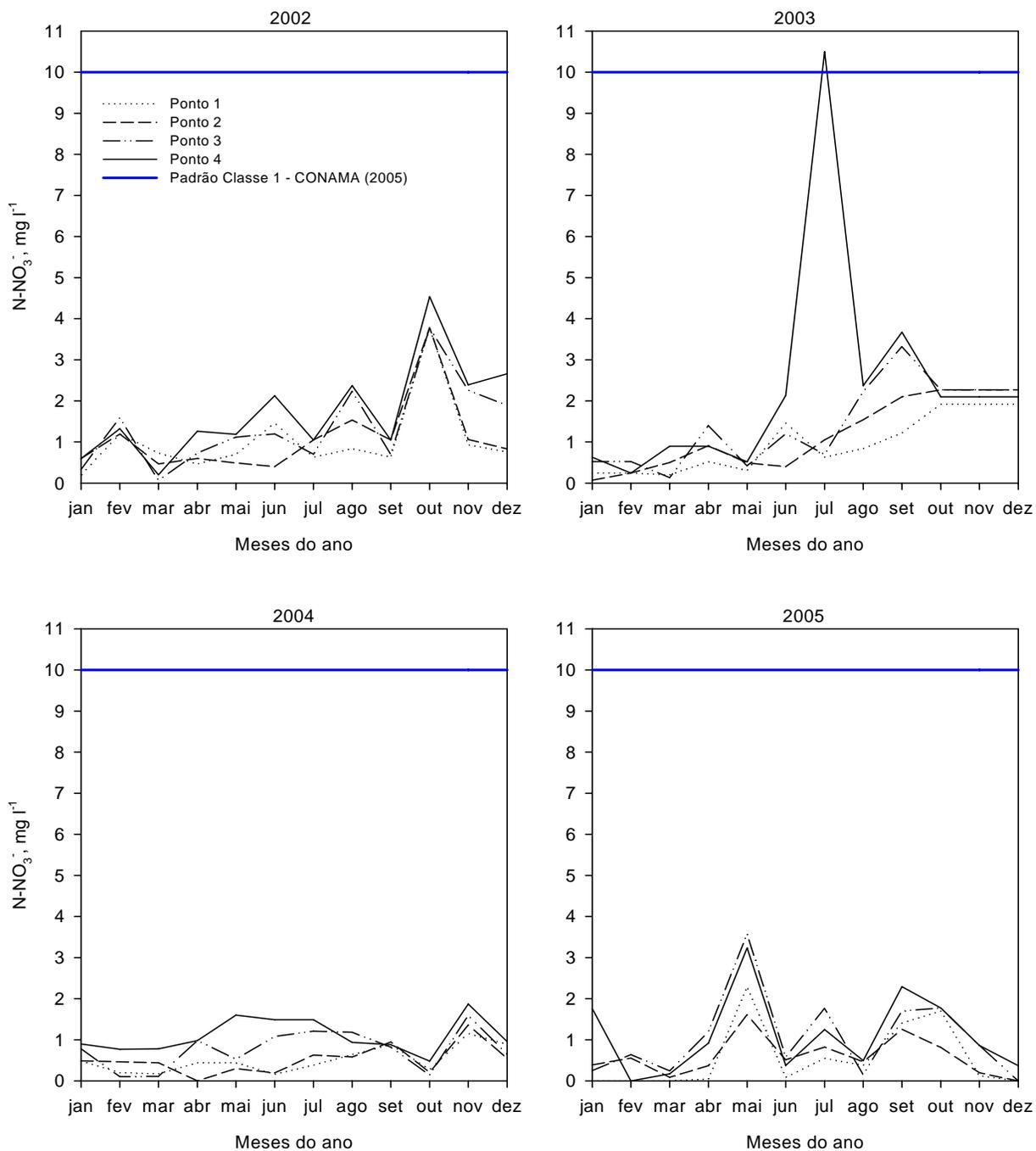


Figura 9. Teores de N-NO_3 na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.

A variação mensal dos teores de P-solúvel segue tendência semelhante entre os anos, sendo que apenas em duas amostras diferem com maior intensidade das demais (Figura 10). Durante os quatro anos de avaliação os maiores valores foram 0,45 e 0,63 mg l⁻¹, respectivamente nos pontos 2 e 4, justamente no ano de 2003.

Os teores de fósforo total da água do arroio sempre se mantiveram muito acima do preconizado pelo CONAMA, tanto para águas classe 1 como classe 2. O órgão fixa o limite de 0,025 mg l⁻¹ em águas classe 1 de ambientes intermediários e conforme expresso na Figura 11, em todos os momentos a água do arroio esteve acima do permitido para esta classe de água. Também o que chama a atenção é que as maiores quantidades encontradas são em direção a foz e que estão no primeiro semestre de cada ano monitorado. Entre os meses de fevereiro e junho de 2002 não se realizou a determinação do P-total.

Conforme Gonçalves (2003) relata em seu trabalho, em águas naturais que não foram submetidas a processo de poluição, a quantidade de fósforo total varia de 0,005 mg l⁻¹ a 0,020 mg l⁻¹. Assim, nos pontos de coleta os valores elevados caracterizam um ambiente aquático eutroficado. Segundo Silva & Pruski (1997), o papel do fósforo na eutrofização dos recursos hídricos é essencial, e a origem desse nutriente a partir de áreas agrícolas tem sido colocada em relevância como indicador de qualidade de água, já que outros indicadores, como sólidos em suspensão e turbidez, estão associados ao transporte de fósforo. Nesse trabalho, ficou evidente a influência da concentração de fosfato na deterioração da qualidade da água, sendo o uso agrícola o principal causador.

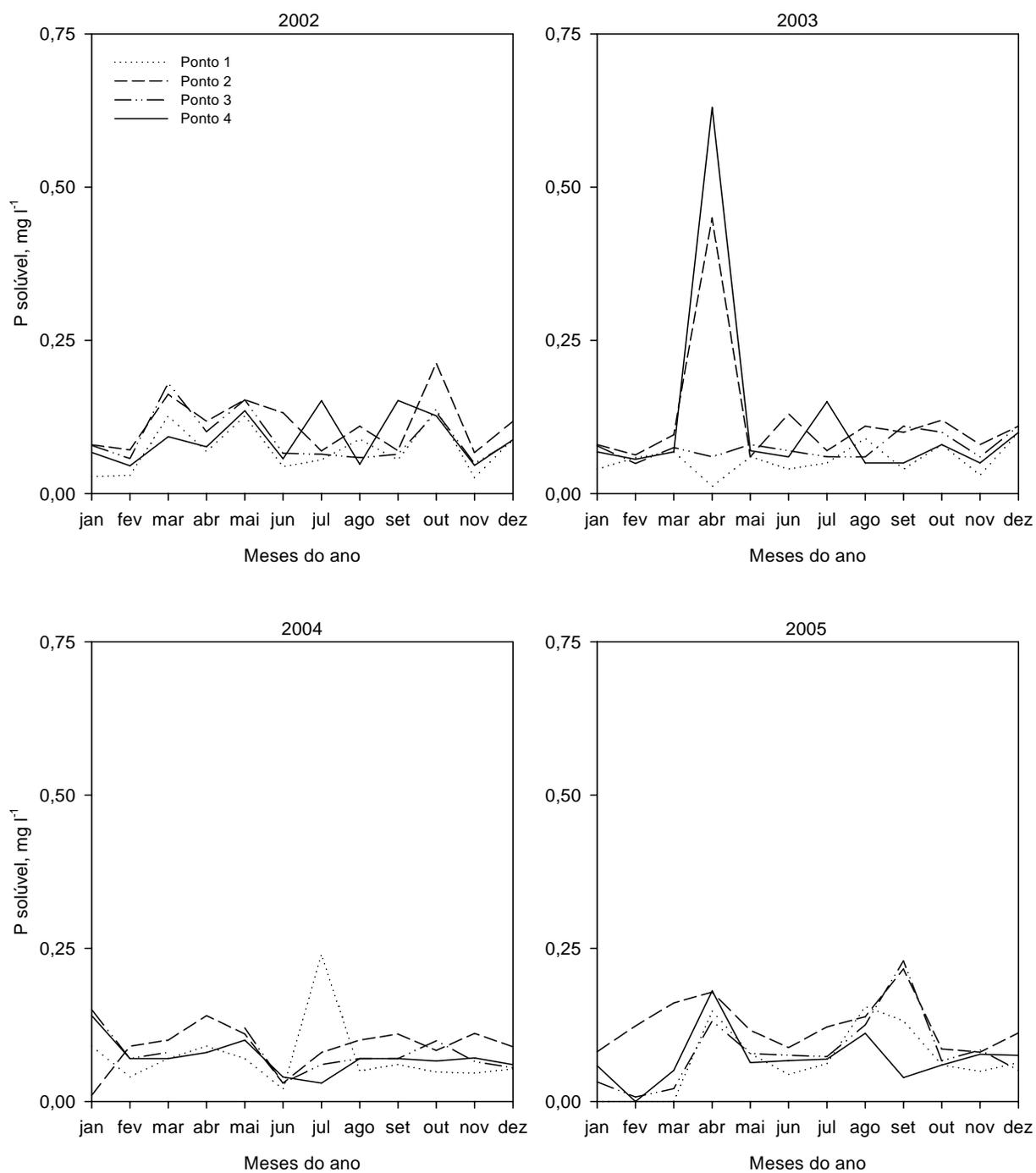


Figura 10. Teores de P-solúvel na água do Arroio nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.

Os altos teores de fósforo e nitrogênio encontrados na água do Arroio Lino refletem a alta dose aplicada na cultura do fumo, principalmente por esta adubação ser para garantir produtividade e qualidade de folhas para a indústria fumageira sem preocupação com a qualidade física e biológica dos solos. As concentrações de fósforo estão cerca de cinco vezes acima do nível crítico para a cultura. Além dos macronutrientes, os teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio aumentam em direção a foz. Como as concentrações são extremamente elevadas, Rheinheimer et al., (2001 e 2003) afirmam que não existe necessidade de aplicação de calcário, por exemplo, nos próximos 15 anos. Portanto, existe a necessidade de planejamento do espaço rural das comunidades familiares e a relação de dependência do pacote tecnológico imposto.

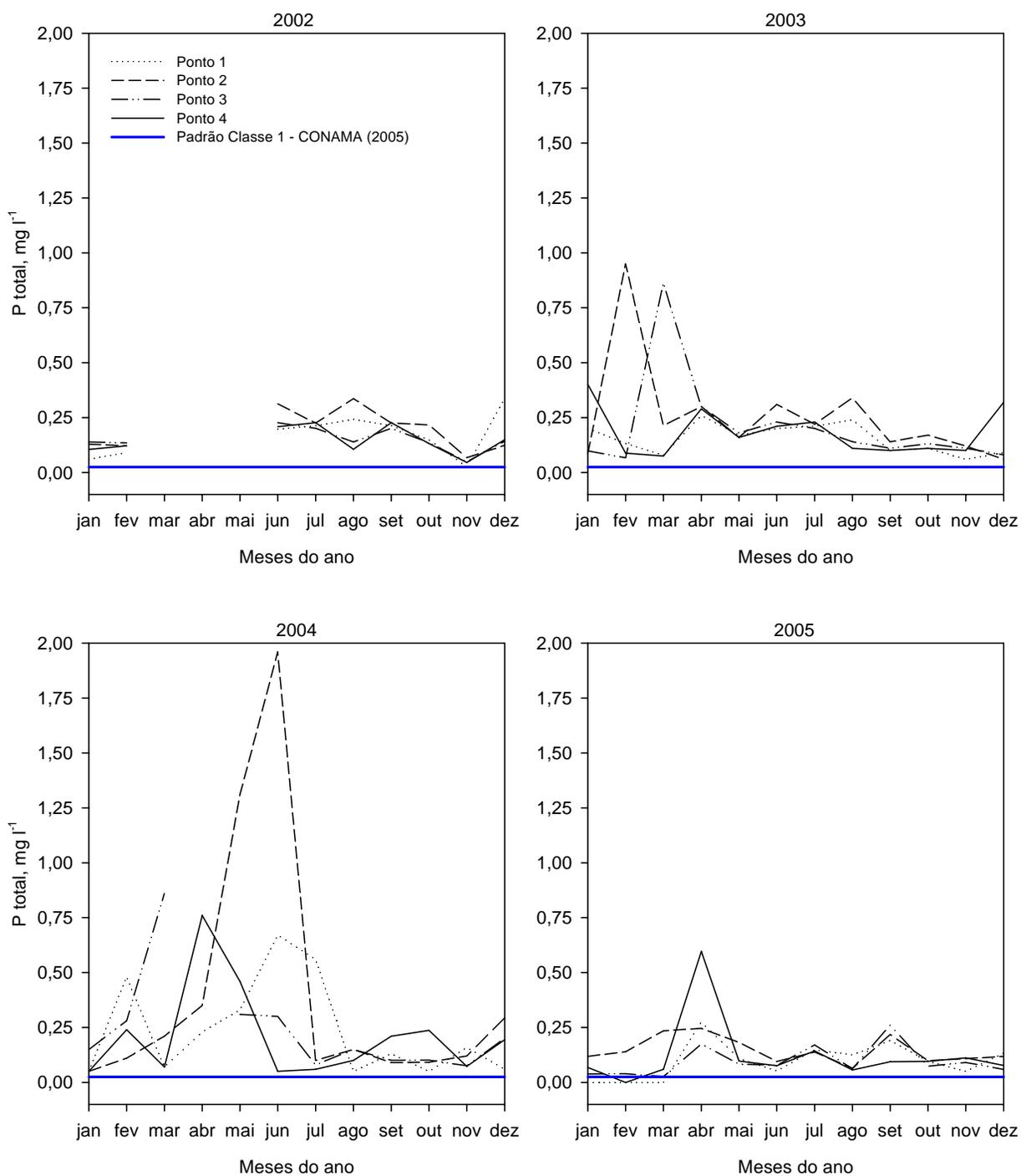


Figura 11. Teores de P-total na água do Arroio Lino nos anos de 2002, 2003, 2004 e 2005.

5.2. Monitoramento da qualidade de água das fontes de consumo humano

5.2.1 Análises microbiológicas

A contaminação da água utilizada para o consumo humano por coliformes totais sempre existiu em todas as amostras (Figura 12), mesmo naquelas fontes com algum tipo de proteção, seja ela uma fonte drenada e protegida ou não. Isto mostra a importância do acompanhamento no momento da construção da proteção, pois se devem tomar determinados cuidados para evitar contaminações. Como se pode observar na Figura 12, a fonte coletiva apresentou uma densidade máxima de coliformes totais em setembro de 2002 (23054 NMP 100 ml⁻¹), a fonte da Dona Adélia também obteve este valor como sendo o máximo, porém em várias outras oportunidades a água de sua fonte possuía quantidades altas de coliformes totais. Nas fontes do Sr. Adair, Sr. Valdecir e da Dona Florentina a máxima contaminação por coliformes totais não foi tão pronunciada quanto às demais, e continha 4922, 3282, 9716 NMP 100 ml⁻¹, respectivamente. A água utilizada pelos agricultores sempre esteve fora do padrão existente na resolução 518/04 do Ministério da Saúde que não admite presença desses microrganismos para o consumo humano (0 NMP 100 ml⁻¹).

A fonte coletiva ao longo dos quatro anos de monitoramento praticamente não teve contaminação por coliformes fecais, apenas em outubro de 2003 e novembro de 2005 se constatou presença desses microrganismos (Figura 13). Por outro lado, as demais fontes apresentaram contaminação que em determinados momentos foram elevadas, como é o caso das fontes do Sr. Valdecir que em duas ocasiões chegou a 327 NMP 100 ml⁻¹ e do Sr. Adair que continha 230 NMP 100 ml⁻¹. Como a portaria 518 do Ministério da Saúde não permite a presença de coliformes fecais em águas de consumo humano pode-se afirmar que apenas em algumas coletas, nas fontes individuais, este índice foi alcançado. A coletiva, por ser uma fonte drenada, apresentou os melhores resultados, se enquadrando durante todo o tempo monitorado na legislação vigente. Cabe ressaltar que a partir de resultados parciais que constatavam a má qualidade da água, o Sr. Adair e o Sr. Valdecir motivaram-se a construir fontes protegidas em novos locais. É evidente que ações como as do RS-Rural são de

extrema importância, pois nota-se que houve melhoria na qualidade da água a partir da intervenção técnica na melhoria das fontes.

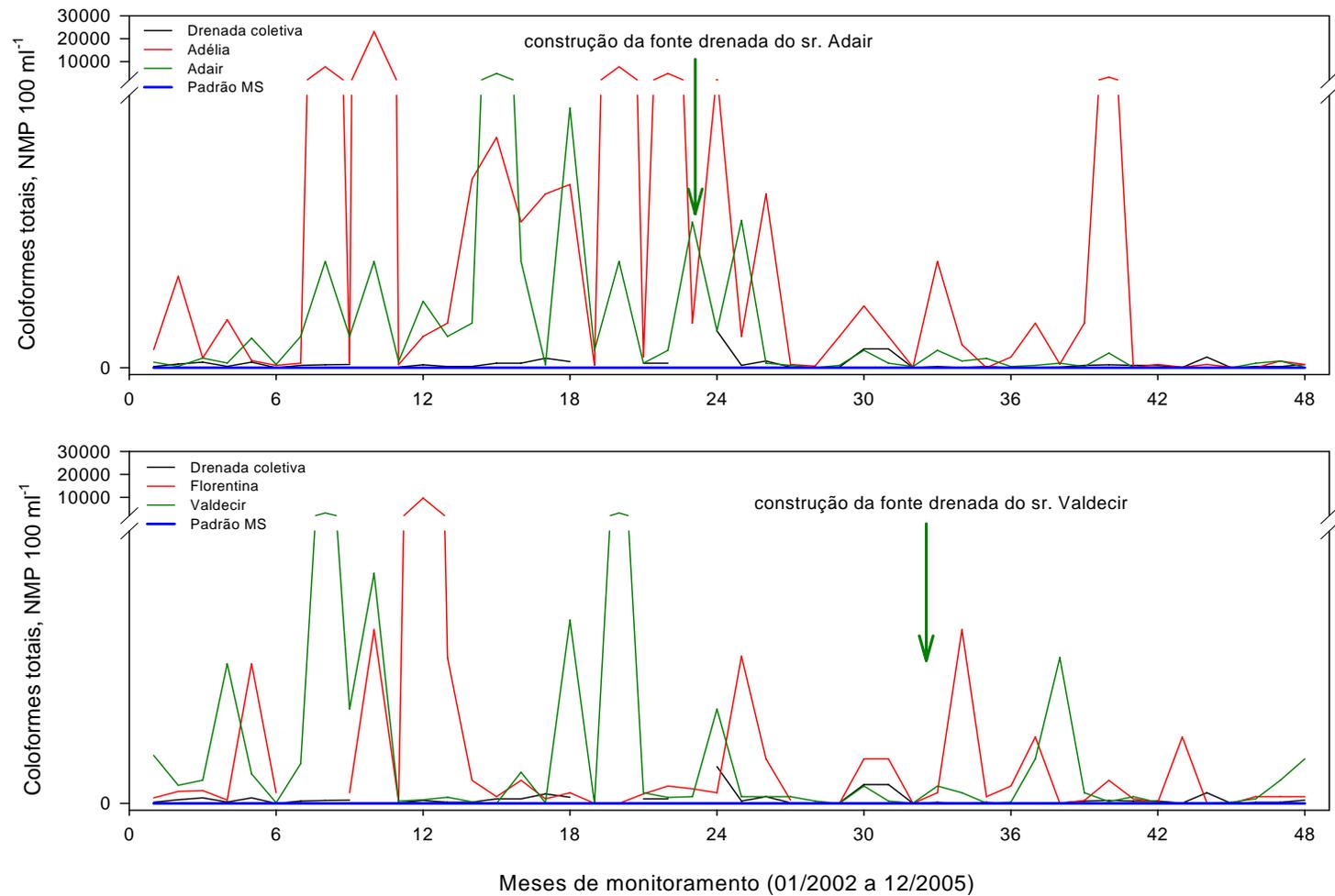


Figura 12. Número Mais Provável de coliformes totais na água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 a 2005).

A localização das fontes, o tipo de proteção física e a época de coleta podem explicar melhor porque existe essa flutuação nos valores de coliformes fecais e totais. As fontes estão localizadas próximo da casa dos agricultores, de lavouras, de pocilgas, do arroio e de estradas. A proximidade das fontes desses focos de contaminação, dependendo de fluxos hídricos, pode causar diferentes tipos de interferência, causando a proliferação de microrganismos (Gonçalves, 2003). Muitas vezes, a proteção física construída pelos agricultores auxilia na diminuição da entrada de contaminantes pelo deflúvio superficial, porém, propicia um maior desenvolvimento de bactérias, uma vez que funcionam como incubadora bacteriológica. A chuva também interfere nas quantidades de microrganismos encontrados na água, pois muito material é carregado para dentro das fontes. Não há uma preocupação por parte dos agricultores com a água consumida, já que até os animais podem se abastecer e sujar o local de abastecimento.

Conforme Gonçalves (2003) relata, os agricultores familiares demonstram interesse em melhorar a qualidade da água de consumo, mas alegam não ter recursos, conhecimento e nem tempo para construção de fontes drenadas. Isto demonstra que a dinâmica das propriedades está exclusivamente voltada para a cultura do fumo e a indústria fumageira, sem a mínima preocupação com o ambiente e a qualidade de vida dos moradores da comunidade. No entanto, não basta que estas condições sejam atingidas sem que haja a participação efetiva de técnicos e órgãos de pesquisa, ensino e extensão em todos os níveis.

Em estudo realizado Barcellos et al. (2006), observou-se que todas as amostras apresentaram número de coliformes fecais acima do padrão de potabilidade pelas normas vigentes (portaria 518/04). Queiroz et al. (2002) demonstram que populações que dependem de fontes alternativas, como poços ou que vivem em áreas rurais, estão expostas a maiores contaminações. Além de não se observar esforços das autoridades em criar, nas zonas rurais, as condições sanitárias, como nas áreas urbanas, há ainda desconhecimento dessas populações sobre a falta de qualidade sanitária da água que consomem sem tratamento e o mito de que águas subterrâneas e sub-superficiais sejam potáveis.

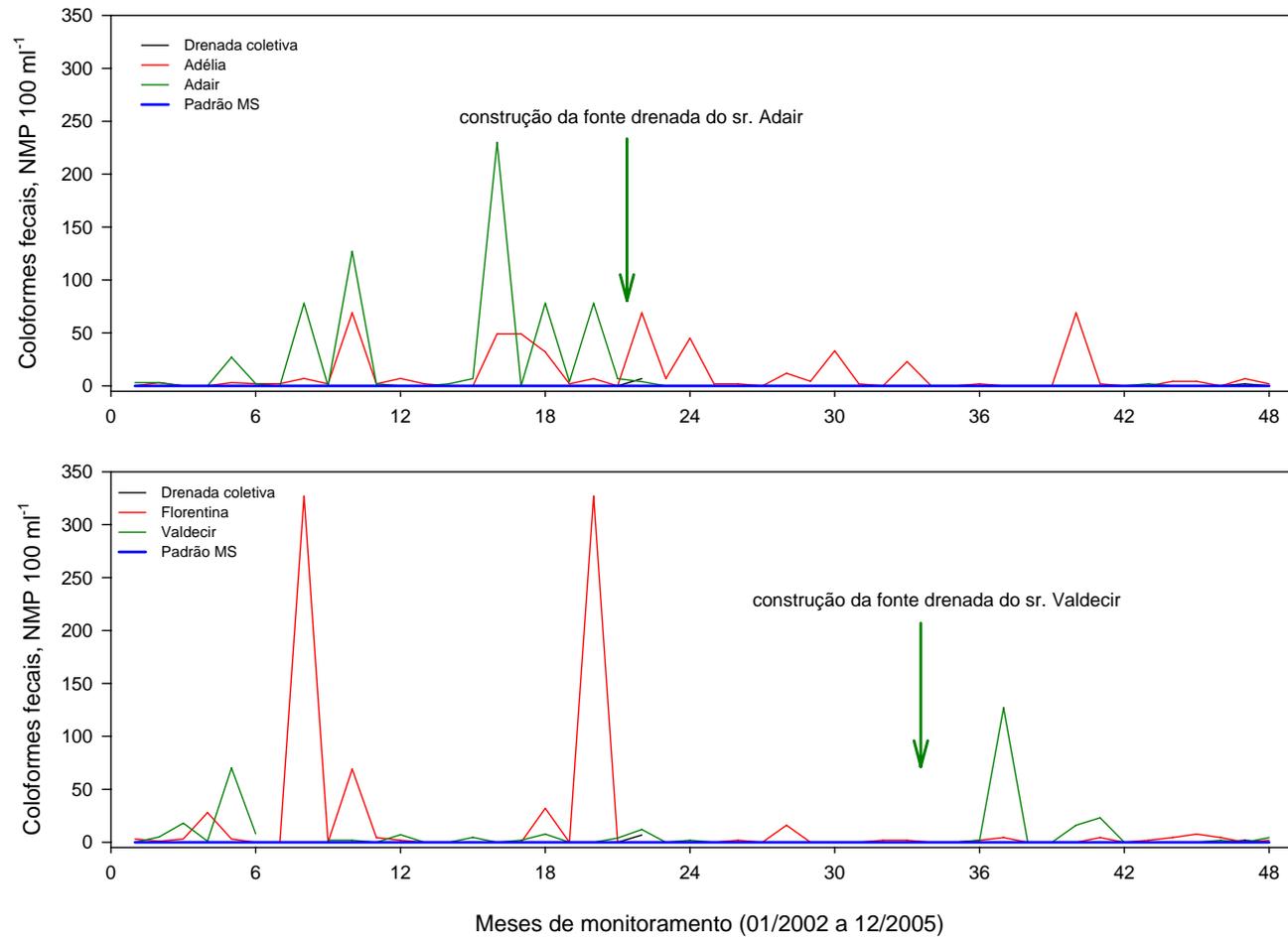


Figura 13. Número Mais Provável de coliformes fecais na de água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 a 2005).

5.2.2 Análises físico-químicas

A portaria 518/04 preconiza $1,5 \text{ mg l}^{-1}$ de N-amônia em águas de consumo. Assim, durante os quatro anos, em três oportunidades a fonte coletiva excedeu o padrão (2,66, 5,25 e $1,95 \text{ mg l}^{-1}$), a fonte do Sr. Adair por duas vezes superou $3,00 \text{ mg l}^{-1}$ da mesma forma que a água do Sr. Valdecir que por três vezes ultrapassou tal índice (Figura 14). A água consumida pela Dona Florentina apresentou os maiores teores de N-amônia justamente quando trocou de vertente, apresentando $6,05 \text{ mg l}^{-1}$ na primeira modificação e $2,13 \text{ mg l}^{-1}$ na segunda.

As fontes que tiveram maiores valores de amônia são aquelas que recebem a água escoada das chuvas e que apresentam elevados teores de material em suspensão, sendo os maiores teores de amônio que está adsorvido as cargas negativas desses colóides (Gonçalves, 2003).

Os teores de nitrato, de acordo com a Figura 15, extrapolaram o limite de 10 mg l^{-1} estabelecido na portaria 518 do Ministério da Saúde, na fonte da Dona Adélia em abril de 2005 ($12,32 \text{ mg l}^{-1}$) e por duas vezes na fonte da Dona Florentina, em maio de 2002 ($15,59 \text{ mg l}^{-1}$) e em outubro de 2002 ($13,60 \text{ mg l}^{-1}$), justamente no segundo mês após a troca de vertente.

O limite de 10 mg l^{-1} de N-NO_3 foi estabelecido a partir de estudos sobre a ocorrência de metemoglobinemia em crianças que consumiam águas de poços, sendo que existem relatos de ocorrência da doença originados pela ingestão de águas com conteúdos de nitrato inferiores a esse valor. Por outro lado, existem estudos que relacionam a ingestão de elevado teor de nitrato com o aumento de certos tipos de câncer, porém mais investigações estão sendo realizadas e os efeitos carcinogênicos dos derivados de nitrogênio ainda não foram considerados no estabelecimento dos limites permissíveis previstos na legislação referente às águas para consumo humano.

De acordo com EMBRAPA (2006), concentrações acima de 5 mg l^{-1} de nitrato podem indicar poluição por fertilizantes usados na agricultura ou dejetos humanos. Segundo alguns autores concentrações acima de $3 \text{ mg de N-NO}_3 \text{ mg l}^{-1}$ são indicativo de contaminação devido a atividades antropogênicas (Alaburda, 1998). Essa mesma

autora analisando 607 poços e fontes de água de consumo humano 64 (10,5%) apresentavam concentrações de nitrato acima desse limite.

Quando o fósforo solúvel foi avaliado percebe-se que a fonte do Sr. Adair é a que possui a maior amplitude de valores, destacando-se o ano de 2002 em que chegou a ter $0,63 \text{ mg l}^{-1}$ por duas ocasiões (Figura 16). Também foram obtidos valores elevados de P-solúvel ao longo dos quatro anos de monitoramento, como exemplo tem-se a fonte coletiva ($0,31 \text{ mg l}^{-1}$), Dona Adélia ($0,46 \text{ mg l}^{-1}$), Dona Florentina ($0,25 \text{ mg l}^{-1}$). Por outro lado a fonte do Sr. Valdecir chama a atenção para os baixos valores encontrados em sua água, tendo como valor máximo $0,17 \text{ mg l}^{-1}$ em março de 2005.

Segundo a Figura 17, a concentração de fósforo total nas fontes é bastante variável sendo que a fonte do Sr. Adair apresenta as maiores concentrações encontradas no monitoramento. No ano de 2002 os teores nesta fonte chegaram a $0,81 \text{ mg l}^{-1}$, e em 2004 o maior valor superou os $1,5 \text{ mg l}^{-1}$ de P-total. As outras fontes também apresentam em algum momento valores elevados e que estão muito ligados as chuvas e o tipo de proteção que há em cada uma delas.

Portanto, como o fósforo é um elemento pouco móvel e é levado junto com sedimentos para as águas, fica claro que a contaminação ocorre no momento de enxurradas ou quando há alguma ação para melhoria da qualidade da água das fontes. Exemplos disso ocorrem quando os agricultores fazem limpeza na área da fonte ou como no caso da fonte drenada coletiva, que pode se afirmar que durante a construção aconteceu contaminação microbiológica e com dejetos e sedimentos que são capazes de liberar fósforo.

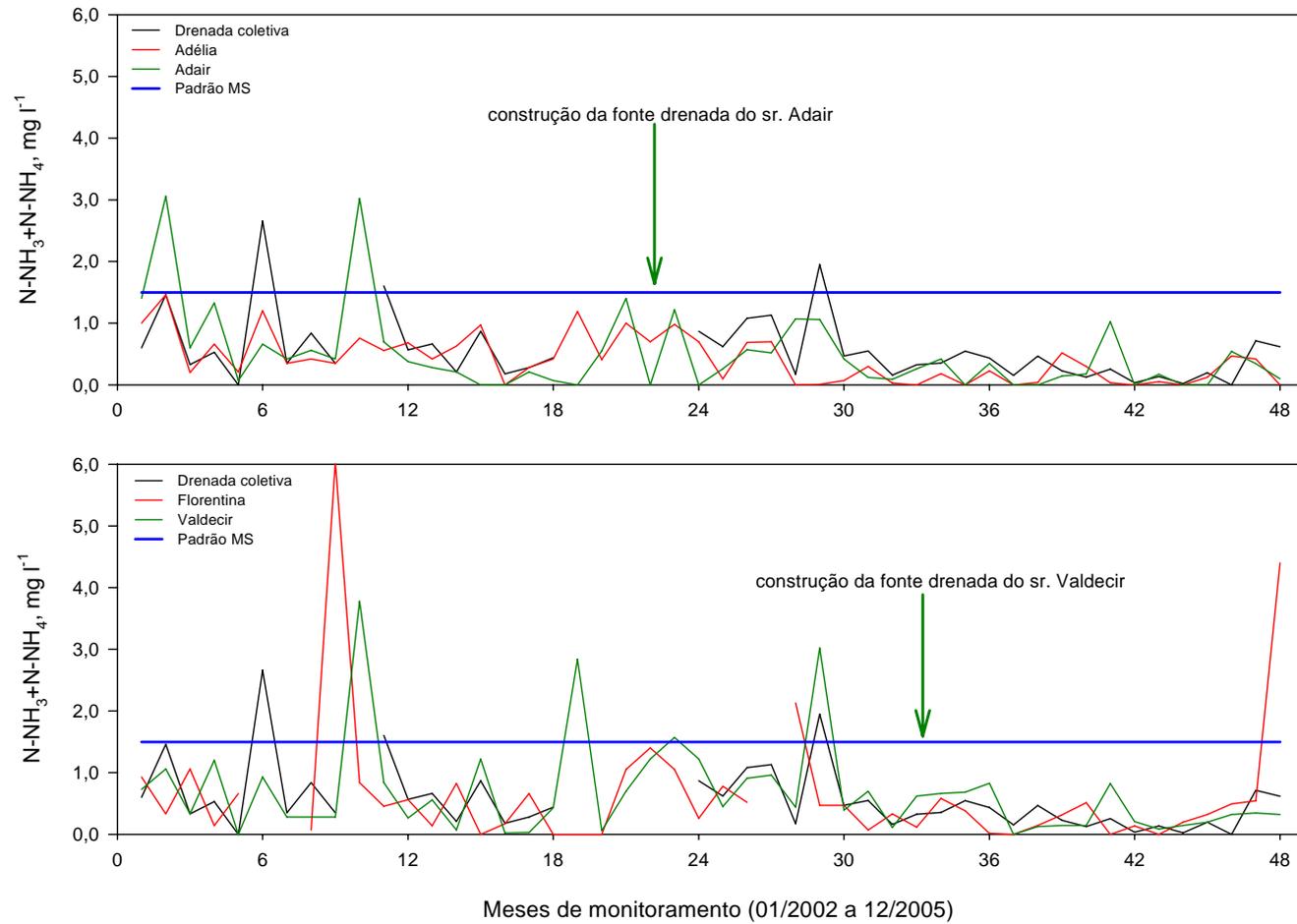


Figura 14. Teores de $\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4$ na água das fontes de consumo nos anos monitorados (2002 a 2005).

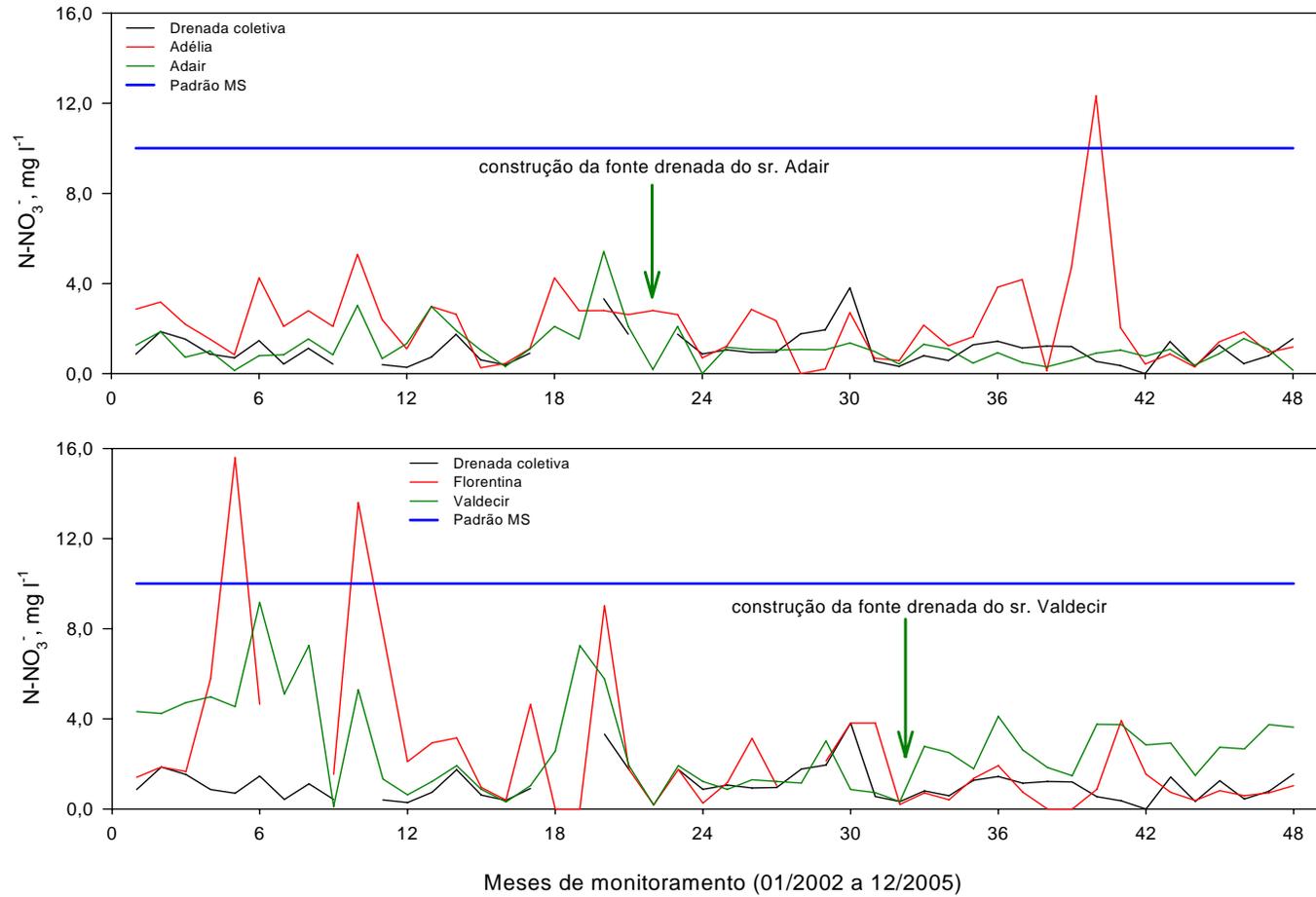


Figura 15. Teores de N-NO_3^- na água das fontes de consumo humano nos anos monitorados (2002 e 2005).

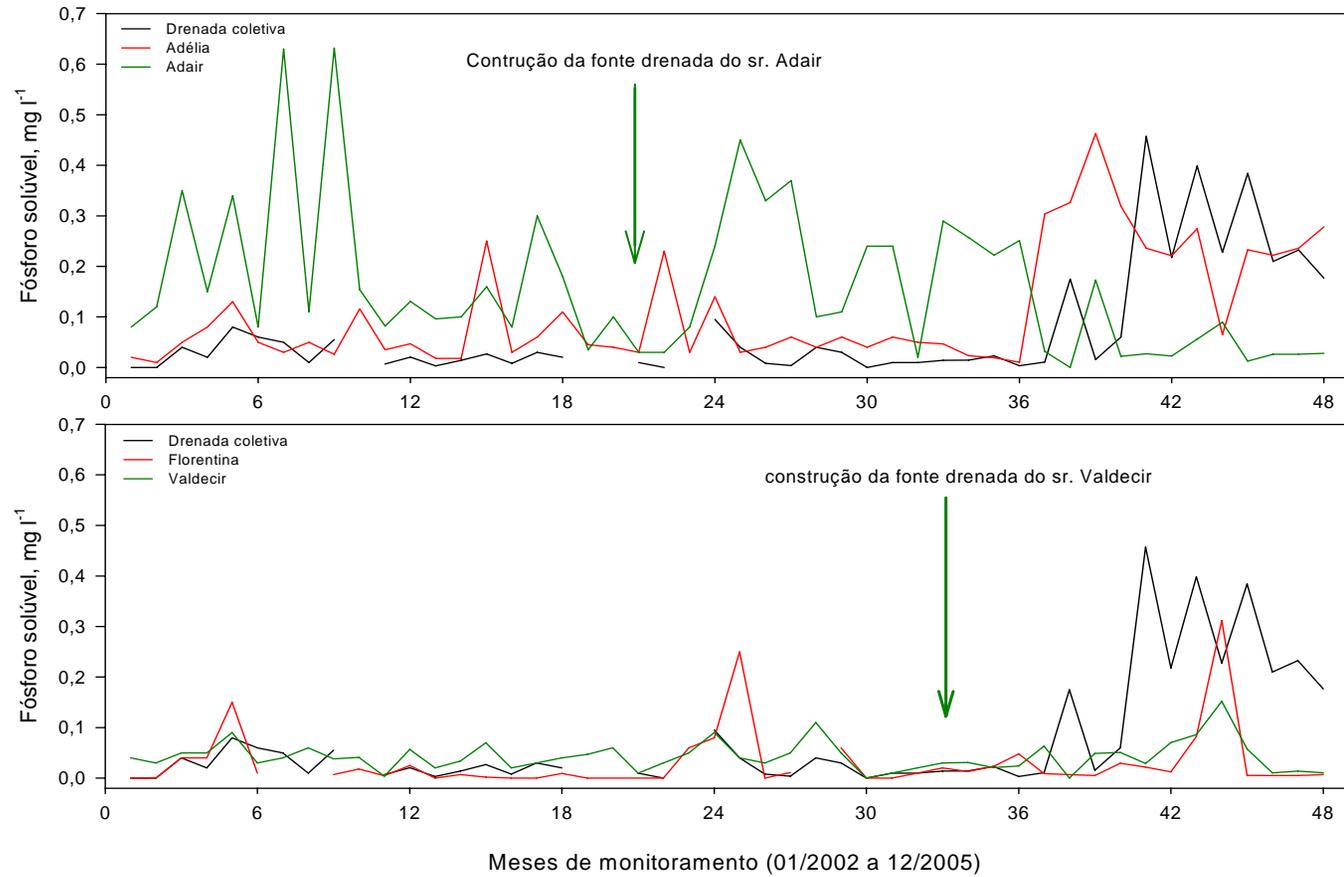


Figura 16. Teores de P-solúvel na água das fontes de consumo nos anos monitorados (2002 a 2005).

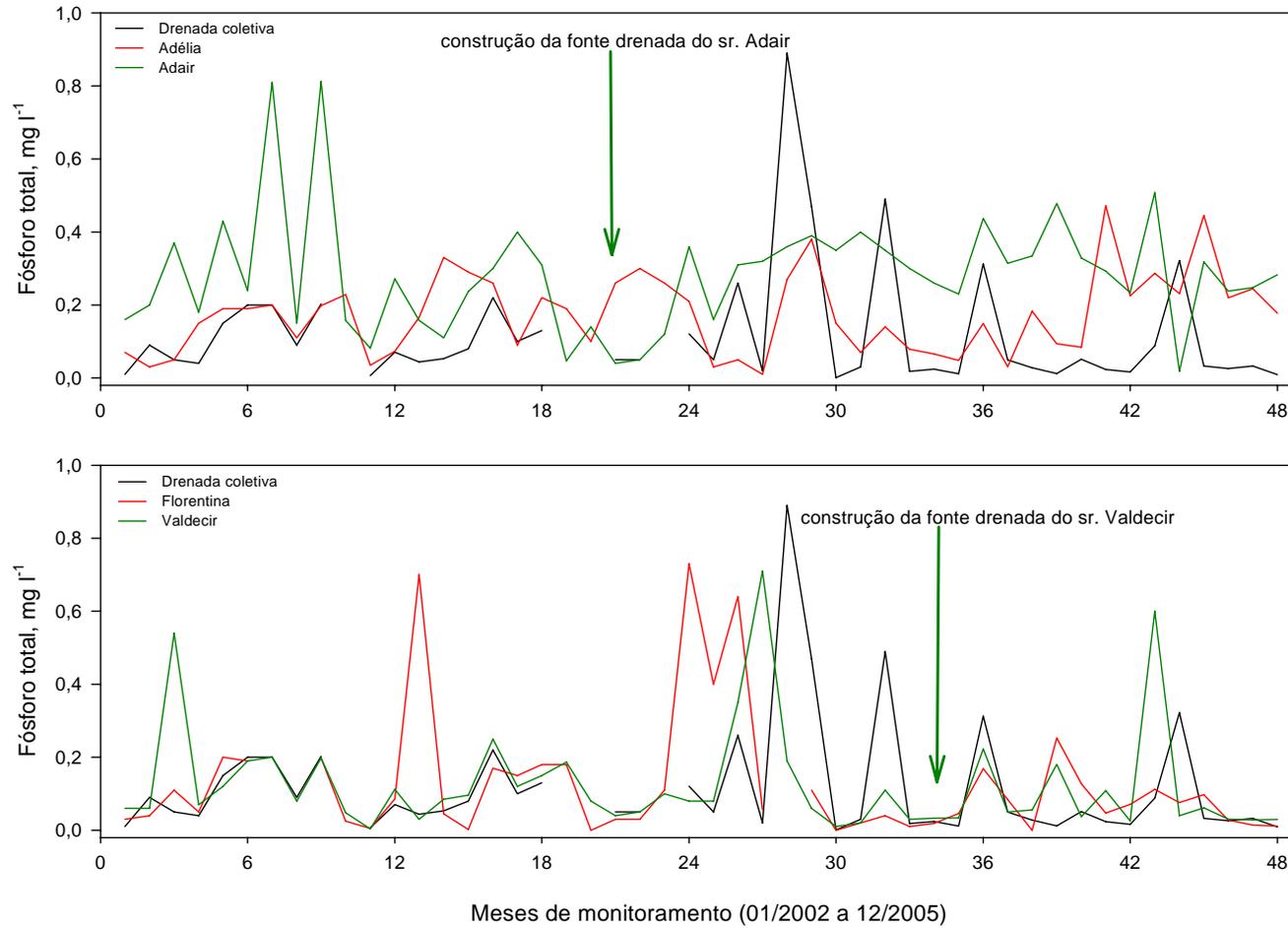


Figura 17. Teores de P-total na água das fontes de consumo nos anos monitorados (2002 a 2005).

5.3 Avaliação da eficiência das estações de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes

5.3.1 Análises microbiológicas

As Tabelas 1 e 2 mostram a carga microbiológica total presente no esgoto bruto e no tratado de ambas as estações. Notadamente, há redução dos coliformes totais, sendo que os valores máximos na entrada do tratamento se situaram em torno de 4922380 e 7812720 NMP 100 ml⁻¹ nas ETEs dos Srs. Ademar Markendorf e Odir Friedrich, respectivamente. Já no efluente tratado estes números ficam bastante reduzidos, tendo como valores mínimos 0 NMP 100 ml⁻¹ na ETE 1 e 2 NMP 100 ml⁻¹ na ETE 2. Conforme os resultados, as reduções médias de coliformes totais foram de 99,6% na ETE 1 e de 98,8% na ETE 2.

A legislação CONSEMA (2006) afirma não poder haver presença de nenhuma bactéria deste grupo para estações de tratamento com vazão menor que 200 m³ d⁻¹. De acordo com a Tabela 1, em apenas seis coletas na estação do Sr. Ademar Markendorf conseguiu-se atingir o limite estabelecido para presença de bactérias coliformes termotolerantes (*E. coli*). A estação instalada na propriedade do Sr. Odir Friedrich que está conforme a legislação em apenas uma das coletas (Tabela 2). Constatou-se que o esgoto na entrada do tratamento teve como valores máximos de coliformes fecais de 2158900 e 1312535 NMP 100 ml⁻¹, respectivamente na ETE 1 e ETE 2. Após o tratamento, os menores valores foram 0 NMP 100 ml⁻¹ em ambas as estações de tratamento, ou seja, o esgoto tratado está em conformidade ao que é exigido pela resolução 128/06 do CONSEMA para lançamento em curso d'água. Contudo, as estações de tratamento de esgotos mostraram redução da carga de contaminação fecal elevada, porém necessitaria de uma estabilidade do declínio desse parâmetro para se enquadrar nos valores preconizados, pois na média a ETE 1 obteve 292 NMP 100 ml⁻¹, enquanto a ETE 2 está média aumentou para 1049 NMP 100 ml⁻¹. Se analisarmos do ponto de vista da redução do potencial poluente, veremos que a estação de tratamento 1 possui em média 99,8% de redução e a outra estação de tratamento (ETE 2) teve 99,6% de redução em sua carga de coliformes fecais. Em ambos os casos, a dispersão

dos dados em relação a média é grande, fazendo com que o desvio padrão seja muito elevado.

A redução dos coliformes fecais nas ETEs por meio de zona de raízes é significativa, chegando a 90–99% de redução. Este fato é comprovado com as percentagens médias de redução nas duas estações de tratamento de esgotos avaliadas neste trabalho. Kaick (2002) obteve 94% de redução do esgoto bruto para o tratado. Da mesma forma, Pareschi (2004) também constatou eficiência de 99,9% na remoção de coliformes fecais. Salati Jr. et al; (1999) citam 99% de remoção de coliformes fecais em ETEs de fluxo superficial em Piracicaba (SP). Porcentagens menores para coliformes fecais (30 a 90%) foram encontradas por Rivera et al. (1995), em áreas alagadas retangulares de fluxo subsuperficial plantados com *Typha* spp. no México. Os autores observaram que a remoção de microrganismos nas ETEs depende de numerosos fatores, com destaque para o substrato, o desenvolvimentos da planta, a maturidade da zona radicular e o fluxo hidráulico. Não se conhece com precisão os mecanismos de remoção de bactérias e vírus em áreas alagadas, mas se sabe que ocorrem pela combinação de processos físicos, químicos e biológicos que incluem a filtração através da zona da raiz e do biofilme formado sobre o meio suporte, a sedimentação, a oxigenação e morte devido a substâncias biocidas excretadas por algumas plantas, por adsorção às partículas de sólidos orgânicos ou não, pela produção de antibióticos por outros microrganismos, pela ação predatória de nematóides e protozoários, pelo efeito lítico e por morte natural (Vicent, 1994). Influenciaram também a temperatura, a radiação solar e as chuvas (Khatiwada e Polprasert, 1999). Estes autores encontraram remoções de coliformes fecais de até 99,98% em leitos com areia e brita cultivados com *Typha* sp..

Segundo Kaick (2002), que aplicou a tecnologia das ETEs por meio de zona de raízes com redução de área de tratamento e uso de plantas nativas, o incentivo de pesquisas para adaptar ao sistema mais um filtro se faz necessário para aumentar a eficiência na remoção principalmente de coliformes. Em sistemas convencionais, quando não se atinge a eficiência almejada em determinados parâmetros, propõe-se sistemas de pós-tratamento, para isso há várias alternativas disponíveis (Presznuk et al, 2002). De acordo com Andreoli (1995) já existem algumas técnicas para remoção de

microrganismos, como: sistemas físico-químicos (cloração, peróxidos, coagulação e flotação por ar dissolvido), processo de ozonização, luz ultravioleta, lagoas de maturação. Porém, esses processos são insustentáveis economicamente e ambientalmente e de difícil aplicação em pequenas comunidades rurais.

Pesquisas realizadas por Pereira et al (1997) demonstram que o carvão vegetal ativado tem alta capacidade como suporte para filtros biológicos. Na Ásia, ao invés de utilizar carvão vegetal de árvores que podem ser utilizadas para outros fins, aproveitam o bambu para produção de carvão e o usam em filtros de água potável e de tratamento de esgotos, pois apresenta alto poder bactericida, além de ser um produto barato.

Tabela 1. Número Mais Provável de coliformes totais e coliformes fecais na entrada e na saída da estação de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Ademar Markendorf (ETE 1), Nova Boemia, Agudo-RS.

Datas de Coleta	Coliformes Totais		Coliformes Fecais	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	-----NMP 100 ml ⁻¹ -----			
03/08/05	1382600	450	271600	0
18/08/05	45264	0	16902	0
01/09/05	49224	107	16902	0
14/09/05	18127	2	32720	2
28/09/05	18127	78	78127	49
13/10/05	1070200	8	49224	2
09/11/05	453200	453	78127	0
30/11/05	328192	780	49224	0
14/12/05	691480	327	169028	12
17/01/06	169028	3282	7797	12
06/04/06	230546	3282	16902	0
19/04/06	4922380	7797	107022	169
04/05/06	328192	488	328192	138
18/05/06	328192	1275	230546	7
22/06/06	2715000	4922	2158900	4922
06/07/06	215900	49	169000	33
20/07/06	781272	27150	781272	107
03/08/06	32750	69	32750	69
17/08/06	78127	169	78127	21
Média	729358	2668	245914	292
Mediana	328192	450	78127	12
Desvio Padrão	1208956	6287	497308	1122
% de remoção	99,6		99,8	

Tabela 2. Número Mais Provável de coliformes totais e coliformes fecais na entrada e na saída das estações de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Odir Friedrich (ETE 2), Nova Boemia, Agudo-RS.

Datas de Coleta	Coliformes Totais		Coliformes Fecais	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	-----NMP 100 ml ⁻¹ -----			
03/08/05	271500	7800	49220	2300
18/08/05	328192	2	23150	0
01/09/05	230546	2716	230546	2716
14/09/05	328192	692	127528	453
28/09/05	328192	488	230546	488
13/10/05	453200	692	453200	327
09/11/05	127528	488	10702	2
30/11/05	230546	10702	230546	327
14/12/05	1690280	107	781272	12
17/01/06	1312532	32720	1312535	692
06/04/06	328192	49224	127528	3282
19/04/06	7812720	16902	452640	3282
04/05/06	78127	1275	23054	107
18/05/06	230546	127528	230546	10
22/06/06	328192	4532	328192	4532
06/07/06	7812700	78	691800	27
20/07/06	230546	1275	127528	1275
03/08/06	27150	488	27150	23
17/08/06	492238	488	69148	78
Média	1191638	13589	290886	1049
Mediana	328192	1275	230546	327
Desvio Padrão	2368454	30498	332712	1426
% de remoção	98,8		99,6	

5.3.2 Análises físico-químicas

Conforme já relatado, os elementos nitrogênio e fósforo são os mais importantes eutrofizantes das águas superficiais, principalmente em regiões onde a agricultura intensiva é praticada e se desenvolve pela utilização de adubações nitrogenadas e fosfatadas. Porém, a contaminação com estes elementos não se dá somente pelo deflúvio superficial que leva os nutrientes das lavouras para os cursos d'água, mas também pelos esgotos domésticos que são ricos nesses dois elementos.

Antes de passar pelo tratamento o maior valor de N-total encontrado na ETE 1 foi de 2003,9 mg l⁻¹ (Tabela 3) e de 1865,5 mg l⁻¹ (Tabela 4) na ETE 2, mostrando o enorme potencial de poluição do efluente doméstico. Por outro lado, nota-se no esgoto tratado uma tendência de aumento dos valores, que pode ser explicado, pois no início da operação o sistema possui maior capacidade de “limpeza” devido às plantas necessitarem de nitrogênio para o seu desenvolvimento, bem como os microrganismos que o utilizam como acceptor final de elétrons nas condições anaeróbias e na produção de novas organelas, células e organismos. Zhu e Sikora (1995) associam a remoção de N-amoniaco à biomassa radicular: quanto maior a raiz, maior a absorção de N pelo vegetal. Assim, a média na entrada na ETE 1 foi de 523,2 mg l⁻¹ e na saída foi de 102,5 mg l⁻¹, o que representa aproximadamente 5 vezes menos N em relação a maior entrada.

Muito semelhante é o comportamento da ETE 2 onde em seis amostras os valores ultrapassaram os 1000 mg l⁻¹ (Tabela 4). Esses valores, extremamente elevados na entrada das duas ETEs, podem ser explicados pelo fato de que em algumas coletas a ETE esteve parcialmente entupida, fazendo com que a concentração de material e sedimentos orgânicos fosse elevada no local de recolhimento das amostras, afetando a quantificação dos teores. Na ETE 2 o menor valor de N-total na saída da ETE ficou em 110,4 mg l⁻¹ e se comparado com os maiores valores de entrada pode-se afirmar que é cerca de 10 vezes menor. Assim, ao analisarmos as médias de redução de N-total podemos ver que na entrada o valor é de 713,9 e na saída é de 185,0 mg l⁻¹, o que mostra o potencial de redução elevado da ETE.

De acordo com a Resolução N° 128/2006 do CONSEMA, quando o lançamento for com vazão menor que $100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, e é este o caso, o padrão para emissão de nitrogênio total é de 20 mg l^{-1} . Dessa forma, as duas estações de tratamento de esgoto nunca conseguiram reduzir os teores a este preconizado pelo CONSEMA (2006), ainda que exista um elevado percentual de remoção, na faixa de 80,4% na ETE 1 e de 74,1% na ETE 2. Outros pesquisadores também encontraram valores de remoção próximos, como é o caso de Nogueira (2003) que conseguiu remoção de 72%, assim como Pareschi (2004) avaliando em dois períodos obteve eficiências entre 75 e 85%. Em estudo realizado por Ceballos et al. (2000) as percentagens de remoção de N-amoniaco foram crescentes ao longo do tempo, variando desde 54,4 a 72,2% nos primeiros meses e até 100% no quarto. Entretanto, Kaick (2002) em seu trabalho relata ter alcançado apenas 22,23% de remoção de N-total.

Da mesma forma que o nitrogênio, o fósforo representa um enorme potencial de poluição dos mananciais de água, resultando de sua entrada no meio aquático a eutroficação, ou seja, o desenvolvimento descontrolado de algas e microrganismos que consomem o oxigênio dissolvido na água afetando a vida dos demais seres vivos que se utilizam das águas. Os esgotos domésticos são grandes fontes de P, pois são constituídos de restos orgânicos e grandes quantidades de sabões, desde os industrializados até os caseiros, os quais possuem em sua constituição gordura lipoprotéica necessária para o processo de saponificação.

Assim, foram encontrados valores máximos na entrada da ETE 1 e da ETE 2 na ordem de 210,3 e 241,0 mg l^{-1} , respectivamente, conforme apresentado nas Tabelas 17 e 18. Da mesma maneira, os menores valores foram de 2,0 mg l^{-1} na ETE 1, enquanto que na ETE 2 ficou em 2,5 mg l^{-1} . Se analisarmos os valores médios de P na entrada, veremos que na estação 1 foi de 72,8 mg l^{-1} e na estação 2 foi de 91,0 mg l^{-1} . Já na saída as médias caem para 6,5 e 8,7 mg l^{-1} , respectivamente na ETE 1 e na ETE 2. Deste modo, a remoção de fósforo na estação de tratamento instalada na propriedade do Sr. Ademar Markendorf apresentou 91,1%, enquanto que na estação do Sr. Odir Friedrich a retirada foi em torno de 90,4%.

Tabela 3. Nitrogênio total e fósforo total na entrada e na saída da estação de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Ademar Markendorf (ETE 1), Nova Boemia, Agudo-RS.

Datas de coleta	N total		P total	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	-----mg l ⁻¹ -----			
03/08/05	1101,7	24,7	183,1	2,5
18/08/05	131,8	22,6	19,4	3,5
01/09/05	246,8	30,2	30,7	5,3
14/09/05	177,8	70,6	19,8	2,0
28/09/05	793,6	72,6	87,7	3,3
13/10/05	523,1	46,2	77,0	5,7
09/11/05	1092,8	105,6	152,6	7,8
30/11/05	693,0	99,6	93,4	6,9
14/12/05	2003,9	94,2	210,3	10,0
17/01/06	654,1	82,5	129,0	6,9
06/04/06	408,9	164,2	67,7	2,5
19/04/06	185,2	122,5	33,5	2,5
04/05/06	272,4	131,0	31,6	5,3
18/05/06	211,4	181,4	31,6	10,9
22/06/06	289,0	172,4	41,7	10,3
06/07/06	287,6	149,8	49,7	9,9
20/07/06	502,3	167,5	52,4	8,9
03/08/06	297,1	85,1	46,2	10,2
17/08/06	183,6	125,3	27,0	9,8
Média	523,2	102,5	72,8	6,5
Mediana	297,1	99,6	49,7	6,9
Desvio Padrão	464,5	50,9	56,9	3,1
% de remoção	80,4		91,1	

Tabela 4. Nitrogênio total e fósforo total na entrada e na saída da estação de tratamento de esgotos na propriedade do Sr. Odir Friedrich (ETE 2), Nova Boemia, Agudo-RS.

Datas de Coleta	N total		P total	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	-----mg l ⁻¹ -----			
03/08/05	217,3	123,1	30,7	7,4
18/08/05	378,4	110,4	106,9	10,0
01/09/05	341,8	110,6	168,6	10,5
14/09/05	1089,2	159,3	118,1	2,5
28/09/05	335,2	183,6	30,1	5,6
13/10/05	1406,8	171,9	171,3	3,2
09/11/05	1865,5	196,2	241,0	7,7
30/11/05	1014,7	186,5	129,7	3,5
14/12/05	1587,9	164,5	134,8	8,8
17/01/06	565,8	153,2	97,3	8,6
06/04/06	382,4	205,8	44,5	13,4
19/04/06	414,9	217,0	41,0	21,8
04/05/06	446,4	143,4	45,9	13,4
18/05/06	306,8	217,6	32,1	12,0
22/06/06	318,2	232,5	34,4	3,8
06/07/06	410,4	254,0	34,3	13,0
20/07/06	872,4	230,2	104,8	4,3
03/08/06	400,5	233,5	50,4	8,4
17/08/06	1210,9	223,3	114,5	7,9
Média	713,9	185,0	91,0	8,7
Mediana	414,9	186,5	97,3	8,4
Desvio Padrão	501,1	43,7	60,4	4,7
% de remoção	74,1		90,4	

Segundo Nogueira (2003), o sistema estudado por ela gerou um decréscimo de 60% nos teores de P-total. Valentin (1999) obteve diferentes valores de remoção utilizando diferentes plantas, sendo que a de maior potencial motivou remoção de cerca de 48%. Portanto, as estimativas de redução observadas por estes autores fica bem abaixo daquelas encontradas nas ETEs de Agudo.

O CONSEMA, em sua regulamentação para lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, utiliza como padrão para fósforo o limite de 4 mg l^{-1} para uma vazão menor que $100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Então, durante o tempo em que as estações foram avaliadas 13 amostras da ETE 1 estiveram acima do permitido. Na ETE 2 em quinze amostras os teores foram acima daqueles exigidos e cabe lembrar que foram efetuadas 19 coletas. Apesar de não se enquadrarem na legislação, as estações apresentam potencial elevado de remoção de P, necessitando estudos para aperfeiçoar a retirada deste elemento e diminuir o potencial poluidor dos esgotos ricos em fósforo.

5.3.3 Indicadores de Matéria Orgânica

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é uma medida da quantidade de oxigênio consumido por microrganismos na decomposição da matéria orgânica presente na água. A velocidade de consumo de oxigênio na água está sujeita as alterações dependentes de temperatura, pH e do tipo de material orgânico ou inorgânico presente na água. A DBO afeta diretamente o nível de oxigênio dissolvido na água: quanto maior for, mais rapidamente o oxigênio desaparecerá do sistema, significando que uma menor quantidade de oxigênio está disponível para os organismos aquáticos. Em sistemas aquáticos não poluídos os valores de DBO chegam até $2,0 \text{ mg l}^{-1}$, enquanto aqueles sujeitos a descargas de efluentes podem apresentar valores superiores a $10,0 \text{ mg l}^{-1}$. Em esgotos não tratados, a DBO ultrapassa 600 mg l^{-1} e, no tratado os valores ficam entre 20 e 100 mg l^{-1} .

Na Tabela 5, observando os valores de DBO na entrada da estação de tratamento, constata-se que sempre esteve acima de 600 mg l^{-1} , salvo em duas coletas em que ficou abaixo desse número. Assim, o intervalo de valores na entrada da ETE 1

ficou entre 652 e 23.662 mg l⁻¹. Já na ETE 2, também na entrada, obtiveram-se valores em meio a 465 e 12.336 mg l⁻¹. Tais valores são em alguns momentos muito elevados, entretanto, após a passagem do efluente pelo tratamento há grande redução da carga orgânica, como se pode notar nos valores de saída. Observam-se valores entre 1 e 107 mg l⁻¹ e 37 e 298 mg l⁻¹ (Tabela 5), respectivamente nas ETEs dos Srs. Ademar Markendorf e Odir Friedrich. Ou seja, os índices foram reduzidos de maneira satisfatória e nunca ficaram acima dos índices preconizados pelo CONSEMA (2006) para lançamento de esgotos, que fica próximo de 180 mg l⁻¹ para uma faixa de vazão menor que 20 m³ d⁻¹.

Outro fato importante a ser ressaltado é o do desvio padrão dos dados, que nas duas estações avaliadas aparecem com valores elevados, 6154 e 3171 mg l⁻¹, respectivamente na ETE 1 e 2, mostrando um alto grau de dispersão dos dados numéricos em torno do valor médio. A mediana é uma medida de tendência central, um número que caracteriza as informações de tal forma que este número separa a metade inferior das amostras da metade superior e é utilizada quando se tem dados muito heterogêneos. Neste caso, na ETE 1 a mediana da entrada foi de 2141 mg l⁻¹, ficando muito semelhante à ETE 2 onde a mediana foi de 2728 mg l⁻¹. Da mesma forma, no esgoto tratado os valores da mediana ficaram próximos, 34 na ETE 1 e 42 mg l⁻¹ na ETE 2.

Durante o período de avaliação o sistema de tratamento mostrou-se ser eficiente, pois na ETE 1 a média de DBO na entrada foi de 4620 mg l⁻¹ e na saída foi de 40 mg l⁻¹, apresentando uma remoção de 99,1%. Na ETE 2 as médias na entrada e na saída foram de 3580 e 46 mg l⁻¹, respectivamente, perfazendo uma remoção de 98,7%. Tais valores percentuais de remoção são maiores que os encontrados por Kaick (2002), Costa (2003) e Pareschi (2004), respectivamente, 83,9, 88% e 86%, fazendo-se notar a função da rizosfera juntamente com o leito (brita e areia) e o biofilme microbiano, na retenção de matéria orgânica. Resultados similares foram também encontrados por Roston (1993), quando conclui que um sistema simples, constituído por leitos de plantas aquáticas (macrófitas), pode apresentar uma eficiência de 90% na remoção da DBO.

Quando tais valores na saída das estações de tratamento são comparados ao padrão estabelecido pelo CONAMA (2005) para águas Classe 1, que é de 3 mg l⁻¹, observa-se que em apenas uma amostra, de ambas as estações, se conseguiu atingir o padrão desejado. Porém, na média das avaliações a redução de DBO ficou abaixo da expectativa, talvez pela característica do material e elevada carga orgânica existente nos esgotos domésticos.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessário para oxidação da matéria oxidável através de um agente químico. Este parâmetro nos permite conhecer a quantidade total de oxigênio que pode ser consumido pelos microrganismos.

Da mesma forma que a DBO, este parâmetro mostrou uma amplitude de valores grande, variando de 877 a 61846 e 119 a 58333 mg l⁻¹ (Tabela 6), respectivamente na entrada das estações de tratamento na propriedade dos agricultores Ademar e Odir. Entretanto, depois que o esgoto sai do tratamento os valores decrescem de maneira consistente apresentando valores mínimos em torno de 85 (ETE 1) e 23 mg l⁻¹ (ETE 2). Assim, as médias de DQO na entrada foram de 16064 e 9478 mg l⁻¹, respectivamente nas ETES 1 e 2. Na saída os valores médios foram de 180 na ETE 1 e de 133 mg l⁻¹ na estação de tratamento 2. Percebe-se novamente que os dados por serem muito dispersos elevam o valor do desvio padrão tanto da entrada quanto da saída das ETES. Seguindo esta lógica, as médias também possuem um significado que pode ser contestado, pois valores elevados ou diminutos fazem com que a média cresça ou decresça bruscamente. Contudo, utilizando as médias pode-se afirmar que há uma remoção de cerca de 98,9% na primeira estação de tratamento de esgoto e de 98,7% na segunda estação. Estes percentuais de remoção são maiores que os encontrados por Kaick (2002), Mazzola (2003) e Pareschi (2004), que obtiveram, respectivamente, 81,6, 77,86 e 86% de redução nos níveis de DQO em suas avaliações. Brasil et al (2005) encontraram em seus estudos uma remoção entre 87 e 90%. Estes resultados de eficiência de remoção de matéria orgânica são considerados satisfatórios, ficando superiores aos 57% encontrados por Valentim (2003) que tratou efluentes de tanque séptico em sistemas alagados construídos cultivados com *Typha sp.*, com tempo

retenção hidráulica de 2 dias, e semelhantes aos obtidos por Rivera et al. (1997), que obtiveram remoção média de 87,4% sob retenção de 1,7 dias.

O CONSEMA (2006) fixa como padrão para lançamentos de esgotos, com faixa de vazão menor que $20 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, em 400 mg l^{-1} . Assim, é evidente a eficiência na redução de DQO que o sistema propicia, pois em todas as coletas os valores na saída ficaram abaixo daqueles fixado pela resolução 128/06 do CONSEMA.

Ainda, ao longo do tempo da avaliação constatou-se que existe a necessidade de conscientização dos agricultores para que o sistema funcione de acordo com o preconizado, que é a redução dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e da matéria orgânica, para posterior lançamento no ambiente. Para isso, há obrigação de controle dos resíduos (restos de alimentos, cabelos, e outras matérias não orgânicas) que são incorporados às águas residuárias provenientes da limpeza doméstica e assim se evite problemas de entupimento que prejudicam o funcionamento das ETEs. Portanto, os agricultores devem estar cientes de que suas ações refletem-se na microbacia, prejudicando a comunidade como um todo.

Tabela 5. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na entrada e na saída das estações de tratamento de esgotos nas propriedades dos Srs. Ademar Markendorf (ETE 1) e Odir Friedrich (ETE 2), Nova Boemia, Agudo-RS.

Datas de Coleta	ETE 1		ETE 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	----- DBO mg l ⁻¹ -----			
03/08/05	-	24	465	44
18/08/05	703	15	631	98
01/09/05	652	107	5122	91
14/09/05	867	26	5050	42
28/09/05	6978	34	517	31
13/10/05	2175	41	3917	13
09/11/05	11569	34	1956	16
30/11/05	3182	74	2976	94
14/12/05	23662	46	6196	47
17/01/06	14687	92	7878	70
06/04/06	2107	25	2284	59
19/04/06	3304	44	2728	31
04/05/06	835	24	1262	34
18/05/06	1139	15	501	4
22/06/06	2921	75	1742	88
06/07/06	1402	40	7757	46
20/07/06	862	24	12336	33
03/08/06	4800	1	3480	6
17/08/06	1320	21	1230	28
Média	4620	40	3580	46
Mediana	2141	34	2728	42
Desvio Padrão	6154	28	3171	30
% de remoção	99,1		98,7	

(-) Não foi possível realizar a análise.

Tabela 6. Demanda Química de Oxigênio (DQO) na entrada e na saída das estações de tratamento de esgotos nas propriedades dos Srs. Ademar Markendorf (ETE 1) e. Odir Friedrich (ETE 2) Nova Boemia, Agudo-RS.

Data de coleta	ETE 1		ETE 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	-----DQO mg l ⁻¹ -----			
03/08/05	1250	215	-	73
18/08/05	8157	155	1907	85
01/09/05	21462	198	2182	75
14/09/05	26341	107	2256	98
28/09/05	877	101	13596	298
13/10/05	29358	115	6651	128
09/11/05	28906	172	40625	23
30/11/05	11831	99	7512	117
14/12/05	6944	116	58333	144
17/01/06	2679	94	25893	98
06/04/06	8915	221	3101	143
19/04/06	1516	280	3411	270
04/05/06	3181	285	3332	245
18/05/06	580	85	1640	37
22/06/06	541	227	2254	177
06/07/06	31290	277	119	53
20/07/06	61846	309	2423	268
03/08/06	51402	173	3271	56
17/08/06	8133	185	1581	145
Média	16064	180	10005	133
Mediana	8157	173	3186	117
Desvio Padrão	17979	73	15867	83
% de remoção	98,9		98,7	

(-) Não foi possível realizar a leitura.

6 CONCLUSÕES

1. As águas do Arroio Lino, Nova Boêmia em Agudo – RS estão comprometidas quanto a sua qualidade por apresentarem altas concentrações de nitrogênio amoniacal e fósforo total, enquadrando-se na classe 3 do CONAMA.
2. As águas das fontes utilizadas para o consumo humano da microbacia hidrográfica do Arroio Lino sempre se mantêm fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, principalmente pela presença de coliformes totais.
3. As águas das fontes utilizadas para o consumo humano têm suas características microbiológicas e físico-químicas melhoradas quando as fontes são bem construídas e adotadas medidas simples de drenagem e limpeza.
4. As estações de tratamento de esgotos por meio de zonas de raízes são eficientes na redução dos poluentes microbiológicos, físico-químicos e matéria orgânica, apesar de que para determinados parâmetros não terem atingido os limites impostos pelo CONSEMA.
5. O tratamento de esgotos por meio de zonas de raízes é uma alternativa viável para redução da poluição hídrica do meio rural visto que se trata de tecnologia barata e de simples adoção, podendo ser denominada como uma tecnologia social.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudar e escrever sobre a problemática da água é um tema desafiador, pois muitos são os dados sobre volume, distribuição e qualidade de águas, porém quando o assunto é a poluição e a contaminação dos mananciais de água potável, talvez por envolver interesses econômicos dos mais variados tipos, os dados além de escassos são duvidosos.

Produzir a qualquer custo tem sido a regra; pilhar e acumular riquezas sem o mínimo de preocupação com os impactos ambientais é o que alicerça a sociedade industrial e de consumo. O que veremos em breve é a mercantilização das águas, excluindo ainda mais pessoas do consumo de água potável de qualidade, restando-lhes tomar e consumir águas contaminadas e poluídas, que certamente farão aumentar sistematicamente os problemas de saúde pública.

É fundamental que os processos produtivos na agropecuária (familiar e patronal) brasileira e mundial sejam revistos, e que passem de insustentáveis a suportáveis do ponto de vista ecológico-ambiental, social e econômico. Conforme Milton Santos afirma, isto é possível, uma vez que a globalização atual não é irreversível, mas sim, possível de construir um outro mundo mais humano, basta criar duas grandes mutações que estão sendo desenvolvidas: a mutação tecnológica e a mutação filosófica da espécie humana.

A mutação tecnológica ocorrerá no momento em que técnicas de informação forem utilizadas democraticamente a serviço do homem e não dos grandes capitais, enquanto que a mutação filosófica do homem dará condições para que seja capaz de atribuir um novo sentido à existência de cada pessoa e ao próprio planeta, para assim caminharmos na perspectiva da construção de sustentabilidade.

8 BIBLIOGRAFIA

ALABURDA, J. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**. v 32, n 2, p. 160-5, 1998.

ANDREOLI, C.V. et al. Efetividade da avaliação de impacto ambiental no Brasil na área de saneamento. **SANARE**, v. 3, n. 3, p. 31-38, 1995.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed., Washington D.C. /USA, American Public Health Association, 1995.

BARCELLOS, C.M. et al. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 9, 1967-1978, 2006.

BORTOLUZZI, E.C. et al. Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.881-887, 2006.

BRAILE, P.M. **Despejos industriais**. São Paulo: Livraria Freitas Bastos, 1971. 231 p.

BRASIL, M.S. et al. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de esgotos domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.133-137, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. 23 p.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518 de 25 de março de 2004**. Brasília, 2004. 34 p.

CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

CEBALLOS, B.S.O. et al. Desempenho de um leito cultivado na melhoria da qualidade de um córrego poluído destinado a irrigação. In: Anais CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre, ABES, 2000.

COSTA, M.A.G., COSTA, E.C. Poluição das águas. In: _____ **Poluição ambiental: herança para gerações futuras**. Santa Maria, 2004. Editora Orium 256 p.

COSTA, L. de L. et al. Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colíforos e bacteriófagos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 3, n. 1. 2003.

DALMOLIM, R.S.D. **Relatório técnico**: mapa semidetalhado da microbacia do Arroio Lino, Agudo, RS. 2003. 80 p.

DIERBERG, F.E.; BREZONIK, P.L. Nitrogen and phosphorus mass balance in a cypress dome receiving wastewater. In: Ewel, K.C. and Odum, H.T. **Cypress Swamps**. Gainesville: University of Florida Press, 1984. p 112-18.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Aves e Suínos. **Manejo de dejetos de suínos**. Concórdia, 1998. 31 p. (Boletim Informativo de Pesquisa, 11).

_____. **Indicadores de qualidade de água**. Disponível em <www.embrapa.com.br>. Acesso em 18 de dezembro de 2006.

_____. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

GONÇALVES, C.S. **Qualidade de águas superficiais na microbacia hidrográfica do arroio Lino Nova Boêmia - Agudo - RS**. 2003, 114 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

KADLEC R.H.; KNIGHT, R.L. **Treatment Wetlands**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1996. 893 p.

KAICK, T.S.V. **Estação de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná**. 2002, 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Centro Federal de educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

KHATIWADA, N.R.; POLPRESERT, C. Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands. **Water Science and Technology**, v 40, n. 3, p 109-116, 1999.

LAUTENCHLAGER, S.R. **Modelagem de desempenho de Wetlands construídas**. 2001, 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MACHADO, S.L.O. **Sistemas de estabelecimento do arroz irrigado, consumo de água, perda de nutrientes, persistência de herbicidas na água e efeitos no jundiá**. 2003. 154 f Tese (Doutorado em Agronomia). – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MAZZOLA, M. **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado**. 2003, 113 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). FEAGRI - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

MERTEN, G.H., MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v.3, n.4, p.33-38, 2002.

MITSCH, W.J.; GOSELINK, J.G. **Wetlands**. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1986. 539 p.

MURPHY, J., RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytical Chemistry Acta**, Amsterdam, v.27, n.1, p.31-36, 1962.

OLIVEIRA, M.D. de. et al **Qualidade da água em corpos d'água urbanos das cidades de Corumbá e Ladário e no Rio Paraguai, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. (Circular Técnica n. 36).

NOGUEIRA, S.F.; **Balço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para tratamento de esgotos**. 2003, 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

PALMA-SILVA, G.M. **Diagnóstico ambiental, qualidade da água e índice de depuração do Rio Corumbataí - SP**. 1999. 155 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Integrado de Recursos) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

PARESCHI, D.C. **Caracterização da fauna rotífera em área alagada construída para tratamento de esgoto doméstico – Piracicaba (SP)**. 2004, 180 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

PELLEGRINI, A. **Sistemas de cultivo da cultura do fumo com ênfase às práticas de manejo e conservação do solo**. 2006, 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PELLEGRINI, J.B.R. **Dinâmica do fósforo na água e no sedimento em uma microbacia hidrográfica**. 2005, 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PEREIRA, J.A.R. ; CAMPOS, J.R.; GIANOTTI, E.P.; MENDONÇA, N.M. Aderência de microrganismos em partículas de carvão ativado utilizadas no tratamento de esgoto sanitário. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 29,1997, Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu, 1997.

PRESZNHUK, R.A.O.; CASAGRANDE, E.F.; KAICK, T.S.V. Análise da eficiência da espécie *Crinum salsum* utilizada em uma estação de tratamento de esgoto por meio de

zona de raízes. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 7, 2002 Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2002.

QUEIROZ, M.F. et al A qualidade da água de consumo humano e as doenças diarréicas agudas no Município do Cabo de Santo Agostinho, PE. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. n. 426 ; Suplemento Especial.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Eds). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Ed., 1999. 807 p.

REICHERT, J.M. (Ed) **Relatório Técnico PROCOREDES - FAPERGS**. Santa Maria, 2006. 103 p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA nº 128 de 24 de novembro de 2006**. Porto Alegre, 2006. 9 p.

RHEINHEIMER, D.S. (Ed). **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boemia: Agudo**. Santa Maria, 2001. 115 p.

_____ (Ed). **Caracterização física, química e biológica dos solos na microbacia hidrográfica do Arroio Lino, Nova Boemia: Agudo**. Santa Maria, 2003. 115 p.

RHEINHEIMER, D.S.; GONÇALVES, C.S.; PELLEGRINI, J.B.R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, n. 27, p 85-96. 2003.

RIGHES, A.A. Água: sustentabilidade, uso e disponibilidade para irrigação. **Ciência & Ambiente**, n. 21, p 91-102. 2000.

RIVERA, F. et al. J.T. Removal of pathogens from wastewaters by the root zone method (RZM). **Water Science and Technology**, n. 32, p 211-218, 1995.

ROSA, G.M.; PETRY, M.T.; CARLESSO, R. Disponibilidade, eficiência e racionalidade na utilização de recursos hídricos. **Ciência & Ambiente**, n. 21, p 103-118. 2000.

ROSTON, D.M.; Considerações sobre o uso de leitos de macrófitas no tratamento de resíduos de pequenas comunidades rurais. In: do XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22,1993, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, SBEA, 1993.

SALATI JR, E.; SALATI, E.; SALATI, E. Wetlands projects development in Brazil. **Water and Science Technology**, v. 40, n. 3, p.19-25. 1999.

SALATI, E. Utilização de sistemas de *wetlands* construídas para tratamento de águas. **Biológico**, v.65, n.1/2, p.113-116, 2003.

SENRA, J. B. A paisagem da água no Brasil. In: NEUTZLING, I. (Org.) **Água: bem público universal**. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2004, p. 33-56.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA; SRH; ABEAS; Viçosa, MG: UFV, 1997. 252 p.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez**. São Paulo: RiMa, 2003. 247 p.

VALENTIM, M.A.A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**. 1999, 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). 1999.

_____. **Desempenho de leitos cultivados ("constructed wetland") para o tratamento de esgoto**. 2003, 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

VICENT, G. Use of artificial wetlands for the treatment of recreational wastewater. **Water Science and Technology**. n.19, p 67-70, 1994.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed., Belo Horizonte: DESA, 1996. 243 p.

VYMAJAL, J. Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6th, 1998, Águas de São Pedro. **Proceedings...** Águas de São Pedro, 1998.

ZHU, T. & SIKORA, F.J. Ammonium and nitrate removal in vegetated and unvegetated gravel bed microcosm wetlands. **Water Science and Technology**. v. 32, n. 3, p 219-218, 1995.

9 ANEXOS

Anexo A. Materiais, quantidades e custo para construção de uma estação de tratamento de esgotos.

Materiais	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Curva PVC 75 mm	un	8	8,90	71,20
Curva PVC 40 mm	un	5	1,70	8,50
Conexão em T PVC 75 mm	un	1	7,20	7,20
Conexão em T PVC 75 mm x 40 mm	un	4	9,00	36,00
Bucha Red. 50 mm x 40 mm	un	5	0,90	4,50
Conexão em Y PVC 40 mm	un	1	1,50	1,50
Conexão em Y PVC 75 mm x 50 mm	un	1	10,00	10,00
Capa de cano PVC 40 mm	un	2	1,10	2,20
Cano PVC 75 mm	mt	20	4,83	96,60
Cano PVC 40 mm	mt	30	1,975	59,25
Lona preta 4mt	mt	2,50	2,45	6,12
Areia média	m ³	0,5	25,00	12,50
Brita n° 2	m ³	0,5	35,00	17,50
Fossa séptica	un	1	75,70	75,70
Caixa de gordura 250x160x75	un	1	19,90	19,90
Bombona plástica 50 l	unidade	2	30,00	60,00
Carvão vegetal	quilograma	10	1,00	10,00
TOTAL (R\$)				498,67