



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
Área de Concentração: Infraestrutura e Meio Ambiente**

Emanuelle Goellner

Estudo para reúso de Efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na Irrigação

**Passo Fundo
2010**

Emanuelle Goellner

Estudo para reúso de Efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na Irrigação

Orientadora: Professora Vera Cartana Fernandes, Dra.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente

Passo Fundo

2010

Emanuelle Goellner

Estudo para reúso de Efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na Irrigação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia para obtenção do grau de Mestre em Engenharia na Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infraestrutura e Meio Ambiente

Data de aprovação: Passo Fundo, 27 de setembro de 2010.

Os membros componentes da Banca Examinadora abaixo aprovam a Dissertação.

Professora Vera Cartana Fernandes, Dra.
Orientador

Professor Simar Vieira Amorim, Dr.
Universidade de Federal de São Carlos

Professora Luciane Maria Colla, Dra.
Universidade de Passo Fundo

Professora Evanisa de Fátima Quevedo, Dra.
Universidade de Passo Fundo

Passo Fundo
2010

DEDICATÓRIA

À Deus.

Aos meus pais Claud e Dinamar.

As minhas irmãs Gabrielle e Vitória.

À ti Alcindo que sempre me ajudou nos
momentos que mais precisei.

AGRADECIMENTOS

À Deus que me deu forças para superar todos os obstáculos.

Ao professor Claud Goellner pelo incentivo e atenção, depositados a mim.

Ao professor Florindo Castoldi pelo apoio e atenção.

À minha orientadora professora Vera Cartana Fernandes, pela atenção e confiança.

Ao Engenheiro Ambiental e colega Cleomar Reginatto pelo apoio e ajuda durante o fechamento do trabalho.

À Companhia Riograndense de Saneamento Básico (CORSAN) pelo apoio nas análises realizadas durante a pesquisa.

Resumo

O tema reúso de águas pode ser uma alternativa à escassez dos recursos hídricos. O reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento pode apresentar um enorme potencial de águas com qualidade e quantidade para serem utilizadas para diferentes fins, entre eles para a irrigação de jardins e parques. Para tanto, estudou-se o potencial de reúso de dois sistemas de tratamento de esgoto na irrigação de jardins, determinando sua viabilidade e o risco microbiológico associado com este reúso. Para tal objetivo foram levantados e analisados alguns parâmetros das duas estações nos últimos três anos comparando-os com padrões internacionais de reúso, bem como se verificou através de ensaios microbiológicos a presença de coliformes fecais nas amostras de grama irrigadas para determinar a sua sobrevivência e possível risco à saúde pelo contato das pessoas. Os resultados mostram que existem diferenças entre os padrões dos efluentes, entre os dois sistemas, além de uma grande variabilidade nos valores apresentados pelos mesmos, o que pode implicar em necessidade de pré-tratamento antes do reúso propriamente dito. A comparação com os padrões de qualidade para reúso existentes demonstrou que os parâmetros analisados apresentaram grande variação ao longo do período do estudo. Quanto aos aspectos microbiológicos, observou-se um decaimento significativo na população das bactérias do grupo coliforme total e fecal, tanto em condições de aplicação isolada, ou em várias aplicações sucessivas, para valores abaixo dos limites tolerados. Nos ensaios de armazenamento do efluente, o comportamento foi bem distinto, enquanto que no sistema de reator anaeróbio, houve queda da população durante o tempo de armazenamento, no efluente do sistema de lagoas de estabilização, inicialmente, houve uma elevação da população bacteriana inicial, para tão somente decair aos 21 dias após o armazenamento, porém mantendo níveis populacionais ainda bastante elevados.

Palavras-chaves: Tratamento de Esgoto, reúso, jardins, qualidade de efluente, sobrevivência bactérias grupo coliforme.

Abstract

The reuse of domestic sewage effluent should be an alternative for those situations where the scarcity of water exists. The reuse of wastewater from treatment systems has enormous potential to irrigation of backyards and public parks. A study to assess the viability of this reuse in irrigation of backyards was done, taking into account some quality parameters and the behaviour of faecal coliform bacteria after the irrigation of a greenfield in terms of surviving and microbiological risk to human exposure. The parameters were compared with the international quality guidelines for reuse, and the bacterial counting was done in the laboratory assays to determine the surviving of the faecal coliforms in the grass of a greenfield irrigated with the effluent of the two wastewater systems studied. The results showed differences between the quality parameters of the two systems, with high variability in their values and the aim of pre-treatment before the reuse must be considered. In relation of the microbiological standards, the field trials, with one or three successive spraying, showed that the bacterial coliforms counts decreased in the both experimental conditions to values below to the limits requirements for human health protection. In the trials of the store conditions, the behaviour of the bacterial populations was distinct, with the counts of faecal coliforms decreasing substantially with the time of storing to the anaerobic reactor, whereas these counts in the stabilization ponds system had a significant increase of the bacterial population until of the 21 day of studying, decreasing soon after , but with high values to bacterial counting.

Keywords: wastewater treatment, reuse, effluent quality, coliform bacterial surviving.

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS	11
2.2 REÚSO DA ÁGUA: UMA ALTERNATIVA PARA A ESCASSEZ	15
2.3 EVOLUÇÃO DO REÚSO DE ÁGUA	17
2.4 HISTÓRICO DA LEGISLAÇÃO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	19
2.5 PADRÕES DE QUALIDADE PARA REÚSO DA ÁGUA	22
2.6 EXPERIÊNCIAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS DO REÚSO DE ÁGUAS.....	29
2.7 BENEFÍCIOS E PROBLEMAS DO REÚSO PARA O AMBIENTE E PARA A SAÚDE PÚBLICA	35
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	42
3.1 LOCAL DE ESTUDO	42
3.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	47
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
4.1 ESTUDO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	49
4.1.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA ETE DO CAMPUS I DA UPF	49
4.1.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DA ETE ARAUCÁRIAS	56
4.1.2.1 LAGOA ANAERÓBIA	57
4.1.2.2 LAGOA FACULTATIVA.....	58
4.2 LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DOS DADOS DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	61
4.2.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO CAMPUS I DA UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO	61
4.2.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO ARAUCÁRIAS.....	70
4.3 ENSAIOS MICROBIOLÓGICOS	84
4.3.1 ENSAIOS DE SOBREVIVÊNCIA EM CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO.....	84
4.3.2 ENSAIOS DE SOBREVIVÊNCIA APÓS REÚSO PARA IRRIGAÇÃO DE JARDIM	87
4.3.3 COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS COM OS LIMITES RECOMENDADOS	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS.....	95

1 INTRODUÇÃO

Nas regiões áridas e semi-áridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Mesmo áreas com recursos hídricos abundantes, experimentam conflitos de uso e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Nessas condições, a sua conservação passou a ser um imperativo em termos de gestão, principalmente em regiões com baixa disponibilidade ou insuficiência de recursos hídricos.

O reúso de água encontra no Brasil, uma gama significativa de aplicações potenciais. O uso de efluentes tratados na agricultura e nas áreas urbanas, para fins não potáveis, no atendimento da demanda industrial e na recarga artificial de aquíferos, se constitui em instrumento poderoso para restaurar o equilíbrio entre oferta e demanda de água em diversas regiões brasileiras. Cabe, entretanto, institucionalizar, regulamentar e promover o reúso de água no país, fazendo com que a prática se desenvolva de acordo com princípios técnicos adequados, seja economicamente viável, socialmente aceita, e segura, em termos de preservação ambiental (HESPANHOL, 2003).

O consumo de água potável pela indústria e pela agricultura é grande. Sabe-se que a água é um recurso que deve ser preservado, no entanto estes dois segmentos necessitam dela para a sua atividade produtiva. A grande maioria das indústrias possui estações de tratamento de águas residuárias, sendo que estes efluentes depois de tratados são liberados em nossos rios. No entanto, eles poderiam ser reaproveitados de alguma forma nos processos industriais e gerar uma economia no uso dos recursos hídricos. As estações de tratamento de esgoto dos serviços de saneamento nos municípios também liberam uma grande quantidade de efluente proveniente do tratamento do esgoto doméstico, que poderia ser reutilizada de alguma forma (na agricultura, no ajardinamento e na recarga de aquíferos entre outros).

Devido à necessidade de conservação dos recursos hídricos torna-se de extrema importância o desenvolvimento de estudos que visem o reúso planejado dos efluentes resultantes do tratamento do esgoto doméstico, como forma de reduzir o consumo de água potável em atividades que não necessitam desse tipo de água, gerando uma redução na

demanda dos mananciais de boa qualidade. Este estudo vai colaborar que tanto indústrias como a agricultura no geral possa reusar essa água, preservando os recursos hídricos, além de ter efeito positivo na economia das indústrias uma vez que elas podem reduzir os gastos com água nos processos produtivos. Permitirá também a utilização racional de águas residuais domésticas após o tratamento ou pós-tratamento, visando o reúso deste efluente na limpeza das ETE, ruas e jardins das cidades e na agricultura irrigada, transferir a tecnologia para as cidades e interior de comunidades que fazem reúso não planejado, permitindo que se integrem aos programas de recursos hídricos, saneamento e meio ambiente indicando as melhores técnicas para o pós-tratamento dos efluentes de ETE com finalidade de reúso. A presente pesquisa teve como objetivo geral estudar os efluentes gerados em dois sistemas de tratamento de esgoto doméstico visando o reúso destes efluentes na limpeza das próprias estações de tratamento, nas ruas e pavimentos, na irrigação de jardins e na agricultura irrigada. Com base neste objetivo geral verificou-se a necessidade do desenvolvimento dos seguintes objetivos específicos para a realização da pesquisa:

- Estudo dos sistemas de tratamento que formam a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Campus I da Universidade de Passo Fundo e a Estação de Tratamento de Esgoto Araucárias do Município de Passo Fundo-RS;
- Levantamento dos parâmetros de qualidade e o volume médio dos efluentes gerados nas duas ETE(s) estudadas;
- Determinação dos padrões de qualidade necessários para as águas usadas na limpeza das ETE, ruas e jardins e na agricultura irrigada;

Além do presente capítulo, que apresenta o tema, o problema de pesquisa, a justificativa, os objetivos e as delimitações do trabalho, este trabalho está composto por mais quatro capítulos.

O capítulo 2 apresenta a revisão de literatura sobre os principais temas de interesse para a pesquisa.

O capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos adotados, tipo de pesquisa, delineamento da pesquisa, atividades realizadas e métodos utilizados.

O capítulo 4 apresenta os resultados dos trabalhos desenvolvidos, bem como o levantamento de informações sobre as análises realizadas nas duas ETE's estudadas e os ensaios microbiológicos.

O capítulo 5 apresenta as conclusões.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Contextualização sobre os recursos hídricos

A história da água está diretamente relacionada ao crescimento da população humana, ao grau de urbanização e aos usos múltiplos que afetam a sua quantidade e qualidade. Sabe-se que aproximadamente 97,5% da água existente no planeta é salgada e somente 2,5% é doce. Dentre estes 2,5%, somente 0,5% estão disponíveis para suprir as necessidades do ser humano. Os últimos relatórios do Instituto Mundial de Recursos do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente apontam para a redução do volume disponível de água e para os efeitos dos usos múltiplos da mesma, dando início aos conflitos pelo seu uso. O fato da distribuição da água mundial ser desigual contribui e muito para a preocupação com os recursos hídricos (TUNDISI, 2003).

De acordo com o mesmo autor, outro fator que agrava a situação dos recursos hídricos no mundo são as interferências antrópicas sobre o ciclo hidrológico o que pode diminuir a vazão de água e alguns países em 70%. As principais atividades humanas que se pode citar que interferem no ciclo hidrológico são: construção de reservatórios, uso excessivo de águas subterrâneas e a importação e transposição da água entre bacias hidrográficas. O consumo de água nas atividades humanas varia muito entre diversas regiões e países, os usos múltiplos da água e as permanentes necessidades da água frente às grandes demandas industriais e agrícolas tem gerado permanente pressão sobre este bem, que é finito. No início da década de 1960 houve considerável acréscimo no uso da água na agricultura, principalmente para irrigação e também em outras atividades, como na produção de suínos e aves e dessedentação de animais. Os usos múltiplos da água incluem além da irrigação e da utilização doméstica, a navegação, a indústria, a mineração, o esgotamento sanitário, a geração de energia, o esgotamento sanitário, a pesca e a recreação e o turismo.

Em países do oriente médio, que contam apenas com alguns poucos rios perenes geralmente localizados em regiões montanhosas de difícil acesso e pequenos reservatórios de

água subterrânea, a média de vazão de água oscila entre 100 e 200 milímetros por ano. A água potável é proporcionada através de sistemas de dessalinização da água do mar e, devido à impossibilidade de manter uma agricultura irrigada, mais de 50% da demanda de alimentos é satisfeita através da importação de produtos alimentícios básicos. O fenômeno da escassez não é, entretanto, atributo exclusivo das regiões áridas e semi-áridas. Muitas regiões com altos índices pluviométricos, mas que geram volumes insuficientes para atender às demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. Como consequência, estabeleceu-se a prática da busca incessante de recursos hídricos complementares de bacias vizinhas, que se traduzem em aumentos consideráveis de custo, além dos evidentes problemas legais e político-institucionais associados. Esta prática tende a se tornar cada vez mais restritiva, face à conscientização popular, arregimentação de entidades de classe e ao desenvolvimento institucional dos comitês de bacias. Nesse cenário, o conceito de "substituição de fontes" aparece como a alternativa mais plausível para atender a demandas menos restritivas, liberando águas de melhor qualidade para fins mais nobres, como o abastecimento doméstico (HESPANHOL, 2003).

Ainda de acordo com o mesmo autor, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas, formulou em 1958 uma política de gestão de áreas carentes de recursos hídricos que suporta este conceito: "a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas com qualidade inferior". Este conceito suporta a prática do reúso, estabelecendo, implicitamente, que os efluentes para reúso não necessitam ser tratados a níveis de qualidade superiores aos mínimos necessários para os fins específicos a que se destinam. Dentro desta visão do reúso de água, o homem desenvolveu um método de imitação grosseira, mas efetivo, do ciclo hidrológico, tratando efluentes domésticos e industriais para serem reutilizadas, de maneira benéfica, na irrigação, em processos industriais e para múltiplas finalidades urbanas, particularmente aquelas classificadas como não potáveis, sendo que esta prática, ainda incipiente no Brasil, aguarda para ser institucionalizada e integrada aos planos de proteção e desenvolvimento de bacias hidrográficas.

A irrigação corresponde em média a 73% do consumo de água no mundo, enquanto que 21% são utilizados na indústria e apenas 6% destinado ao consumo doméstico. Um bilhão e duzentos milhões de pessoas (35% da população mundial) não têm acesso à água tratada. Um bilhão e oitocentos milhões de pessoas (43% da população mundial) não contam com serviços adequados de saneamento básico, sendo que a maior parte dos três bilhões (ou mais) de habitantes que devem ser adicionados à população mundial no próximo meio século nascerá em países que já sofrem de escassez de água (HESPANHOL, 2003).

Cerca de 1.000 toneladas de água são necessárias para produzir uma tonelada de grãos, sendo a importação de grãos a maneira mais eficiente para os países com déficit hídrico importarem água. Calcula-se a exaustão anual dos aquíferos em 160 bilhões de metros cúbicos ou 160 bilhões de toneladas. Tomando-se uma base empírica de mil toneladas de água para produzir uma tonelada de grãos, esses 160 bilhões de toneladas de déficit hídrico equivalem a 160 milhões de toneladas de grãos, ou metade da colheita dos Estados Unidos. Além do crescimento populacional, a urbanização e a industrialização também ampliam a demanda pelo produto (TUNDISI, 2003).

A vazão média anual nos rios no território brasileiro é de 179 mil m³/s (5560 km³/ano). Esse valor corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial que é de 1,5 milhões de m³/s. A região Amazônica é a região que detém aproximadamente 76,3% dos recursos hídricos superficiais (SHKILOMANOV, 1998).

De acordo com Tundisi (2003), as principais bacias hidrográficas do continente sul-americano, a Bacia Amazônica e a Bacia do rio da Prata, são de fundamental importância para o Brasil. A América do Sul é abundante em rios, os quais têm papel ecológico, econômico e social extremamente relevante, apresentam uma variedade de habitats, flora e fauna especializada e diversificada e constituem importante reserva de água doce que é utilizada para inúmeras finalidades.

A diversidade de usos dos recursos hídricos no Brasil depende evidentemente do grau de concentração da população humana do estágio de desenvolvimento econômico e da intensidade das atividades na bacia hidrográfica, aproximadamente 90% dos recursos hídricos do Brasil são utilizados na produção agrícola, produção industrial e consumo humano (TUCCI, 2000). Quando falamos de uso urbano relacionamos os usos dos recursos hídricos com o crescimento populacional e conseqüentemente maior uso dos nossos mananciais e aumento da poluição. Outro setor que no Brasil depende muito dos recursos hídricos é o setor energético, o Brasil é responsável por 10% da produção hidroelétrica mundial e atualmente utiliza somente 35% de seu potencial hidroelétrico (TUNDISI, 2003).

Juntamente com o crescimento das cidades e a crescente demanda dos recursos hídricos surgem impactos de variada magnitude e distribuição pelo país. Em âmbito nacional o principal problema se deve ao lançamento de esgotos doméstico, pois apenas 47% dos municípios possuem rede coletora de esgoto e somente 18% recebem tratamento. A eutrofização das águas é um dos grandes problemas que também interferem na qualidade das águas, ocorrendo este processo principalmente em lagos e represas. O nível de eutrofização esta relacionado ao uso e ocupação na bacia hidrográfica (ANA, 2005).

Quanto à situação das águas subterrâneas no país, estima-se que existam 400 mil poços. A água de poços tem sido utilizada para diversos fins. No Brasil 15,6% dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea. A água subterrânea no geral apresenta boa qualidade com características físico-químicas e biológicas adequadas inclusive ao consumo humano e, embora possua uma qualidade natural muito boa, as atividades antrópicas nos últimos anos têm comprometido significativamente alguns aquíferos. Dentre elas cita-se a construção de poços de forma inadequada, a disposição inadequada de resíduos provenientes de indústrias e de origem doméstica, com a contaminação das áreas de recarga dos aquíferos (ANA, 2005).

Estudos realizados pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2005), avaliaram a relação entre disponibilidade e demanda em 12 regiões hidrográficas brasileiras, sendo que os resultados mostram que o Brasil é rico em termos de disponibilidade hídrica. As bacias localizadas em áreas que apresentam uma grande combinação de baixa disponibilidade e grande utilização passam por situações de escassez.

O Relatório Anual dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul tem por objetivo disponibilizar aos comitês, aos usuários da água e à sociedade em geral informações relativas à disponibilidade hídrica do conjunto das 25 bacias hidrográficas, distribuídas ao longo do território rio-grandense. A divulgação destas informações, além de ser uma exigência prevista na Lei 10.350/1994, a chamada Lei das Águas do Rio Grande do Sul, é uma condição básica para a viabilização de um processo integrado de gestão deste bem cada vez mais escasso. O Sistema Estadual de Recursos Hídricos, instituído pela Lei 10.350, de 30 de dezembro de 1994, representa um modelo descentralizado e participativo de gestão da água. Os seus objetivos abrangem desde a execução e atualização da Política Estadual de Recursos Hídricos; a proposição, a efetivação e a atualização do Plano Estadual e dos Planos de Bacias Hidrográficas; a instituição de mecanismos que coordenem e integrem atividades públicas e privadas, no setor hídrico; até a compatibilização da política gaúcha com a federal, com vistas à utilização e proteção das águas do Estado. A bacia hidrográfica do rio Passo Fundo tem como seus principais corpos hídricos os rios Passo Fundo e Erechim e abrange total ou parcialmente 30 municípios entre os quais destacam-se os de Passo Fundo, Erechim, Nonoai, e Barão do Cotegipe. A bacia possui uma disponibilidade hídrica superficial (vazão específica de longo período) de 26,87 L/s/Km² e subterrânea com reservas reguladoras dos aquíferos Serra Geral I (92,09%) e Serra Geral II (7,90%). Quanto às demandas hídricas superficiais por setor usuário, em m³/ano, destacam-se os setores de abastecimento (10,63%), abastecimento industrial (1,32%), irrigação (3,23%) e dessedentação animal (8,14%). Para verificar o potencial poluidor foi feita uma estimativa com base nas cargas específicas totais e anuais da Demanda Bioquímica de Oxigênio de fontes diversas: com a DBO doméstica de

0,52t/ano/km², a industrial de 0,03t/ano/km², e a da suinocultura de 0,19t/ano/km². A degradação ambiental das bacias hidrográficas, resultante da expansão e intensificação das atividades antrópicas, tem comprometido a disponibilidade hídrica de rios e lagoas no Estado. Um exemplo disto pode ser conferido nos dados inerentes à Bacia do Rio Gravataí. Neste rio são recorrentes os baixos níveis de água no verão, coincidindo com o período de maior consumo para a irrigação. De outra parte, também é possível inferir, a partir dos dados levantados, que outros usos como o abastecimento doméstico e o abastecimento industrial, juntamente com o potencial poluidor das cargas de DBO remanescentes de origem doméstica e industrial tendem a aumentar os conflitos pelo uso da água nesta bacia (SEMA, 2008).

2.2 Reúso da água: uma alternativa para a escassez

A água foi por muito tempo considerada pela humanidade como recurso inesgotável, não faltando exemplos de escassez de água doce, observada pelo abaixamento do nível dos lençóis freáticos, o “encolhimento dos lagos”, a secagem dos pântanos. Por outro lado cresce em todo mundo a preocupação com o uso racional, a necessidade do controle de perdas e desperdícios e o reúso da água. Incluindo a utilização de esgotos sanitários para diversos fins: reúso da água proporcionando alívio na demanda e preservação de oferta de água para usos múltiplos, reciclagem de nutrientes, significando economia na produção de fertilizantes e ração animal e principalmente a redução no lançamento de esgotos em corpos receptores (VON SPERLING, 1996a; BLUM, 2003).

A característica do esgoto é função dos usos à qual a água foi submetida. Esses usos variam com o clima, situação social e econômica e hábitos da população. O esgoto doméstico contém aproximadamente 99,9% de água. A determinação no efluente de parâmetros físicos como, temperatura, odor, cor e turbidez, parâmetros químicos como presença de sólidos totais e parâmetros biológicos como presença de bactérias, fungos, protozoários definem a qualidade desta água e esta definição esta baseada na adequação ao uso o que permite uma classificação das águas: águas adequadas ou não a determinados usos. Por esse motivo, a classificação de boa ou má qualidade para uma água só tem sentido quando se leva em consideração o uso previsto para ela (VON SPERLING, 1996a; BLUM, 2003).

A reutilização ou reúso de água não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. No entanto, a demanda crescente por água tem feito do reúso planejado da água um tema atual e de grande importância, devendo-se considerar o reúso de água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente

da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água. Dentro dessa ótica, o esgoto tratado tem um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas, irrigação entre outros, pois ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o reúso de esgoto contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos (BLUM, 2003).

De acordo com Asano (1998) inserida nesse contexto, está a necessidade de implantação do sistema de reúso da água, que pode ocorrer espontaneamente na natureza, no ciclo hidrológico, ou através de ações humanas, podendo ser planejadas ou não. A técnica do reúso planejado consiste em se utilizar a água mais de uma vez, reaproveitando-a para o mesmo ou outro determinado fim após ter passado por um tratamento. Conforme, este mesmo autor, o reúso pode ser:

- Indireto não planejado: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e estando sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico;

- Indireto planejado: ocorre quando os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizados a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico;

- Direto planejado: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente;

- Reciclagem da água: é o reúso interno da água em determinado processo, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou local de disposição.

De acordo com Asano (1998), a água de reúso proveniente das Estações de Tratamento, onde o esgoto doméstico e industrial pode passar por inúmeros processos de tratamento, pode ser destinada as mais diversas utilidades, entre os quais cita:

- Irrigação paisagística: parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de auto-estradas, campus universitários, cinturões verdes, gramados residenciais, limpeza de monumentos;

- Irrigação na agricultura: plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas;

- Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento, lavagens de peças e tanques, geração de energia;

- Recarga de aquíferos: para controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo;
- Usos urbanos não potáveis: irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, desobstrução de rede de esgotos, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, etc.;
- Finalidades ambientais: aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca;
- Usos diversos: aquicultura, construções civis (preparação do concreto e compactação do solo), controle de intrusão marinha, controle de água para uso de animais e controle de poeira.

Também podem servir como água de reúso as águas salobras, que são de segunda qualidade e não tão salgadas quanto à do mar, assim como águas de drenagem agrícola. É muito importante ressaltar que, para a utilização efetiva do reúso são necessárias medidas como: avaliação dos sistemas de tratamento, definição dos critérios de uso, planejamento e monitoramento adequados, qualidade resultante da água e controle dos impactos e benefícios ambientais decorrentes da prática. A agricultura é um setor onde o reúso precisa ser aplicado com urgência, pois 80% da água consumida no mundo são usadas nesse setor e no Brasil essa porcentagem é de 70% para a irrigação. O efluente tratado pode ser usado em determinadas culturas e também a adoção de métodos como o processo de sulcos, favorecem a conservação da água potável (ASANO, 1998).

2.3 Evolução do reúso de água

De acordo com Felizatto (2005), o reúso de águas tem uma longa história, comprovada inicialmente pela associação com as construções dos sistemas de esgotamento dos palácios e das cidades antigas da Civilização Minóica, na Ilha de Creta, na Grécia Antiga, de 3000 a 1200 a.C. Essas indicações estendem o reúso agrícola, como irrigação, à aproximadamente 5000 anos atrás. Na história mais recente, em Londres, durante o século XIX, a introdução em larga escala de esgotos transportados por meio de carroças e descarregados nas águas superficiais conduziu a um uso inadvertido e indireto de águas residuárias na produção de água para consumo humano. Esse reúso não planejado associado ao tratamento inadequado das águas residuárias originou epidemias catastróficas de doenças veiculadas pela água como a cólera asiática e a febre tifóide, durante o período de 1840 a 1850.

O desenvolvimento de programas de reúso planejado de águas residuárias nos Estados Unidos iniciou-se no começo do século XX. O Estado da Califórnia foi o pioneiro a promover regulamentos para recuperação e reúso de águas residuárias, sendo a primeira promulgação

desses preceitos feita em 1918. Os primeiros sistemas de reúso foram desenvolvidos para prover água para irrigação em ambos os estados do Arizona e da Califórnia, no final de 1920. Em 1940, iniciou-se o reúso dos efluentes de águas residuárias tratadas e cloradas em siderúrgicas e a partir de 1960 foram desenvolvidos sistemas de reúso público urbano no Colorado e na Flórida. Nos anos 90 houve um aumento de interesse na implantação do reúso de água em muitas partes do mundo, para os diferentes tipos de uso: agrícola, público e industrial. O interesse nesses programas foi intensificado nas regiões áridas e semi-áridas, onde o clima impõe restrições sérias à produção agrícola, quase que inviabilizando a subsistência humana no local (ASANO, LEVINE, 1996).

De acordo com Asano (1998), atualmente dispõe-se de tecnologia para tratamento e purificação de águas residuárias, garantindo qualquer qualidade desejada. Logicamente, que as exigências quanto à qualidade e ao custo de instalação e operação da planta estão vinculadas de forma direta. Assim, o reúso de água evoluiu para ocupar o papel de fator integrante no planejamento eficiente dos recursos hídricos.

Em 1968, foram conduzidas pesquisas extensivas em reúso potável direto, em Windhoek, na Namíbia. Esse é o primeiro caso de reúso potável direto divulgado tecnicamente, onde as águas recuperadas foram utilizadas com êxito para o abastecimento de água potável desse município. Houve um período durante esse experimento em que até um terço do abastecimento da cidade era composto por água recuperada. Ressalta-se que esse projeto foi planejado e a escassez de água não permitiu outra solução e que, aparentemente, o sistema operou com sucesso e sem maiores objeções por parte do público. O sistema da estação de tratamento e recuperação operada nessa época era assim constituído: (1) Tratamento secundário através de filtro percolador; (2) Lagoa de Estabilização de Maturação com tempo de detenção de oito dias; (3) Correção de pH com dióxido de carbono; (4) Separação em contracorrente com ar para eliminação de algas; (5) Tratamento em tanque flotor para eliminação de detergentes; (6) Coagulação química; (7) Filtro de areia; (8) Adsorção em carvão ativado; e (9) Desinfecção com Cloro (OMS, 1973).

Nos Estados Unidos, um evento marcante em 1971 foi a aprovação pelo Congresso do Federal Water Pollution Control ACT-PL 92-500 cujo objetivo era “restaurar e manter a integridade física, química e biológica das águas da Nação” e a meta principal pretendia a descarga zero de poluentes em águas de corpos receptores utilizados para recreação, pesca e navegação. Nos anos de 1970 a 1980, em várias regiões, foram elaborados estudos no sentido de aprofundar o conhecimento sobre os riscos à saúde e requisitos tecnológicos necessários para o reúso potável e não potável. Um evento particular muito importante foi a publicação,

em 1992, do "Guia para Reúso de Água", pela Agência Ambiental Americana - USEPA (ASANO, LEVINE, 1996).

2.4 Histórico da legislação sobre recursos hídricos no Brasil

O Brasil vem produzindo, desde o início do século passado, legislação e políticas que buscam paulatinamente consolidar uma forma de valorização de seus recursos hídricos. A crise econômica do final do século XIX e início do século XX, centrada na troca do modelo econômico - de agrário para industrial, exigiu uma maior utilização da energia elétrica para a geração de riquezas. Neste contexto sócio econômico foi publicado o Decreto 24.643 em 10 de Julho de 1934, que aprovou o Código de Águas Brasileiro. Mesmo voltado para a priorização da energia elétrica, o Código de Águas de 34, como ficou conhecido, inicia um trabalho de mudança de conceitos relativos ao uso e a propriedade da água. Este Código que foi criado com a finalidade de estabelecer o regime jurídico das águas no Brasil, dispõe sobre sua classificação e utilização, bem como sobre o aproveitamento do potencial hidráulico, fixando as respectivas limitações administrativas de interesse público. Encontra-se no Código de 34 os primeiros dispositivos legais que tratam da cobrança pelo uso da água. O Artigo 43 aborda a outorga, ao citar que a "As águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade e, não se verificando de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes." Também o Artigo 139 aborda o instrumento da outorga ao citar que: "O aproveitamento industrial das quedas de água e outras fontes de energia hidráulica - quer de domínio público, quer de domínio particular, far-se-á pelo regime de autorizações e concessões instituídas neste Código". (SOUZA, 1997).

Segundo o mesmo autor, a aplicação do Código de Águas, juntamente com a evolução dos problemas sócio-econômicos do país, possibilitou alterações no modelo de administração pública e de novas normas legais.

A seguir, relacionam-se os mais expressivos diplomas legais, decorrentes do Código de Águas Brasileiro, apresentando de forma mais detalhada a legislação mais recente ou mais relevante para a gestão dos recursos hídricos no Brasil, quais sejam:

- Código de águas minerais, Lei nº. 7.841 de 1945, que classificou e disciplinou o uso das águas minerais.

- Constituição Federal de 1988, que permitiu aos Estados e à União criar seus sistemas de gestão de recursos hídricos.

- Lei Federal 9.433/97 que implantou a Política Nacional de Águas e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH.

-Decreto Federal 9.984/2000 que criou a Agência Nacional de Águas (ANA).

-Lei Estadual 10.350/94 que implantou no Rio Grande do Sul o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e a Política Estadual de Recursos Hídricos

Através da Lei nº. 9433/97 foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos. A promulgação desta lei veio consolidar um avanço na valoração e valorização da água, quando, por meio de seu artigo 1º, incisos I e II, determina que: "a água é um bem de domínio público e dotado de valor econômico". A partir dos artigos citados acima surgem instrumentos básicos da gestão dos recursos hídricos. Estes instrumentos são: Plano de recursos hídricos; Outorga de direito de usos das águas; Cobrança pelo uso da água; Enquadramento dos corpos d'água e o Sistema de informações sobre recursos hídricos. Inspirada no modelo francês, a legislação brasileira sobre recursos hídricos é um modelo ambicioso de gestão do uso dos rios e, de acordo com esta Lei, as decisões sobre os usos dos rios em todo o País devem ser tomadas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, que são constituídos por representantes da sociedade civil (1/3), do estado (1/3) e dos municípios (1/3) (SOUZA, 1997).

Na medida em que a cobrança pelo uso da água, instrumento de gestão já considerada na Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº. 9.433, de 08/01/97), tornar-se mais abrangente, o mercado de água de reúso também tenderá a crescer. A partir da promulgação da Lei nº. 9.433/97 é dado um novo enfoque para a questão hídrica, a gestão do uso da água por bacias hidrográficas e o conceito do usuário pagador. A ênfase legislativa incide na racionalização do uso da água, estabelecendo princípios e instrumentos para sua utilização. Porém, pouca preocupação legislativa ocorreu para fixação de princípios e critérios para o reúso no Brasil (CROOK, SURAMPALLI, 1996).

Ainda em se tratando de legislação tem-se como base e iniciativa na questão do reúso a Conferência do Rio que consagrou o conceito de desenvolvimento sustentável e contribuiu para a mais ampla conscientização de que os danos ao meio ambiente eram majoritariamente de responsabilidade dos países desenvolvidos. Reconheceu-se, ao mesmo tempo, a necessidade de os países em desenvolvimento receberem apoio financeiro e tecnológico para avançarem na direção do desenvolvimento sustentável. Naquele momento, a posição dos países em desenvolvimento tornou-se mais bem estruturada e o ambiente político internacional favoreceu a aceitação pelos países desenvolvidos de princípios como o das responsabilidades comuns, mas diferenciadas. A mudança de percepção com relação à complexidade do tema deu-se de forma muito clara nas negociações diplomáticas, apesar de

seu impacto ter sido menor do ponto de vista da opinião pública. A implantação de políticas de gestão dirigidas para o uso e reciclagem de efluentes é citada no Capítulo 21 – “Gestão ambientalmente adequada de resíduos líquidos e sólidos”, Área Programática B – “Maximizando o reúso e a reciclagem ambientalmente adequada”, que estabeleceu como objetivos básicos: vitalizar e ampliar os sistemas nacionais de reúso e reciclagem de resíduos” e “tornar disponível informações, tecnologia e instrumentos de gestão apropriados para encorajar e tornar operacional, sistemas de reciclagem e uso de águas residuárias”. A prática de uso de águas residuárias também é associada, às seguintes áreas programáticas incluídas no capítulo 14 – “Promovendo a agricultura sustentada e o desenvolvimento rural”, capítulo 18 – “Proteção da qualidade das fontes de águas de abastecimento – Aplicação de métodos adequados para o desenvolvimento, gestão e uso dos recursos hídricos”, visando à disponibilidade de água “para a produção sustentada de alimentos e desenvolvimento rural sustentado” e “para a proteção dos recursos hídricos, qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos”, e no capítulo 30, “Fortalecimento do papel do comércio e da indústria” (HESPANHOL, 2003).

Mais recentemente, o Projeto de Lei N 5296 / 2005 (que institui as diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e a Política Nacional de Saneamento Básico) já se refere diretamente ao reúso da água, por exemplo, em seu Artigo 10, Inciso III: “São diretrizes relativas ao esgotamento sanitário: incentivar o reúso da água, a reciclagem dos demais constituintes dos esgotos e a eficiência energética, condicionado ao atendimento dos requisitos de saúde pública e de proteção ambiental pertinente” (PROSAB, 2006, p. 36).

Também em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos o (CNRH) promulgou a Resolução N 54 que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água no Brasil, remetendo para regulamentação complementar os padrões de qualidade e os códigos de práticas para as diversas modalidades de reúso: (i) reúso para fins agrícolas e florestais; (ii) reúso para fins urbanos; (iii) reúso para fins ambientais, (iv) reúso para fins industriais, (v) reúso na aqüicultura. Portanto, a regulamentação do reúso da água encontra-se em pleno curso no Brasil, até mesmo pelo reconhecimento (explicitado na Resolução CNRHN 54/2005) de que práticas de reúso já são uma realidade no país. É importante salientar que a Resolução CNRH 54/2005 coloca a atividade de reúso da água como integrante das políticas de gestão de recursos hídricos vigentes no país (PROSAB, 2006; LOURDINHA, 2006).

2.5 Padrões de qualidade para reúso da água

De acordo com Souza (1997), os fatores que afetam a qualidade da água para reúso incluem: (1) Qualidade na fonte geradora; (2) Processo de tratamento de água residuária; (3) Confiabilidade do processo de recuperação da água; (4) Projeto e operação dos sistemas de distribuição. Na escolha dos critérios de qualidade da água para reúso, os seguintes aspectos estão envolvidos: (1) Proteção à saúde pública; (2) Requisitos de uso; (3) Efeitos da irrigação; (4) Considerações ambientais; (5) Aspectos estéticos; (6) Percepção da população e/ou usuário e (7) Realidades políticas. Esses aspectos serão discutidos a seguir:

- Proteção à saúde pública: A água para reúso deve ser segura para o uso pretendido. A maioria dos critérios de qualidade da água para reúso preocupa-se com a proteção à saúde pública, e desses critérios, grande parte é baseada na segurança microbiológica ou bacteriológica;

- Requisitos de uso: A maioria dos usos da água tem requisitos físico-químicos relacionados com a saúde da população, que limitam a aceitabilidade da água;

- Efeitos da irrigação: Caso-se utilize a água residuária para irrigação, devem ser considerados os efeitos dos constituintes da água sobre as plantas cultivadas e sobre o próprio solo e aquífero subterrâneo;

- Considerações ecológicas: A flora e a fauna, dentro e no entorno da área do projeto de reúso, não podem ser afetadas adversamente;

- Aspectos estéticos: Não devem ocorrer impactos sobre a estética e a aparência produzidos pela água utilizada. Por exemplo, para irrigação urbana e para descarga em bacias sanitárias, a aparência da água (cor, turbidez e odor) não deve ser diferente da água potável. Em reservatórios, a água residuária recuperada não pode conduzir a um processo de eutrofização acelerada, com crescimento anormal de vegetação aquática (florescência de algas);

- Percepção da população e/ou usuário: A água para reúso deve ser psicologicamente aceita pela população para o uso pretendido, o que pode levar os critérios extremamente conservadores de qualidade da água, como garantia de redução dos riscos e de aceitabilidade da água;

- Realidades políticas: Alguns dos limites fixados para a qualidade da água para reúso muitas vezes são fundamentados por uma conjuntura política que leva em consideração a percepção da população, crenças ou tendências pessoais e aspectos econômicos.

Nos Estados Unidos em 1918 o Departamento de Saúde Pública do Estado da Califórnia emitiu a primeira regulamentação sobre a utilização de esgotos sanitários que se tem

conhecimento. Nesse país o reúso de água (esgotos tratados nas suas diferentes modalidades-urbanas, industriais, agrícolas) é hoje objeto de regulamentação em todo território nacional (CROOK, 1978). A Organização Mundial da Saúde (OMS) também tem se detido na recomendação do reúso de efluentes sanitários e seus critérios já foram mais restritivos no passado. No encontro de especialistas em reúso que se realizou em 1971, foi reconhecido que os padrões do Estado da Califórnia eram extremamente rígidos para reúso e não eram justificados pelas evidências epidemiológicas, então disponíveis (OMS, 1973).

A partir do encontro realizado em 1971, recomendou-se como critério microbiológico para a irrigação irrestrita de cultivos de legumes, não mais de 100 Coliformes totais por 100 ml. O encontro também concluiu e recomendou que houvesse necessidade de maiores investigações sobre o assunto, baseado numa visão epidemiológica do reúso agrícola (OMS, 1973; HESPANHOL, PROST, 1994).

Posteriormente, foi dado novo enfoque aos critérios de reúso agrícola pela OMS a partir de outros dois encontros ocorridos em Engelberg, em 1985, e Adelboden, em 1987, em que se chegou à conclusão de que as diretrizes vigentes eram insatisfatórias por que: (1) algumas eram injustificadamente restritas e (2) não abrangiam a ampla variedade de agentes patógenos transmissíveis por meio das águas residuárias, de modo que não protegiam devidamente a saúde pública, sobretudo com relação às helmintíases (OMS, 1989; OMS, 2010).

O novo e atual modelo da Organização Mundial da Saúde está fundamentado na conclusão de que os riscos à saúde humana nos países em desenvolvimento são devidos a doenças provocadas por vermes, helmintos, nematelmintos e trematódeos e, devido a isso, torna-se necessária uma alta remoção desses parasitas que podem ser removidos por cloração. A opção por esse indicador se deve à suposição de que todos os demais microrganismos são removidos com igual eficiência e que outros patogênicos de interesse para a saúde tornam-se não-viáveis em sistemas do tipo lagoa de estabilização, especialmente em série, que possuem alto tempo de detenção hidráulica (SOUZA, 1997).

Vários estados americanos, de forma independente, desenvolveram critérios de qualidade e tratamento para projetos de reúso e águas recuperadas. Como consequência, existe uma considerável diferença entre esses critérios, e poucos são os estados que possui em seus padrões grande acervo de tipos de usos. Os estados da Califórnia e da Florida são os melhores exemplos, pois, possuem em seus regulamentos os mais variados empregos para o reúso de água. O padrão de diretrizes sanitárias para reúso norte-americano, similarmente ao da OMS, está baseado em um indicador microbiológico, que é o número de Coliformes Fecais, exceto para o Estado da Califórnia, que adota Coliformes Totais. A grande diferença entre esses dois regulamentos é o grau de exigência e o nível de controle, pois os critérios americanos são

muito mais restritos e o controle da OMS é muito maior em número de parâmetros. A aceção é que, quando se trata de saúde pública, o princípio dos Estados Unidos é de risco mínimo, conforme o expresso no Water Pollution Control Act - PI 92-500 - "poluente zero", tanto que até 1996 nenhum tipo de doença foi vinculada à participação do uso de água recuperada (ASANO, LEVINE, 1996; CROOK, SURAMPALLI, 1996).

No Quadro 1 pode-se ver a qualidade microbiológica recomendada pela Organização Mundial da Saúde para reúso na agricultura.

Categoria	Condições de reúso	Grupo Exposto	Nematelmintos intestinais médias aritmética do nº de ovos	Coliformes fecais média geométrica do NMP/100 mL	Tratamento necessário para atingir a qualidade microbiológica requerida
A	Irrigação de culturas prováveis de serem consumidas cruas; campos desportivos, parque públicos.	Trabalhadores; consumidores, público	1	1000	Lagoas de estabilização em série, projetadas para a qualidade microbiológica requerida, ou tratamento equivalente.
B	Irrigação de culturas de cereais, culturas industriais, culturas de forrageiras, pastos, árvores.	Trabalhadores	<1	Nenhum padrão é recomendado	Retenção em lagoas de estabilização de 8 a 10 dias ou remoção equivalentes de helmintos e Coliformes fecais.
C	Irrigação localizada de culturas na categoria B, não ocorrendo a exposição de trabalhadores e de público.	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento indicado pela tecnologia de irrigação, mas não inferior à sedimentação Primária.

Fonte: Mara e Cairncross (1989, p. 80).

Quadro 1 - Qualidade Microbiológica recomendada pela OMS para reúso na agricultura.

Em casos específicos, as orientações devem ser modificadas em função de levantamento epidemiológico local, fatores socioculturais e ambientais. Para gramados públicos, onde o público pode entrar em contato direto com a água (como no caso de gramados de hotéis), recomendam-se valores mais restritos (< 200 Coliformes fecais por 100 ml). No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e não se pode coletar àqueles caídos, sendo que a irrigação por aspersão não deve ser empregada (MARA, CAIRNCROSS 1989).

Quando é tratado mais especificadamente do reúso para fins urbano e industrial temos duas modalidades de reúso o restrito e o irrestrito .O que define estas categorias é o grau de exposição do público e conseqüentemente o grau de tratamento e o padrão de qualidade do efluente. Em geral percebe-se que todos os itens a serem considerados no reúso para irrigação

cabem também aos usos urbanos e industriais. As exigências na remoção de DBO e sólidos dependendo do tipo de uso são justificados em termos de inconveniente estético (aparência e estético), disponibilidade de nutrientes para o crescimento microbiano e comprometimento da desinfecção. Os coliformes servem de indicadores da eficiência da desinfecção e a turbidez como indicador estético e indicador auxiliar da remoção de patógenos. As diretrizes da OMS pouco se dedicam aos usos urbanos, referindo-se apenas a irrigação de parques e jardins e para o que sugere um padrão de 200 CF/100 mL.

No Quadro 2 pode-se verificar as diretrizes da Agência de Proteção Ambiental Americana para usos urbanos de esgotos sanitários.

Tipo de irrigação e cultura	Processo de tratamento	Qualidade do efluente
Usos urbanos irrestritos irrigação (campos de esporte, parques, jardins e cemitérios), e usos ornamentais e paisagísticos em áreas de acesso irrestrito ao público, descarga de toaletes, limpeza de ruas, lavagem de veículos.	Secundário + Filtração + Desinfecção	pH de 6-9 DBO \leq 10 mg/ L Turbidez \leq 2 uT Cloro Residual Total CRT \geq 1mg/L Coliformes termotolerantes não detectáveis Organismos Patogênicos não detectáveis.
Usos urbanos restritos: irrigação (parques, canteiros de rodovias) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito como em construções para abatimento da poeira, preparação de argamassa e concreto).	Secundário + Desinfecção	pH de 6-9 DBO \leq 30mg/L Sólidos \leq 30mg/L CRT \geq 1mg/L Coliformes termotolerantes \leq 200 COLIFORMES FECAIS/100mL

Fonte: Adaptado de USEPA, (1992).

Quadro 2 - Diretrizes da USEPA para usos urbanos de esgotos sanitários.

Segundo Sautchuk (2005), as exigências mínimas para o uso da água não-potável são as apresentadas na seqüência, em função das diferentes atividades. Neste sentido, a água para irrigação, rega de jardim, lavagem de pisos:

- a) não deve apresentar mau-cheiro;
- b) não deve conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas;
- c) não deve ser abrasiva;
- d) não deve manchar superfícies;

e) não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

De acordo com as exigências mínimas listadas no item anterior, pode-se definir classes de água para reúso como: água de reúso classe 1, 2 e 3.

As águas de reúso classe 1 podem ser utilizadas para usos preponderantes, nos edifícios, são basicamente os seguintes:

a) descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.);

b) lavagem de roupas e de veículos.

Apesar desta aplicação incorporar diversas atividades, todas convergem para a mesma condição de restrição que é a exposição do público, usuários e operários que operam, manuseiam ou tenham algum contato com os sistemas de distribuição de água reciclada.

Outro fator de grande importância relativo aos usos benéficos em consideração diz respeito aos aspectos estéticos da água de reúso. Neste caso, o reúso está vinculado ao “adorno arquitetônico”, exigindo grau de transparência, ausência de odor, cor, espuma ou quaisquer formas de substâncias ou componentes flutuantes.

Nesse sentido, os parâmetros característicos foram selecionados segundo o uso mais restritivo entre os acima relacionados.

Cabe ressaltar que o uso da água de reúso classe 1 pode gerar problemas de sedimentação, o que causaria odores devido à decomposição de matéria orgânica, obstrução e presença de materiais flutuantes. Como solução cita-se:

a) a detecção de cloro residual combinado em todo o sistema de distribuição; e

b) o controle de agentes tensoativos, devendo seu limite ser $\leq 0,5$ mg/L.

Embora no Brasil a grande maioria dos detergentes domésticos e industriais seja de biodegradáveis, o controle de surfactantes é importante, a fim de evitar formação de espumas em descargas de bacias sanitárias e torneiras. No Quadro 3, destaca-se os parâmetros característicos das águas de reúso classe 1 (SAUTCHUCK, 2005).

Parâmetros	Concentrações
Coliformes fecais	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	≤ 10 UH
Turbidez (UT)	≤ 2 UT
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 20 mg/L
Nitrito (mg/L)	≤ 1 mg/L
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1 mg/L
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	≤ 5 mg/L
Sólido dissolvido total (SDT) (mg/L)	≤ 500mg/L

Fonte: FIESP (2005) apud Sautchuck (2005).

Quadro 3 - Parâmetros característicos das águas de reúso Classe 1.

As águas de reúso classe 2 tem como usos preponderantes nessa classe são associados às fases de construção da edificação:

- a) lavagem de agregados
- b) preparação de concreto
- c) compactação do solo
- d) controle de poeira.

As águas de reúso classe 3 podem ser utilizadas:

O uso preponderante das águas dessa classe é na irrigação de áreas verdes e rega de jardins. Neste caso, a maior preocupação do emprego da água de reúso fica condicionada às concentrações de contaminantes biológicos e químicos, incidindo sobre o meio ambiente e o homem, particularmente o operário que exerce suas atividades nesse ambiente.

As atividades antrópicas normalmente praticadas em áreas verdes não incluem contatos primários sendo, portanto, ocasional a frequência de interação homem-meio. Os aspectos condicionantes para a aplicação apresentada incidem principalmente sobre a saúde pública, a vegetação e o lado estético. Alguns dos principais problemas relacionados com o gerenciamento da qualidade da água são: salinidade, toxicidade de íons específicos, taxa de infiltração no solo etc. O Quadro 4 apresenta os parâmetros mais importantes que devem ser verificados para o uso de água para irrigação (SAUTCHUCK, 2005; CIRRA, 2009).

Parâmetros	Concentrações		
pH	Entre 6,0 e 9,0		
Salinidade	0,7 < EC (dS/m) < 3,0		
	450 < SDT (mg/L) < 1500		
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)	Entre 3 e 9
		Cloretos (mg/L)	< 350 (mg/L)
		Cloro residual (mg/L)	Máxima de 1 mg/L
	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	> ou = 3,0
		Cloretos (mg/L)	< 100mg/L
		Cloro residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias	0,7 mg/L	
	Regas de jardins e similares	3,0 mg/L	
Nitrogênio total (mg/L)	5-30 mg/L		
DBO (mg/L)	<20 mg/L		
Sólidos suspensos totais (mg/L)	<20 mg/L		
Turbidez (UT)	<5 UT		
Cor aparente (UT)	<30UH		
Coliformes fecais (mL)	≤200/100 mL		

Fonte: SAUTCHUCK, (2005); CIRRA, (2009)

Quadro 4 - Parâmetros característicos das águas de reúso classe 3.

Ressalte-se que em sistemas de irrigação por aspersores, como a água incide diretamente sobre as folhas, algumas culturas mais sensíveis podem apresentar queimaduras. Esse efeito negativo, comum em países tropicais, é agravado em dias mais quentes, quando o cloro pode acumular-se nos tecidos, atingindo níveis tóxicos. Normalmente, concentrações de 1 mg/L, não causam problemas, porém algumas culturas mais sensíveis sofrem danos com concentrações de 0,5 mg/L (SAUTCHUCK, 2005).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu nas diretrizes para o uso de esgotos na agricultura e aquíicultura, publicadas em 1989, o valor numérico de 1.000 coliformes fecais/100 mL (média geométrica durante o período de irrigação), para irrigação irrestrita de culturas ingeridas cruas, campos esportivos e parques públicos. Entretanto, para gramados com os quais o público tenha contato direto deve ser adotado o valor numérico de 200 coliformes fecais/100 mL. Além disso, os nematóides intestinais devem ser < 1 ovo de helminto/L (SAUTCHUCK, 2005).

2.6 Experiências nacionais e internacionais do reúso de águas

A concessionária de água pode fornecer água de reúso oriunda do tratamento do esgoto público da cidade. Em São Paulo, a concessionária tem disponível água de reúso a um custo muito inferior ao da água potável, o que a torna uma alternativa para utilização nos empreendimentos. A princípio a concessionária recomenda utilizar a água de reúso exclusivamente para fins específicos, não-potáveis, em ambientes externos. O Quadro 5, mostra alguns parâmetros de qualidade de água de reúso fornecida pela concessionária (SAUTCHUK, 2005).

Parâmetros	Concentrações
Cloro residual total (mg/L)	> 2 mg/L
DBO (mg/L)	<30 mg/L
Sólido suspenso total (mg/L)	<30 mg/L
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	<200 NMP/100 mL
Turbidez (UT)	<15 UT
Ph	6,0 a 9,0
Óleos e graxa (mg/L)	<15 mg/L

Fonte: FIESP (2005) apud Sautchuck (2005).

Quadro 5 - Características da água de reúso fornecida por uma concessionária de São Paulo.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) já trabalha há algum tempo com água de reúso. Desde a década de 80, essa água tem sido usada para a limpeza de equipamentos e manutenção de áreas nas instalações. Essa utilização funciona de acordo com o Programa da Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização Mundial da Saúde que elaboraram uma estratégia global para a administração da qualidade da água, baseada nos seguintes princípios: proteção da saúde pública, manutenção da integridade dos ecossistemas e uso sustentável da água. Um dos principais atrativos que a Sabesp tem colocado não é relativo a custos, mas em relação às questões de sustentabilidade do negócio. Recentemente, a unidade de tratamento de esgotos recebeu a certificação ISO 9001, pois a empresa garante controle e procedimentos estabelecidos e frequências de análises para atingir a qualidade adequada. A SABESP faz o reúso na região metropolitana, para as grandes indústrias, fornecendo uma água, com qualidade, liberando a água potável para o uso humano. As principais indústrias que possibilitam a utilização da água de reúso são as de produtos de carvão, petróleo, produção primária de metais, curtumes, indústrias têxteis, químicas e de papel celulose (CAPRILLES, 2008).

De acordo com o mesmo autor, outro projeto promovido pela SABESP consiste numa parceria com a prefeitura de Barueri para a criação de um pólo industrial na cidade, próximo à maior estação de tratamento de esgoto. Também está em andamento negociações para fornecimento de água de reúso para o pólo petroquímico de Capuava, que possui uma demanda alta de água. O Aeroporto Internacional de Guarulhos representa efetivamente um grande projeto de técnica de reúso, já que não recebe água da rede pública. Para tanto, usa-se de recarga artificial de lençol freático, assim como processa efluentes em um sistema biológico de tratamento, cujo produto final é reutilizado em suas dependências.

Com o objetivo de implantar medidas para racionalizar a utilização da água, a cidade de São Paulo lançou um programa, o “Água de Reúso”, que irá ajudar a reduzir a necessidade de racionamento. A meta é tentar evitar o rodízio de água na capital e na região metropolitana, com uma redução total de consumo de 20%. A região Sudeste abriga a maior parcela da população brasileira. E é a mais industrializada e de maior produção agrícola no país, destacando-se a cidade de São Paulo por seus programas de reúso de efluentes já colocados em prática. Em São Paulo aproximadamente 21,6 mil metros cúbicos de água potável são utilizados para a limpeza das ruas após as feiras livres semanais da cidade, uma quantidade de água que poderia abastecer em torno de 1.544 residências. O sistema de reúso, que começou a ser desenvolvido há dois anos, poderá proporcionar grande economia para São Paulo e amenizar o impacto de racionamento. A análise de aplicação da água de reúso deve considerar os aspectos técnicos da qualidade da água, logística de distribuição da mesma, gestão da qualidade da água fornecida e avaliação econômica considerando, além da tarifa de fornecimento, custos de transporte, custos associados à gestão, tratamentos adicionais, entre outros (CAPRILLES, 2008; PINHO, VASCONCELOS, MARINHO, 2008).

Outro caso que utilizam água de reúso é o do Parque de diversões Hopi Hari, no Estado de São Paulo, o qual possui dois poços profundos de água que servem para o abastecimento do parque, com uma vazão média de 60 m³/h. Todo o processo é automatizado e o esgoto tratado, já denominado água de reúso, é bombeado para um reservatório no ponto mais alto do parque, sendo essa água utilizada para fins sanitários e de irrigação dos jardins e o reúso em agricultura irrigada de cultivos anuais, como milho e girassol, hidroponia em flores e irrigação de pastagens para produção de feno. Na Bacia de Campos, os grandes produtores da agroindústria açucareira já usam bem a tecnologia da reciclagem. O uso de águas residuárias para irrigação é de grande importância também em termos de planejamento para proteção ambiental (CAPRILLES, 2008).

Outras experiências nacionais têm destaque na prática do reúso, como a aplicação sistemática de efluentes, que recebem tratamento primário, na região do Seridó, no Rio

Grande do Norte, para irrigação de capineiras nas vizinhanças da área urbana, com maior destaque às sedes municipais de Santa Cruz, Campo Redondo, Caicó, Currais Novos, Goianinha, Eduardo Gomes e Parelhas (GUIDOLIN, 2000).

De acordo com Pinho, Vasconcelos, Marinho (2008), no estado do Paraná, estudos apontam para as várias possibilidades de reúso dos efluentes gerados nas ETE's das bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira, entre elas destacam-se o resfriamento industrial, irrigação agrícola e piscicultura. Os Estados mais avançados em termos de pesquisas são Bahia, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Ceará, todos com grande tendência à efetiva implantação de programas que podem contribuir para o melhoramento ambiental, produção de culturas e melhoria da qualidade de vida da população. Desde 1974, o governo do estado do Rio Grande do Sul vem realizando o controle da poluição das indústrias através de seus órgãos ambientais FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) e SEMA (Secretaria Estadual do Meio Ambiente). Inicialmente, a implantação dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos foi acompanhada nas indústrias que até então lançavam seus efluentes líquidos "in natura" nos corpos hídricos. Dessa forma com o passar do tempo às indústrias passaram a utilizar a prática do reúso do efluente como parte de seus processos produtivos. A crescente preocupação com a conservação dos recursos hídricos no nosso estado levou a FEPAM realizar um estudo analisando as experiências de empresas que estão adotando a prática do reúso. No ano de 2004 a FEPAM realizou uma pesquisa junto de 110 indústrias que realizam o reúso de água, a partir dessa pesquisa foi realizado um diagnóstico preliminar das conseqüências ambientais da adoção dessas práticas. As empresas representam diferentes tipologias como: indústrias de papel, couro, móveis e artefatos de madeira, químicas e metalúrgicas e se localizam em diferentes bacias hidrográficas. Foram verificadas que todas as indústrias pesquisadas utilizam com sucesso a prática do reúso. Os fatores que levaram as indústrias a utilizar esta prática são basicamente os mesmos: diminuição na quantidade de água aduzida, diminuição no lançamento de efluentes líquidos, redução de custos, utilização de práticas que agregam valor ao produto, melhoria da imagem da empresa perante a sociedade. Concluiu-se ainda que a quantidade de efluente que está deixando de ser lançado nos corpos hídricos do Estado por estas empresas estudadas, equivale à necessidade diária para abastecer uma população maior do que a do município de Porto Alegre (PAZ, RIBAS, 2007).

Segundo Fink e Santos (2002), a Califórnia e a Flórida ocupam destaque pois possuem critérios específicos para o reúso potável indireto planejado. A Califórnia tem antigos requisitos gerais para o reúso potável indireto, datado de 1978, por meio da recarga de aquíferos, os quais estão sendo atualizados para garantir que um aquífero que recebeu água de reúso atenda ao padrão de potabilidade e não exija tratamento posterior antes do consumo. A

Flórida exige que os distritos de gerenciamento das águas do Estado identifiquem quais áreas têm ou terão abastecimento problemático nos próximos 20 anos, devendo elaborar estudos de viabilidade para as ETE's localizadas nestas áreas, prevendo o reúso de seus efluentes ou demonstrando que isto é inviável por razões econômicas, ambientais ou técnicas. Sendo julgado viável, a descarga do efluente tratado nas águas superficiais ou em injeções de poços profundos deve-se limitar à água de reposição necessária para os sistemas de reúso.

No Arizona, o reúso potável direto é especificamente proibido, e a recarga de aquíferos com efluentes tratados em ETE's é uma operação fiscalizada por dois departamentos, o Arizona Department of Environmental Quality (ADEQ) e o Arizona Department of Water Resources (ADWR). No Texas, na medida em que o reúso das águas se torna mais comum, considera-se natural que surjam mais e mais aspectos legislativos disciplinando esta prática. Os tópicos legais de interesse abrangem mananciais e cursos d'água, aquíferos profundos e superficiais e direitos de propriedade sobre usos úteis da água captada. A maior parte dos rios do Texas possui a vazão dominante proveniente do reúso, alguns em mais de 90%, especialmente na estação seca. A extensão da proteção legal para os usuários de jusante depende do manancial dos usuários de montante ser superficial ou subterrâneo. Por exemplo, a cidade de Abilene, que depende de mananciais superficiais, está obrigada pelo "Brazos River Authority" a retornar 40% da vazão captada para o rio, sob a forma de efluente tratado, para compensar a perda d'água em um de seus reservatórios devido ao reúso. Estudos realizados na Califórnia, Israel e Portugal têm demonstrado que diversas culturas irrigadas com águas servidas requerem pouca ou nenhuma complementação adicional de fertilizantes químicos ou orgânicos (FINK, SANTOS, 2002).

Por meio da utilização das águas de abastecimento por duas vezes - uma para uso doméstico e novamente para irrigação - os "poluentes" em potencial tornam-se fertilizantes importantes para o meio agrícola, incrementando a produção e produtividade agrícola e impedindo a poluição e contaminação dos rios e lagos, o que por sua vez, novamente propiciam uma fonte natural e limpa para o suprimento e abastecimento doméstico. Essa concepção não é recente, tendo sido aplicada em 1650 em Edimburgo, na Escócia, sendo posteriormente aplicada nos arredores de Londres, Manchester e outras cidades. Na Austrália, essa técnica começou a ser aplicada em 1897, na Werribbee Farm, em Melbourne, e aproximadamente 10.000 hectares de terras agrícolas são irrigadas com águas servidas, sendo o maior sistema em operação no mundo (BEEKMAN, 1998).

Ainda segundo Beekman (1998), nas últimas décadas, esta metodologia tem se consagrado como uma forma econômica de controle da poluição, e simultaneamente, como uma opção importante para contrapor a escassez de águas. Aproximadamente 500.000 hectares de terras

agrícolas, em 15 países, estão sendo irrigadas com águas servidas. Entre estes, Israel detém um dos mais ambiciosos programas de reutilização de águas servidas tratadas, sendo que 70% das águas servidas do país são reutilizadas para a irrigação de 19.000 hectares. No entanto, a utilização de águas servidas em países em desenvolvimento apresenta características sanitárias insatisfatórias, sendo, muitas vezes, aplicadas na forma “in natura” na agricultura. Águas servidas de Santiago do Chile, que praticamente representam a vazão do rio Mapocho durante o período seco, irrigam cerca de 16.000 hectares de horticultura, destinadas ao consumo dos mercados dos centros urbanos, o que resultou em febres tifóides em meados da década de oitenta. Por isso, o controle sanitário é um fator essencial de extrema relevância na utilização dessa técnica.

Guidolin (2000) cita ainda o caso de Brunswick, na Alemanha, onde foi criada, desde 1952, uma associação de usuários para aproveitamento dos esgotos da cidade. O esgoto é coletado na estação de tratamento e conduzido por gravidade por uma adutora até as estações de bombeamento nas áreas irrigadas por aspersão. Em 20 anos de operação do sistema não foi constatado nenhum caso de infecção, o que demonstra que as medidas de segurança adotadas são suficientes. O uso de água reciclada para fins agrícolas próximas a áreas urbanas pode ser atrativo, pois assim os irrigantes visam receber grandes quantidades de água reciclada em vez de água pura de fontes convencionais. Outro caso mencionado é o de São Petesburgo, que opera um dos maiores sistemas de reúso, distribuindo água reciclada para irrigação de áreas domésticas, parques de condomínios, de escolas e campos de golfe, além de torres de ar condicionado e sistemas de proteção a incêndios. Enquanto que, em San Antonio, Texas, utiliza-se pivôs centrais para aplicação de efluentes domésticos do município no perímetro de irrigação de Salatrillo. Ainda, em Amman, Jordânia, onde a precipitação média é de aproximadamente 100 mm por ano, os esgotos são tratados em um sistema de lagoas de estabilização e encaminhados à barragem de King Tahial, onde, após a diluição, são utilizados para irrigação.

Dentre diversas atividades a que se encontra mais desenvolvida na região Nordeste é o reúso agrícola. De acordo com Lavrador Filho (1987), a esfera agrícola no Brasil utiliza um volume considerável de água. As pesquisas direcionadas ao reúso na região Nordeste, em particular na irrigação de culturas têm sido bem aceitas pela comunidade científica e pela sociedade.

Um exemplo desta prática ocorre no município de Caicó que está localizado no Rio Grande do Norte, na Região Semi-árida do Nordeste do Brasil, com uma população de 58.000 habitantes. A região é caracterizada pela escassez e instabilidade de chuvas, alta temperatura com grandes períodos de estiagem, que chegam muitas vezes a comprometer o abastecimento

humano. Os rios são intermitentes e ficam secos durante a maior parte do ano. Todos estes fatores prejudicam o desenvolvimento da agricultura da região, especialmente a indisponibilidade de água durante a maior parte do ano. Os agricultores da cidade de Caicó utilizam os esgotos domésticos, tratados e não tratados, para irrigação. Esta situação pode trazer riscos à saúde pública e danos ao meio ambiente, no entanto os esgotos são utilizados in natura, pelos agricultores ribeirinhos, que os utilizam na irrigação de capim para alimentação animal. Pode-se dizer que o uso dos esgotos nestas condições é uma prática de reúso agrícola de água, embora de maneira informal e não controlada. Os dados coletados mostram que esta é uma atividade muito antiga na cidade, encontrando-se um agricultor que já utiliza esgoto para irrigação há 50 anos e mais de 30 % dos entrevistados praticam reúso há mais de 20 anos (ANDRADE, 1997).

Lima (1999) e Bastos (2003) verificaram o potencial de utilização de águas residuárias tratadas em lagoas de estabilização para fins de irrigação no município de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba. A região tem apresentado níveis críticos de disponibilidade hídrica, principalmente em épocas de estiagem. A localização da Estação de Tratamento de Esgotos Martinópolis, numa região predominantemente agrícola no município, contribui para o potencial de reúso desse setor. O município de São José dos Pinhais possui uma alta taxa de urbanização (89,75%), entretanto aproximadamente 745 km² (80%) do seu território são definidos como zona rural: ou seja, dos 931,7 km², apenas 186 km² (20%) constituem a zona urbana. O município possui uma grande área territorial e clima adequado para a utilização de lagoas no tratamento de esgotos, apesar de não ser um processo de tratamento de esgotos usualmente implantado no Paraná. Os produtores da região, na maioria pequenos produtores, com áreas plantadas de 3 a 7 hectares, não tem condições financeiras de pagar pelos custos de tratamento de água, inclusive, alguns utilizam como fonte de água somente a chuva, que fica armazenada em cavas, deixando de irrigar o suficiente, em época de estiagem, devido ao custo energético do bombeamento. O reúso de água da ETE nas áreas agrícolas próximas à mesma é viável e muito importante para o desenvolvimento dos produtores. Os pequenos produtores que utilizam somente a água de chuva para irrigar suas culturas, em época de seca, acabam perdendo sua produção, pois não tem condições de buscar água de outras fontes. Muitas das propriedades da região têm na proximidade pequenos rios, entretanto, as águas, antes utilizadas para irrigação, encontram-se na sua maioria contaminadas, dificultando seu uso para abastecimento, recreação e irrigação irrestrita, sendo que o reúso constitui-se em importante alternativa, em que pese a necessidade de que os cuidados com a qualidade da água, aplicada por aspersão, serem maiores, devido à água ter contato direto com a cultura.

O reúso agrícola informal está arraigado à cultura local, sendo praticado na cidade há mais de meio século. Foram identificados três fatores determinantes desta prática na cidade: a escassez de água; o fato de o esgoto estar disponível o ano inteiro e as vantagens econômicas de maior produtividade e menores despesas. Sabe-se que de uma forma intuitiva a população estabeleceu barreiras sanitárias para o reúso: a única cultura irrigada pelo esgoto doméstico é o capim (que serve para a forragem animal) e não é permitido o uso de aspersores para a irrigação direta com esgoto bruto. Outro aspecto verificado é que os agricultores reconhecem o risco sanitário (risco potencial) decorrente desta atividade. No entanto, ao considerar suas experiências, eles fazem, empiricamente, uma comparação entre o risco potencial e o real, considerando que este risco (real) é baixo. A constatação, pela própria vivência, da diferença entre o risco potencial e o risco real é que afasta o temor do risco sanitário, e provavelmente tem contribuído para que eles continuem praticando esta atividade (MEDEIROS, 2006; LIMA et al. 1999; BERNARDI, 2003).

2.7 Benefícios e problemas do reúso para o ambiente e para a saúde pública

Sistemas de reúso adequadamente planejados e administrados trazem melhorias ambientais e de condições de saúde, entre as quais: evitam a descarga de esgotos em corpos de água; preservam recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos; permitem a conservação do solo, através da acumulação de “húmus” e aumenta a resistência à erosão; contribuem, principalmente em países em desenvolvimento, para o aumento da produção de alimentos, elevando, assim, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos esquemas de reúso (HESPANHOL, 2003; FERNANDEZ, 2002).

Para Blum (2003), a adequação da água a determinados usos exige um conhecimento suficiente sobre suas características e seus efeitos, devendo-se também conhecer os riscos que podem apresentar para a saúde e para o meio ambiente. Para uma grande concentração de compostos químicos presentes na água, especialmente compostos orgânicos ou sintéticos ainda não se conhece quais as concentrações que seriam tóxicas, o que faz do reúso potável direto uma alternativa ainda pouco adotada no mundo e não recomendável no caso de os esgotos utilizados conterem parcelas significativas de efluentes industriais. Os esgotos municipais brutos contêm ainda uma grande variedade de constituintes que possuem significado sanitário dependente de sua natureza e concentrações presentes. Os patogênicos presentes que podem ser encontrados em esgotos municipais incluem todos os grandes grupos: bactérias, protozoários, helmintos e vírus. No entanto, é sabido que as tecnologias

tradicionais de tratamento são usualmente capazes de reduzir as concentrações de matéria orgânica de origem humana (matéria fecal), detergentes, gorduras presentes nos esgotos domésticos, até os níveis exigidos para o reúso. O contato humano com água de reúso pode ocorrer de diversas maneiras: contato por ingestão direta da água, contato por ingestão de alimentos crus e verduras irrigadas e consumidas cruas, contato por ingestão de alimentos processados (vegetais enlatados) e o contato da pele por banho em lagos e finalmente o último critério básico, a adequação da qualidade ao uso pretendido.

Citando ainda Blum (2003), o exemplo mais comum de sistemas de reúso direto de águas para fins não potáveis é o que utiliza os efluentes de estações de tratamento de esgoto. A confiabilidade do sistema, a produção da água de reúso em conformidade com os padrões estabelecidos, ficará comprometida se o efluente secundário deixar de atender às especificações mínimas exigidas. Em países onde a prática do reúso de águas é intensiva como nos Estados Unidos as exigências são rigorosas, visando evitar a presença de substâncias na rede coletora em teores que possam comprometer o tratamento biológico nas ETE (s). Os critérios da OMS (1989) para a irrigação com águas de esgoto sustentam-se, entre outros argumentos, no entendimento de que a simples presença de um microrganismo patogênico no efluente utilizado não implica necessariamente na imediata transmissão de doença, caracterizando somente um risco potencial. Pensando nisto e com o objetivo de minimizar este risco foram definidos os limites de 103 CF/ 100 mL para coliformes fecais e < 1 ovo/L pra helmintos.

Em outros extremos, encontram-se abordagens mais restritivas como as propostas por Asano et al. (1992) e USEPA (1992) que indicam para a irrigação irrestrita (refere-se à irrigação com efluentes de alta qualidade para toda e qualquer situação) a virtual ausência de microrganismos patogênicos, incluindo vírus e protozoários. Os esgotos sanitários podem contar com os mais variados microrganismos patogênicos. Portanto a utilização dos mesmos em irrigações envolve riscos à saúde humana, devendo-se garantir que estes microrganismos não estejam presentes em densidades que possam oferecer risco significativo. As formas de controle vão desde a aplicação de processos de tratamento mais eficientes, até o monitoramento periódico da qualidade da água de reúso. No Brasil, os governos estaduais e federais devem iniciar, imediatamente, processos de gestão para estabelecer bases políticas, legais e institucionais para o reúso, tanto em relação aos aspectos associados diretamente ao uso de efluentes, como aos planos estaduais ou nacionais de recursos hídricos. Linhas de responsabilidade e princípios de alocação de custos devem ser estabelecidas entre os diversos setores envolvidos, ou seja, companhias responsáveis pela coleta e tratamento de esgotos, os usuários que se beneficiaram dos sistemas de reúso, e o Estado, ao qual compete o suprimento

adequado de água, a proteção do meio ambiente e da saúde pública. Em adição, e para assegurar a sustentabilidade, deve ser dada atenção adequada aos aspectos organizacionais, institucionais e socioculturais do reúso (HESPANHOL, PROST, 1993).

Naval e Wanderley (2005) conduziram trabalho com o objetivo de avaliar o risco potencial de organismos patogênicos do reúso de águas de esgoto de um sistema anaeróbio na irrigação de batata doce e concluíram que a qualidade microbiológica da água de reúso não provocou altos índices de contaminação de tubérculos, ficando dentro dos limites favoráveis, o que viabiliza a utilização para esta prática. A maior concentração das bactérias do grupo coliforme foi encontrada no solo e não sobreviveram mais do que duas semanas.

Ainda se observa muita controvérsia na definição dos riscos aceitáveis, ou seja, na definição do padrão de qualidade e do grau de tratamento que garanta segurança sanitária, sendo que a maioria dos trabalhos de pesquisa consultados reporta que o cumprimento das diretrizes da OMS (1989) é suficiente para garantir segurança.

Tradicionalmente, a água de irrigação é classificada em várias classes de qualidade, visando à obtenção dos benefícios agrícolas da produção de alimentos e grãos, bem como a prevenção de prováveis efeitos ambientais, que dependem da qualidade da água e das características do solo. Ayers e Westcot (1994) classificaram a qualidade da água para a irrigação baseada na salinidade, toxicidade e efeitos ambientais. Estes critérios ou diretrizes são também aplicados e utilizados para águas de reúso com a mesma finalidade de irrigação. Consideram-se as características químicas como os sais dissolvidos, o conteúdo relativo de sódio e a presença de íons tóxicos.

O efeito dos íons sódio presentes em águas de reúso é o de reduzir a infiltração da água no solo pela redução da permeabilidade do solo. Mas este efeito é também dependente da relação entre a concentração dos íons sódio com os íons cálcio e magnésio, na chamada relação de adsorção de sódio (RAS), bem como da concentração total de sais presentes na água. Para um dado valor da concentração total de sais, um aumento no valor da RAS irá provocar uma diminuição da permeabilidade do solo e a formação de crostas na sua superfície, reduzindo a infiltração da água (FAO, 1985; AYERS, WESTCOT, 1994).

A CETESB possui um manual em orientações com relação à prática de reúso de água proveniente das estações de tratamento de esgoto domiciliar, estas orientações se referem à prática do reúso em culturas. Ele aborda questões como a área a ser irrigada com estes efluentes. Ele cita que a área não pode estar em área de preservação permanente (APP) ou área de reserva legal, não pode estar em áreas de proteção de aquíferos ou áreas de proteção de mananciais, afastamento de no mínimo 500 metros de núcleos populacionais para evitar reclamações quanto ao odor, sendo que esta questão do afastamento pode ser ampliada ou

reduzida dependendo dos fatores climáticos e da região. Segundo a CETESB (2005), quando atendidas as exigências quanto à localização, a aplicação pode ser realizada em pomares, culturas que não são consumidas cruas, irrigação paisagística ou esportiva, etc. A análise dos parâmetros varia quando o efluente analisado para reúso é doméstico e quando é industrial. Dentre as análises, quando se trata de efluente doméstico, tem-se DBO, DQO, óleos e graxas, pH, sólidos dissolvidos totais, entre outras. Quando falamos em efluente industrial deve-se incluir nas análises: arsênio, bário cobre, entre outros. Além das análises citadas os parâmetros biológicos devem ser considerados com vistas à proteção da saúde pública. Quando é feito o encaminhamento para que se utilizem os efluentes provenientes de ETE's, a CETESB (2005) exige que seja feito um projeto onde neste projeto devem constar informações quanto ao efluente, como por exemplo, quantidade de efluente tratado, tipo de sistema de tratamento, além dos laudos de caracterização do efluente. Deverá também ser apresentado um relatório da área onde será aplicado o efluente, contemplando a caracterização do solo, das águas subterrâneas e mapas. Quanto à aplicação é fundamental que se especifique quanto será aplicado ao dia, tipo de cultura e ciclo da cultura (CETESB, 2005).

De acordo com Hespanhol (2003), alguns efeitos prejudiciais podem ocorrer em associação com o uso de esgotos na irrigação. Um efeito potencialmente negativo é a poluição, particularmente por nitratos, de aquíferos subterrâneos, utilizados para abastecimento de água. Além disso a absorção do nitrogênio pelas culturas reduz a possibilidade de contaminação por nitrato, mas isso depende da quantidade absorvida pelas plantas e das taxas de aplicação de esgotos no solo. O acúmulo de contaminantes químicos no solo é outro efeito negativo que pode ocorrer. Dependendo das características dos esgotos, a prática da irrigação por longos períodos, pode levar à acumulação de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos, e ao aumento significativo de salinidade, em camadas insaturadas. Para evitar essa possibilidade, a irrigação deve ser efetuada com esgotos de origem predominantemente doméstica. A necessidade de um sistema adequado de drenagem deve ser também considerada, visando minimizar o processo de salinização de solos irrigados com esgotos. Da mesma maneira, a aplicação de esgotos por períodos muito longos pode levar à criação de habitats, propícios à proliferação de vetores transmissores de doenças, tais como mosquitos e algumas espécies de caramujos. Nesse caso, devem ser empregadas técnicas integradas de controle de vetores, para proteger os grupos de risco correspondentes.

Para Blum (2003), os componentes considerados importantes em águas de reúso para irrigação agrícola, levando-se em conta seus efeitos sobre as plantas, são a salinidade, as substâncias tóxicas, o sódio, o cloro e os nutrientes. Suas concentrações na água dependem, entre outros fatores, do tipo de esgotos utilizados. A salinidade pode afetar bastante o

desenvolvimento de plantas irrigadas, e os teores limites variam conforme o tipo de planta irrigada. O autor ainda define quatro teores de salinidade de águas para irrigação em razão da tolerância de plantas:

- Salinidade adequada a plantas sensíveis: feijão, cenoura, cebola;
- Salinidade adequada a plantas moderadamente sensíveis: alface, tomate, batata;
- Salinidade adequada a plantas moderadamente tolerantes: soja, trigo, mamão;
- Salinidade adequada a plantas tolerantes: cevada, algodão, beterraba.

Com relação aos sólidos dissolvidos devemos levar em consideração os íons, sódio, boro e cloretos quando utilizada a água recuperada de esgotos municipais. O excesso de sódio em relação ao cálcio e magnésio diminui a permeabilidade do solo, provocando uma redução na absorção pelas plantas. Cloretos quando em concentrações excessivas podem causar redução no crescimento das plantas e queima das folhas. Em relação aos compostos tóxicos, a sua presença na água de irrigação pode afetar gravemente as plantas, sendo que alguns não são removidos nos processos de tratamento. Normalmente, as águas recuperadas de esgotos de origem doméstica geralmente apresentam teores de metais pesados e de compostos orgânicos abaixo daqueles considerados fitotóxicos. Mas também estas águas contêm os nutrientes necessários para o crescimento de plantas, os nutrientes de maior interesse são os fósforos, nitrogênio, potássio, zinco, boro e enxofre. O nitrogênio é considerado o mais importante e alguns cuidados são necessários em relação a sua presença e teores em águas de irrigação. Excesso deste nutriente na água pode acarretar problemas para os animais que se alimentam desta planta. O fósforo geralmente em águas recuperadas de esgotos municipais não atende as necessidades das plantas, exigindo uma suplementação, no entanto um eventual excesso deste nutriente não traz prejuízo nenhum à planta (FAO, 1985; AYERS, WESTCOT, 1994; BLUM, 2003).

No quadro são apresentados os limites recomendados de alguns constituintes em água de reúso, de acordo com a compilação feita em vários autores, uma vez que não existe uma norma padronizada e aceita de forma geral. Os valores indicados no quadro para íons metálicos são considerados dentro de um volume de uso de água de irrigação que é considerado consistente com as chamadas boas práticas de irrigação, ou seja, um volume médio de 10 milhões de litros por hectare e por ano. Se os volumes utilizados excedem este valor médio, monitoramento periódico deve ser feito para evitar problemas (FAO, 1985).

Neste contexto, existem diversas formas de irrigação e o Quadro 6 apresenta os padrões de qualidade para águas de reúso para a irrigação.

Parâmetro	Unidade	Valor aceitável (\leq)	Faixa usual de reúso
Condutividade elétrica	dS/m	0,7	0-3
STD	mg/L	450	0-2000
Nitrogênio-NO ₃	mg/L	5,0	-
pH	-	6,5-8,4	-
Fósforo -PO ₄	mg/L	2,0	-
Potássio	mg/L	2,0	-
RAS	me/L	15	-
Mercurio	mg/L	0,01	-
Alumínio	mg/L	5,0	5,0-20,0***
Cloretos	mg/L	106,5	100-140
Cromo	mg/L	0,10	0,1-10***
Cádmio	mg/L	0,01	
Cobre	mg/L	0,20	
Manganês	mg/L	0,20	
Níquel	mg/L	0,20	
Zinco	mg/L	2,0	
Sódio	mg/L	69,0	3-70
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	200* e 1000**	1000
DBO _{5,20}	mg O ₂ /L	30	10-100
Óleos e graxas	mg/L	8	-
Cloro residual	mg/L	1,0	-
Bicarbonato-HCO ₃	mg/L	90,0	-
Sólidos Suspensão	mg/L	50,0	-
Manganês	mg/L	0,1	-
Ferro	mg/L	0,1	-
Nitrogênio-NH ₄	mg/L	5,0	-
Boro	mg/L	0,5	0,7

Legenda:

*campos, parques e jardins públicos.

** agricultura.

*** efeitos de curto prazo.

Fonte: FAO, (1985); AYERS, WESTCOT, (1994).

Quadro 6 - Padrões de qualidade para águas de reúso em irrigação.

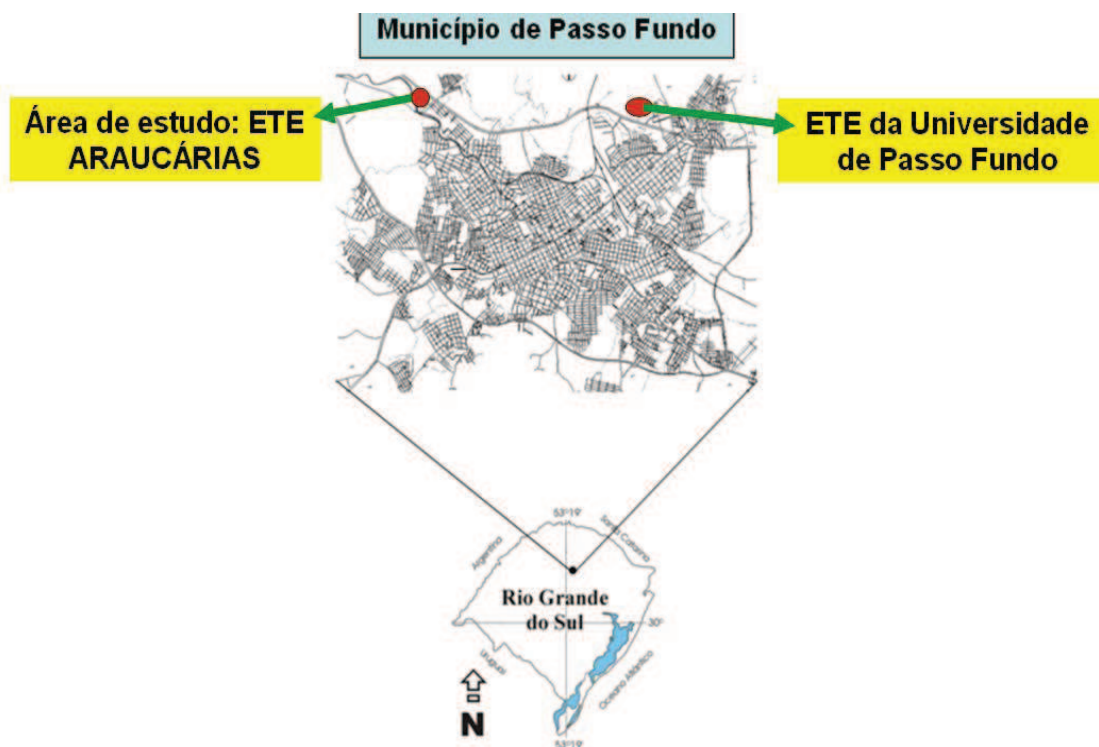
O uso de esgotos, particularmente no setor agrícola, se constitui em um importante elemento das políticas e estratégias de gestão de recursos hídricos. Muitos países, situados em regiões áridas e semi-áridas, tais como os do norte da África e do oriente médio, consideram esgotos e águas de baixa qualidade, como parte integrante dos recursos hídricos nacionais, equacionando a sua utilização junto a seus sistemas de gestão, urbanos e rurais. Uma política criteriosa de reúso transforma a problemática poluidora e agressiva dos esgotos, em um recurso econômico e ambientalmente seguro. As medidas de controle governamentais, sobre sistemas de uso de esgotos na agricultura, serão efetivamente aplicadas, se for efetuada uma escolha cuidadosa das áreas e os tipos de culturas que podem ser irrigadas com esgotos. A decisão de colocar efluentes tratados à disposição de fazendeiros, para irrigação irrestrita, elimina as vantagens de poder definir os locais adequados, escolher as técnicas de irrigações apropriadas, estabelecer as culturas permitidas e de controlar os riscos sobre a saúde e os

impactos ambientais. O sucesso de planos de reúso depende da maneira e profundidade com que as ações e atitudes seguintes, forem efetivamente implantadas: estabelecimento de critérios a serem adotados para avaliar as alternativas de reúso propostas; escolha de estratégias de uso único ou uso múltiplo dos esgotos; implantação de sistemas gerenciais e organizacionais para administrar os esgotos, e para selecionar e implantar o plano de reúso; considerações de ordem ambiental e de saúde pública. A adoção de uma mistura de estratégias para o uso dos esgotos traz a vantagem de permitir maior flexibilidade, maior segurança econômica e melhor eficiência do uso dos esgotos disponíveis ao longo do ano, enquanto que a estratégia de uso único pode levar as sobras sazonais, que são, normalmente, condenadas à disposição improdutiva (HESPANHOL, PROST, 1993; HESPANHOL, 2003).

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Local de estudo

O estudo foi conduzido em dois locais, o primeiro foi a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Passo Fundo (Estação de tratamento de esgoto Araucária) conforme Figura 1.



Fonte: Neckel et al. (2009). Adaptado por Goellner (2010).

Figura 1: Mapa de localização das estações de tratamento de esgoto estudadas.

A ETE Araucárias coleta atualmente o esgoto da região central do município, abrangendo aproximadamente 20% da rede. Localizada à margem esquerda da BR 285, sentido Passo Fundo – Carazinho, nas proximidades do bairro Alexandre Zachia conforme mostra a Figura

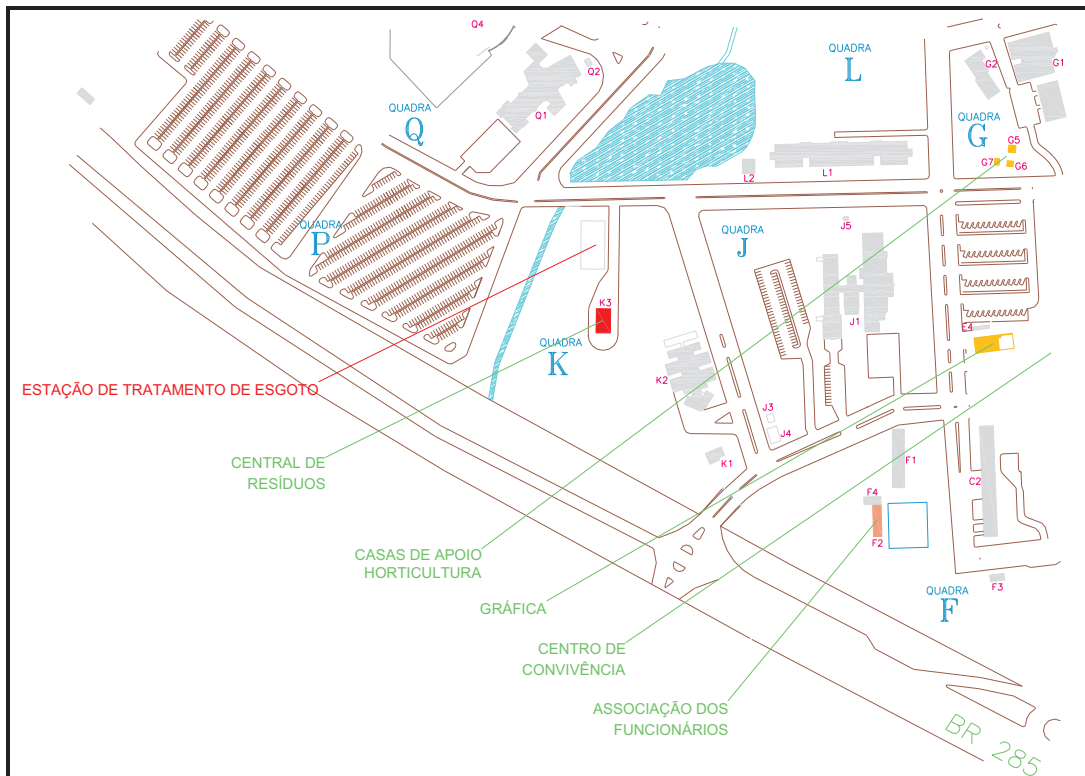
2. Ocupa uma área de 26 hectares, com uma vazão de entrada de 100L/s, onde são tratados 3000 m³/dia de esgoto. O esgoto coletado é direcionado primeiramente à estação de recalque também localizada na BR-285, distante aproximadamente 2 km da ETE, onde recebe um pré-tratamento. Após, é bombeado para a ETE, onde é tratado num conjunto de quatro lagoas. A primeira lagoa é anaeróbia, a segunda facultativa e as duas últimas de maturação.



Fonte: Alves (2005); Neckel et al. (2009). Adaptado por Goellner (2010).

Figura 2: Mapa de localização da estação de tratamento de esgoto do município de Passo Fundo – ETE Araucárias.

O segundo local estudado foi a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Fundação Universidade de Passo Fundo – UPF, localizado na BR 285 km 171, Campus I - Bairro São José, Passo Fundo-RS como pode ser vista na Figura 3. O sistema utilizado na ETE é o processo tecnológico de digestão anaeróbia em reatores de fluxo ascendente em manta de lodo do tipo UASB, reator biológico aeróbio e decantador secundário, com uma capacidade de atender cerca de 18.000 pessoas.



Fonte: Universidade de Passo Fundo-RS (2009).

Figura 3: Mapa de localização da ETE da Universidade de Passo Fundo, no Campus I no Município de Passo Fundo.

3.2 Desenvolvimento da Pesquisa

Para o desenvolvimento da pesquisa, inicialmente foi estudado o projeto dos sistemas de tratamento que formam a ETE(s) do Campus I da UPF e a ETE do Município de Passo Fundo-RS, objetivando-se conhecer os processos envolvidos nos dois sistemas de tratamento.

Paralelamente, foram levantados e tabulados os parâmetros já analisados em cada uma das ETE's, durante o período de 2007, 2008 e 2009, com as amostragens tendo sido feitas à jusante da estação e à montante dos respectivos corpos receptores. Após, com base nos fins pretendidos para o reúso desses efluentes, foram determinados os parâmetros necessários para a finalidade do presente estudo.

Alguns parâmetros adicionais foram obtidos e suas amostras coletadas mensalmente nas duas ETE's, durante o período de agosto a dezembro de 2009. As análises foram realizadas no Laboratório de Efluentes da Universidade de Passo Fundo e da Concessionária Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) em Porto Alegre. Os parâmetros analisados foram os seguintes e seguiram a metodologia internacionalmente padronizada.

- Alcalinidade (expressa em mg/L CaCO_3): utilizado o método da titulação potenciométrica até pH pré-determinado .
- Sólidos Suspensos (expresso em mg/L): determinado pelo método de Winkler.

- Sólidos Sedimentáveis (expresso em mg/L): determinado pelo método do Cone de Imhoff.
- Nitrogênio Amoniacal (expresso em mg/L): determinado pelo método da Nesslerização com destilação prévia.
- Nitrogênio Nitrato (expresso em mg/L): determinado pelo método Ácido Fenoldissulfônico.
- Nitrogênio Nitrito (expresso em mg/L): determinado pelo método da Sulfanilamida e N-(1- Naftil) Etilenodiamina.
- Nitrogênio Total (expresso em mg/L): utilizado o método de determinação de nitrogênio na forma de Amônia.
- Fósforo total (expresso em mg/L): utilizado o método do Ácido Ascórbico.
- Óleos e graxas (expresso em mg/L): determinado pelo método da Extração por Solvente.
- Sulfetos (expresso em mg/L): determinado pelo método do Azul de Metileno.
- Carga patogênica (expresso pelo NMP/ 100 mL): A carga patogênica foi avaliada pela estimativa da densidade bacteriana do grupo das coliformes fecais e totais pelo método da contagem presuntiva do número mais provável (NMP).
- pH (expresso em unidades de pH): o pH foi medido pelo uso de potenciômetro específico.
- DQO (expressa em mg O₂/L): determinada pela método do Dicromato de Potássio.
- DBO (expressa em mg O₂/L): determinada pelo método de Diluição e Incubação.

As análises físico-químicas e biológicas seguem a metodologia padronizada pela American Public Health Association (APHA), American Waterworks Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF), na sua 20ª edição publicada em 1998.

Os dados obtidos nas análises feitas nos dois sistemas de tratamento foram sistematizados e comparados entre si e também foi quantificada a variabilidade dos parâmetros analisados em função das datas e épocas de coletas nos dois sistemas.

Os gráficos foram feitos com o uso do programa CoPlot e as médias e desvios padrões com o CoStat, licenciados pela CoHort Software sediada em Monterey na Califórnia (EUA).

Alguns dos parâmetros analisados foram comparados com os padrões de qualidade de água para reúso em agricultura e ajardinamento, com o objetivo de estudar a viabilidade de seu uso para a construção de uma recomendação para a situação brasileira.

Também para fins de observação do comportamento da carga patogênica, foram feitos alguns ensaios visando à obtenção de dados quanto à sobrevivência das bactérias em condições de armazenamento do efluente e de aplicação em jardim.

1 - Ensaio de conservação: foram obtidas amostras de efluentes das duas estações de tratamento e armazenadas em bombonas plásticas de 50 litros no depósito da central de armazenamento de resíduos da Universidade de Passo Fundo. A coleta foi em 03/05/2010 e coletaram-se duas amostras por bombona, em duplicata, para análise de coliformes fecais e totais no Laboratório de Microbiologia da Universidade de Passo Fundo da Faculdade de Engenharia de Alimentos (CEPA). As avaliações foram feitas aos 1, 2, 7, 10, 14, 17, 21, 14 e 30 dias após a coleta inicial.

2 - Ensaio de aplicação em jardim: demarcou-se uma parcela de jardim com 10 m x 30 m. Essa área pode ser observada de modo lateral na Figura 4 e de maneira frontal na Figura 5.



Figura 4: Visualização lateral da parcela utilizada para o ensaio de avaliação da sobrevivência das bactérias coliformes.



Figura 5: Visualização frontal da parcela utilizada para o ensaio de avaliação da sobrevivência das bactérias coliformes.

Depois da área demarcada coletou-se o efluente da estação de tratamento da Universidade de Passo Fundo e efetuou-se a aplicação do efluente no local de estudo, conforme a Figura 5. Para isto utilizou-se um coletor de efluentes tratorizado, com a capacidade total de 200 litros, conforme pode ser visualizado na Figura 6.



Figura 6: Aplicação do efluente da ETE da UPF para o ensaio de avaliação da sobrevivência das bactérias.



Figura 7: Representação de coletor de efluentes utilizado na pesquisa.

Convém lembrar, que antes da aplicação, foram coletadas duas amostras de 100 mL do esgoto para a contagem das bactérias. Após a aplicação do efluente sobre a grama, foram cortadas amostras da mesma, em cinco pontos da área, duas amostras/coleta, conforme a Figura 7, após as amostras foram colocadas em sacos plásticos (Figura 9). As coletas foram aos 1, 2, 3, 4, 7 e 10 dias após a aplicação.



Figura 8: Corte das amostras de grama no local de estudo.



Figura 9: Representação da coleta das amostras de grama em sacos plásticos.

O isolamento das bactérias foi feito mediante a lavagem do material coletado no próprio saco da amostra com 1 litro de água bidestilada e esterilizada (Figura 10).

O conteúdo da lavagem foi filtrado (Figura 11) para a retirada de sujidades e restos de folhas e colocados em frascos para análise de coliformes fecais com volume de 100 mL, dois frascos por amostra. As determinações foram feitas no Laboratório de Microbiologia da Universidade de Passo Fundo da Faculdade de Engenharia de Alimentos.



Figura 10: Lavagem do material coletado.



Figura 11: Representação do material coletado sendo filtrado.

3 – Análise microbiológica: Após permanecerem isoladas por 48 horas em estufa bacteriológica, realizou-se o teste presuntivo das amostras (Figura 12). Na sequência foi realizada a repetição do teste presuntivo para a confirmação da presença ou ausência de coliformes fecais (Figura 13).



Figura 12: Teste presuntivo das amostras.



Figura 13: Repetição do teste presuntivo.

Para a confirmação do teste presuntivo as amostras permaneceram por 48 horas em Banho Maria com agitação, conforme Figura 14. Nesta seqüência foi possível determinar visualmente a presença ou ausência do grupo coliforme (Figura 15).



Figura 14: Confirmação do teste presuntivo das amostras.



Figura 15: Presença do grupo coliforme.

Com os dados das análises foram obtidas as curvas de comportamento da população bacteriana, tanto em condições de armazenamento, como nos ensaios de aplicação para observar a sobrevivência dos grupos coliforme fecal e coliforme total.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Estudo das Estações de Tratamento de Esgoto

Com a realização da primeira etapa da pesquisa foi possível descrever os sistemas das ETE(s) Campus I da UPF e ETE Araucárias.

4.1.1 Descrição do sistema de Tratamento de esgoto da ETE do Campus I da UPF

O sistema adotado foi o processo tecnológico de digestão anaeróbia, seguido de sistema de lodos ativados. Os principais fatores que levaram à escolha deste processo foram: o menor custo operacional, a alta eficiência apresentada pelo mesmo e a necessidade de pequena área para implantação. A Estação de Tratamento compõe-se basicamente das seguintes unidades:

- Unidade de gradeamento;
- Sistema de desarenação;
- Controlador de fluxo, (calha parshall);
- Estação Elevatória;
- Reator anaeróbio tipo UASB;
- Tanque de Aeração;
- Decantador secundário;
- Leito de secagem.

A Figura 16 traz uma visão geral da estação de tratamento de esgoto do Campus I da UPF, onde podem ser observado que o lugar é cercado e apresenta todos os parâmetros de segurança exigidos pela FEPAM/RS.



Figura 16: Estação de Tratamento de Esgoto do Campus I da Universidade de Passo Fundo.

A rede coletora conduz o esgoto até o sistema de entrada da estação e tem uma extensão de 6.500 m. Essa rede coletora chega ao tanque de acumulo com pouca profundidade devido às boas condições topográficas. Esse tanque (Figura 17) tem como finalidade manter um fluxo aproximadamente constante no reator anaeróbio e evitar as sobrecargas no sistema de liga/desliga automático das bombas.



Figura 17: Tanque de acúmulo da ETE da UPF.

O tanque foi dimensionado de forma a permitir um tempo de detenção de 15 min para a vazão máxima e 23 min para a vazão média em dias chuvosos, chegando a um volume útil de 8,50m³, considerado a partir da geratriz inferior do tubo de chegada do esgoto bruto.

O tanque de acúmulo aloja duas moto-bombas (Figura 18) submersíveis que são ligadas automaticamente por meio de chave bóia tipo pêra flutuante com sensor de contato tipo micro-switch, que é o regulador de nível através do quadro de comando.



Figura 18: Conjunto moto-bomba do tanque de acúmulo.

A estação elevatória eleva o esgoto desde o nível de fundo do tanque de acúmulo até o sistema de entrada do reator UASB (Figura 19) de forma a permitir a alimentação do mesmo.



Figura 19: Reator UASB da ETE da UPF.

O esgoto bruto passa inicialmente por uma unidade de gradeamento composta por uma grade fixa e um cesto em aço inoxidável removível com abertura de 25 mm e 20 mm respectivamente, com o objetivo de reter sólidos de grande dimensão que poderiam causar problemas no sistema de bombeamento e nas tubulações. Os sólidos com dimensões superiores à abertura das malhas são removidos de forma manual e encaminhados ao sistema de destinação de resíduos sólidos atual. Esta grade é inclinada a 45° com a horizontal para facilitar a limpeza da grade com auxílio de um ancinho.

Logo após o gradeamento existe um desarenador que tem por finalidade a remoção dos sólidos inertes de granulometria equivalente a um grão de areia, com diâmetro da ordem de 0,2 mm. Tais materiais são nocivos ao colchão de lodos dentro do reator anaeróbio, causando entupimento nas tubulações de alimentação no fundo do mesmo e causando dificuldade de escoamento do lodo. O processo utilizado, devido ao baixo custo e boa eficiência, é o de canais desarenadores (ou caixas de areia) que se constitui de dois canais desarenadores iguais e contíguos. O fluxo de esgoto passa apenas por um dos canais, mediante o controle feito por comportas leves de PVC introduzidas em ranhuras guias. À jusante dos canais desarenadores foi colocado um controlador de fluxo, do tipo calha parshall, (Figura 20) objetivando a manutenção de uma lâmina de água compatível com a velocidade de projeto do desarenador. O dispositivo é composto também de uma régua para controle da vazão.



Figura 20: Calha Parshall da ETE da UPF.

Quando o rebaixo do canal fica cheio de areia, tal canal é isolado, sendo o fluxo do efluente direcionado para o outro canal. A limpeza do canal é feita semanalmente sendo os resíduos encaminhados ao sistema de destinação de resíduos sólidos da Universidade.

Tais materiais devem ser removidos antes do tratamento propriamente dito, pois são nocivos aos equipamentos de transferência, ao manto de lodo anaeróbio e ao sistema de alimentação e descarga do reator. A sedimentação dos materiais inertes é prejudicada pelas flutuações nas velocidades de fluxo. Para manter-se um valor mais ou menos constante de velocidade tem-se um controlador de fluxo após o desarenador.

O esgoto a tratar, sem a presença de sólidos grosseiros e previamente desarenado, é conduzido a um tanque de acúmulo/bombeamento (elevatória). Da estação elevatória o esgoto é transferido ao reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo - UASB, com uma vazão uniforme.

A alimentação do reator é feita por uma tubulação que vai ao centro do mesmo onde há uma caixa divisora de vazões com vertedores reguláveis dispostos na periferia que alimentam câmaras contíguas separadas entre si por placas divisoras. Cada câmara tem em seu centro uma tubulação que vai até o fundo do reator. O efluente é distribuído para fluir entre os vazios do manto de lodo que aí se forma. Tal lodo sedimenta com altas velocidades e serve como um filtro, que retém os sólidos suspensos, coloidais e dissolvidos do esgoto, para serem “digeridos” pelas bactérias contidas no lodo, onde ocorre a quebra de macromoléculas por hidrólise ácida. Com isto produz-se um mínimo de crescimento de novas bactérias, que somadas ao acúmulo de matérias não digeríveis, determinam o aumento do volume de lodo contido no reator. O excesso é removido e conduzido aos leitos de secagem de lodo.

O efluente, que é alimentado pelo fundo do reator sob o colchão de lodo, tem um fluxo vertical para cima indo até a superfície do tanque sob uma cúpula coletora de gás, onde ocorre a separação das bolhas de biogás, sendo acumulado nesta.

A seguir, o líquido tem um fluxo horizontal radial para fora, indo para um compartimento periférico radial de decantação, sem turbulência, e os sólidos sedimentam e vão ao fundo do compartimento de decantação, onde existe uma abertura através da qual, os sólidos retornam ao fundo do reator para serem incorporados ao manto de lodo.

O esgoto proveniente do reator anaeróbico tem o seu polimento final em um sistema de tratamento de lodos ativados. A remoção da carga orgânica remanescente, composta basicamente por moléculas simples solúveis é feita no tanque de aeração onde se forma um meio propício ao desenvolvimento de microrganismos responsáveis pela degradação destas.

Para que os microrganismos se desenvolvam é feita a introdução de ar no tanque através de aeradores que proporcionam altas taxas de transferência de oxigênio ao efluente. Após o tanque de aeração, o efluente é transferido ao decantador secundário (Figura 21) para que o lodo biológico seja separado da corrente líquida. A recirculação do lodo para o tanque de aeração serve para acelerar a degradação da matéria orgânica. Este retorno é variável conforme as condições de processo.



Figura 21: Decantador Secundário da ETE da UPF.

O excesso de lodo é conduzido ao reator anaeróbico, onde se processa a estabilização final e o adensamento do mesmo.

O reator anaeróbico constitui-se basicamente de um tanque cilíndrico em concreto armado cuja parte superior está acoplada em um decantador, um defletor dos gases formados e o

gasômetro. O esgoto a ser tratado ingressa na parte superior do reator e é distribuído pelo fundo do mesmo e o percorre em fluxo ascendente atravessando uma camada de lodo biológico anaeróbio de elevada atividade, sendo que, o esgoto tratado é descartado pelo topo da câmara de decantação. Ao atravessar o manto de lodo a matéria orgânica digerida é transformada em biogás. O defletor obriga o biogás a se dirigir a uma região do reator, de onde é coletado. Desta forma, apenas o líquido mais uma parcela do lodo biológico em suspensão conseguem adentrar no compartimento de decantação, onde ocorre a separação dos sólidos e o retorno dos mesmos ao fundo do reator, incorporando-se ao colchão de lodo já formado.

Uma das características principais do reator de fluxo ascendente é o lodo biológico granulado (ou floculado) que se forma no mesmo com o passar do tempo. Este lodo especial possui uma elevada atividade metanogênica e sedimenta rapidamente, facilitando sua manutenção em seu interior.

O leito de secagem do lodo (Figura 22) foi construído em concreto armado, formando-se uma caixa que receberá uma camada drenante de areia e brita. A camada superior é de 10 a 15 cm de areia grossa e a inferior de 20 a 30 cm de brita. Sobre areia são colocados tijolos maciços para facilitar a remoção do lodo, evitando-se o arraste com areia. Na linha que divide o leito, no sentido longitudinal, há um dreno coletor, e a declividade de fundo, no sentido do coletor, é de cerca de 2%. A camada de lodo que se acumula apresenta uma espessura de 20 a 30 cm.



Figura 22: Leito de Secagem de lodo da ETE da UPF.

O esgoto tratado com grau de depuração acima de 90% é lançado em um Arroio que desemboca no arroio Valinhos que é afluente ao Rio Passo Fundo (Figura 23).



Figura 23: Lançamento do esgoto tratado no arroio.

4.1.2 Descrição do sistema de Tratamento de esgoto da ETE Araucárias

O sistema de tratamento da ETE Araucárias é compreendido por uma rede de tratamento de 33 km que coleta o esgoto do perímetro central da cidade, correspondendo a 18,5% de esgoto coletado e tratado. Está previsto uma ampliação de 130 km de rede coletora, abrangendo os bairros Petrópolis, Vergueiro, Fátima, Santa Maria, Rodrigues e Santa Terezinha onde serão atingidos 53% de cobertura de esgoto coletado e tratado. O projeto dessa ampliação já está concluído prevendo-se sua implantação no próximo ano.

Primeiramente o esgoto passa por um prévio gradeamento junto à Estação Elevatória LR-8 (Figura 24) e em seguida são tratados em um sistema composto por quatro lagoas de estabilização.



Figura 24: Chegada do esgoto na ETE Araucárias.

4.1.2.1 Lagoa Anaeróbia

É o local onde o esgoto é parcialmente estabilizado por processos anaeróbios, em função da profundidade da lagoa e ausência de oxigênio (Figura 25). Os parâmetros de projeto são os seguintes:

- Vazão de projeto: 250L/s
- Profundidade útil: 5 m
- Profundidade de operação atual: 2,5 m
- Taxa de aplicação volumétrica: 0,05 kg DBO/ m³/dia
- DBO5 média efluente: 224 mg/L
- Carga orgânica média: 4838 kg DBO/dia
- Volume: 96 760 m³
- Área: 38 704 m²
- Tempo detenção hidráulica: 5 a 10 dias.



Figura 25: Lagoa Anaeróbia da ETE Araucárias.

4.1.2.2 Lagoa Facultativa

No fundo dessa lagoa, desenvolvem-se microrganismos que decompõem o esgoto por processos anaeróbios e na superfície desenvolvem-se algas que, através da fotossíntese, produzem oxigênio que completa a decomposição da matéria orgânica por oxidação (Figura 26). Os parâmetros de projeto são os seguintes:

- Profundidade útil: 1,60 m
- Taxa de aplicação superficial: 295 kg DBO/ ha/dia
- Volume: 131 760 m³
- Área: 82 350 m²
- Tempo de detenção hidráulica: 6 dias
- DBO5 efluente: 54 mg/L



Figura 26: Lagoa Facultativa da ETE Araucárias.

4.1.2.3 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação são em número de duas sendo que os parâmetros de projeto são os seguintes:

- Profundidade útil: 1,50 m
- Volume de cada lagoa: 44 928 m³
- Área: 29 925 m²
- DBO média efluente: 29 mg/L

Nessas lagoas completa-se a depuração do esgoto pela ação de bactérias aeróbias em associação com algas. A DBO efluente já está praticamente estabilizada, o oxigênio dissolvido está disseminado em toda lagoa e reduzem-se as concentrações de nitrogênio e fósforo (Figura 27 e 28).



Figura 27: Primeira lagoa de Maturação da ETE Araucárias.



Figura 28: Segunda lagoa de Maturação da ETE Araucárias.

Nesta etapa final, ocorre a redução mais significativa do número de bactérias coliformes. Pelas características de baixa profundidade dessas lagoas e penetração de luz solar, a radiação ultravioleta atinge as camadas mais profundas promovendo a remoção desses microrganismos patogênicos (Figura 29).

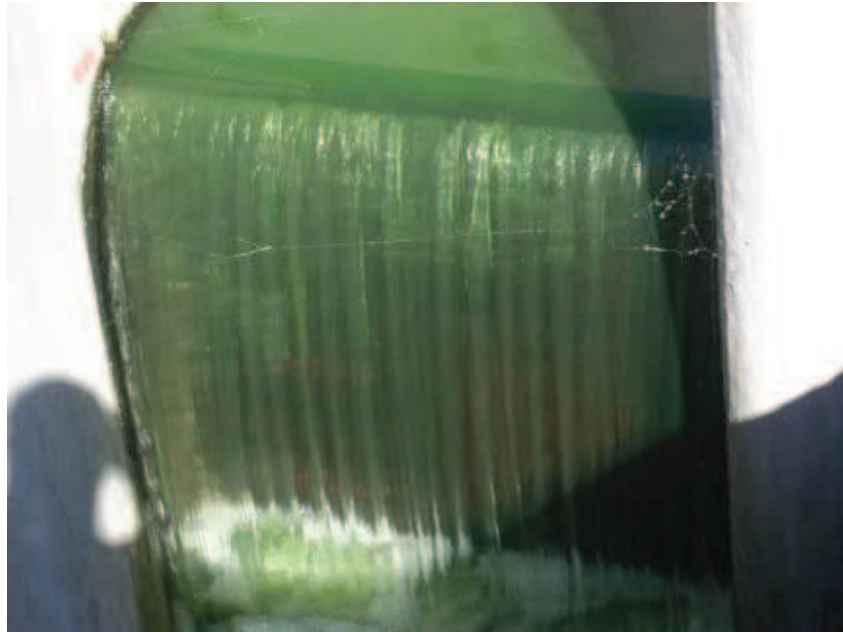


Figura 29: Aspecto do efluente final.

A seqüência dessas etapas propicia um tratamento com altos índices de eficiência. O lançamento do efluente final é feito no Rio Passo Fundo (Figura 30).



Figura 30: Encontro do efluente com o Rio Passo Fundo.

4.2 Levantamento e tratamento dos dados das Estações de Tratamento de Esgoto

A primeira etapa da pesquisa consistiu em realizar um levantamento dos parâmetros analisados nas duas ETE(s). Os dados da ETE do Campus I da UPF foram obtidos no Setor de Saneamento Ambiental da própria Universidade. Os dados da ETE Araucárias foram obtidos na CORSAN. Os dados são referentes aos últimos três anos, 2007, 2008 e 2009. os parâmetros obtidos são referentes ao efluente final das estações.

4.2.1 Estação de Tratamento de esgoto do Campus I da Universidade de Passo Fundo

No Quadro 7, são apresentados os dados da estação de Tratamento de esgoto do Campus I da Universidade de Passo Fundo, cujas análises foram realizadas mensalmente, desde o período de maio de 2007 a abril de 2009.

PARÂMETRO	Vazão	pH	DQO	DBO 5	Sól. Susp	Nitrog. Amoniacal	Óleos e graxas	Sol Sedimentáveis	Sólidos em suspensão
DATA	(m ³ /dia)	-	mg/L	mg/L	mg/L	mgN/L	mg/L	mg/L	mg/L
15/5/07	7,7	7,2	200	85	96	47,7	8,6	0	96
20/6/07	8,49	7,48	348	165	110	50,6	13,5	0,1	110
24/7/07	9,25	7,12	180	68	46	10,2	6,2	0	46
16/8/07	9,41	7,71	295	86	107	13,2	9,5	0	107
17/10/07	8,84	7,37	122	53	72	13,6	3,6	0	72
21/11/07	8,97	7,56	243	96	88	43,8	6,5	0	88
10/1/08	6	7,09	92	41	33	20,3	5,9	0	33
15/2/08	9	7,12	199	88,5	72	22,8	9,8	0	72
25/3/08	9,4	7,27	152	7,27	85	25,8	6,2	0	85
23/4/08	9	7,57	204	53	125	36	8,18	0	125
11/6/08	10	7,45	134	50	48	48,9	5,4	0	48
14/7/08	9,4	7,11	122	35	94	40,1	7,4	0	94
20/8/08	9,1	7,23	172	45	36	25,8	7,45	8	36
15/9/08	10,2	7,72	192	66	52	11,2	8,9	2,5	52
21/10/08	9,5	6,2	119	42	56	9,5	5,3	0,1	56
10/11/08	8,8	7,35	146	55	70	10,3	6,2	0,2	70
2/12/08	5,9	7,59	192	64	153	49,8	3,6	0,3	153
21/0/1/09	4,5	7,8	226	59	34	10,75	12,1	0	34
17/03/09	6,5	7,82	118	79	32	56,8	2,7	0	32
28/04/09	5,1	7,87	291	106	52	56,5	4,6	0	52
25/05/09	5,3	7,80	183	90	48	37,4	2,27	0,4	48
15/06/09	6,7	7,7	192	75	113	52,9	7,5	2,5	113
30/07/09	5,8	7,3	169	77	60	9,5	3,1	1	60
27/08/09	6,5	7,5	163	96	110	38	3,4	1	110
22/09/09	6,5	6,8	269	118	150	13,1	0,8	0,3	150
28/10/09	7,9	7,3	104	6	80	26,8	5,2	0,8	80
07/12/09	6,6	6,9	207	126	52	30	2,6	0,88	152

Fonte: Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade de Passo Fundo (2009).

Quadro 7 - Resultados das análises da ETE-UPF para o período Maio /07 à Dezembro de 2009.

A partir dos dados apresentados no Quadro 7, foram calculados a média, o seu desvio padrão e o intervalo de confiança maior e menor dos dados, para análise do grau de variação dos parâmetros, ao longo do tempo, uma vez que esta variabilidade pode exigir, dependendo da natureza do reúso, um pré-tratamento. A partir dos dados do Quadro 7, foram gerados gráficos no Programa Excel para facilitar a análise individual dos parâmetros analisados.

Foram analisados os parâmetros de variabilidade do parâmetro vazão em relação à média no período de 15/5/2007 a 07/12/2009, na ETE-UPF. Observou-se que no período de 15/9/08 ocorreu uma alta vazão, que se extrapolou a uma média de 10,2 m³/dia, valor este que não se repetiu no ano seguinte. Constatou-se também uma menor vazão no dia 28/04/2009,

que foi de 5,1 m³/dia. Outro fator a ser considerado é a variação diária entre os valores médios da vazão, onde só duas medias se mantiveram entre o valor de 7,79 m³/dia. Neste sentido, pode-se considerar esta variação na vazão pelo fato que a Universidade possui períodos de férias letivas. Nestes meses de férias a média da vazão diminui, ou seja, isto ocorre principalmente entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro (Figura 31).

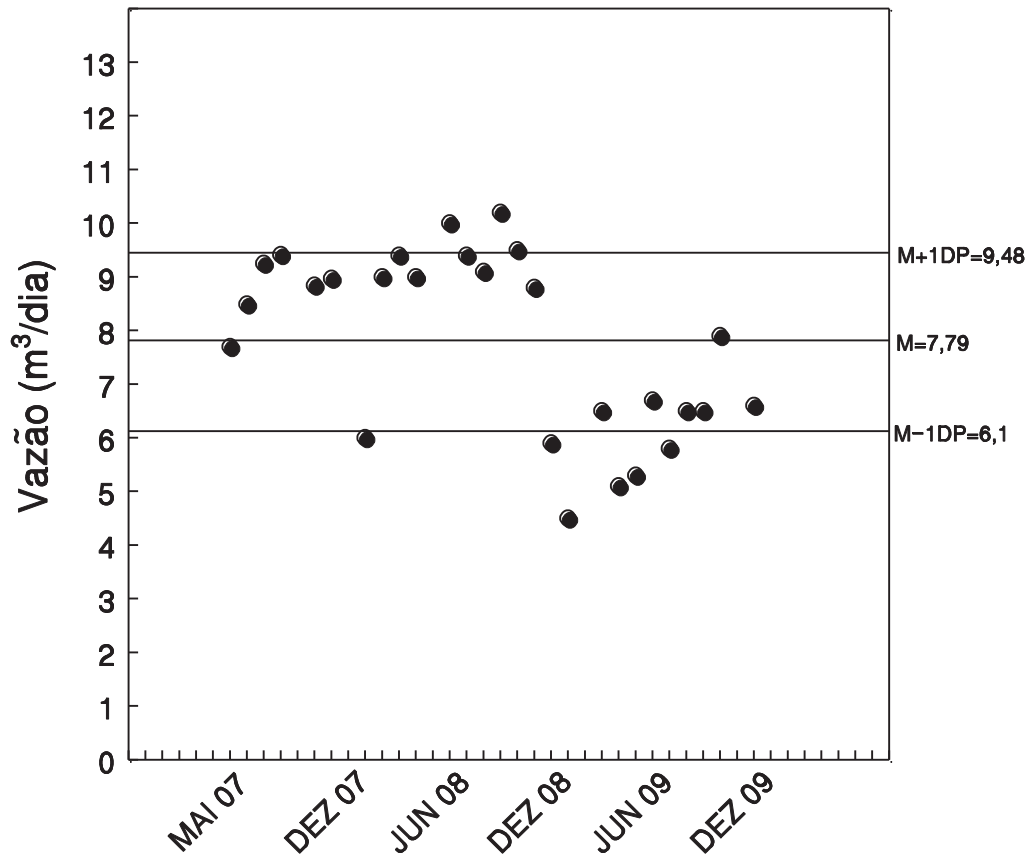


Figura 31: Valores de vazão no período 15/5/2007 a 07/12/2009 na ETE-UPF.

Quanto ao fator pH, a maioria dos valores estiveram na faixa de um desvio padrão acima da média, porém ainda ficou dentro dos parâmetros exigidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2002), que permite que se libere no ambiente pH de 6 a 9 (Figura 32).

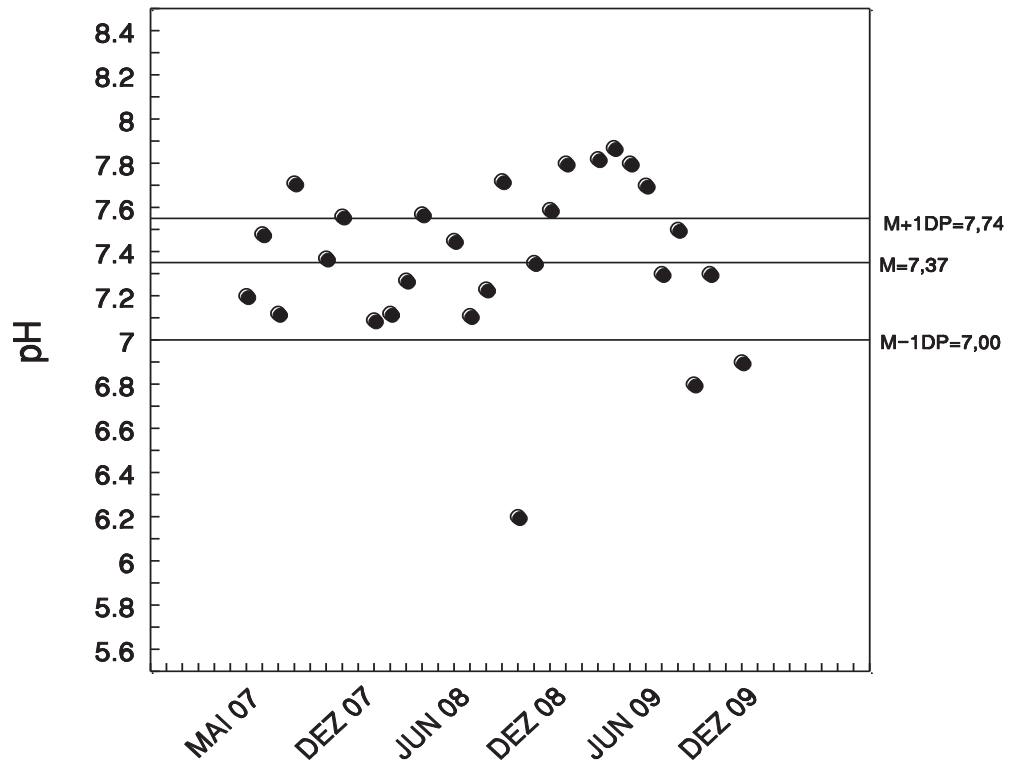


Figura 32: Valores de pH analisados período 15/5/2007 a 07/12/2009 na ETE-UPF.

Quanto aos valores de DQO, houve uma menor variação, em relação à média 186,4 do período, com o menor valor se situando entre 98 mg/L e o maior com 348 mg/L.

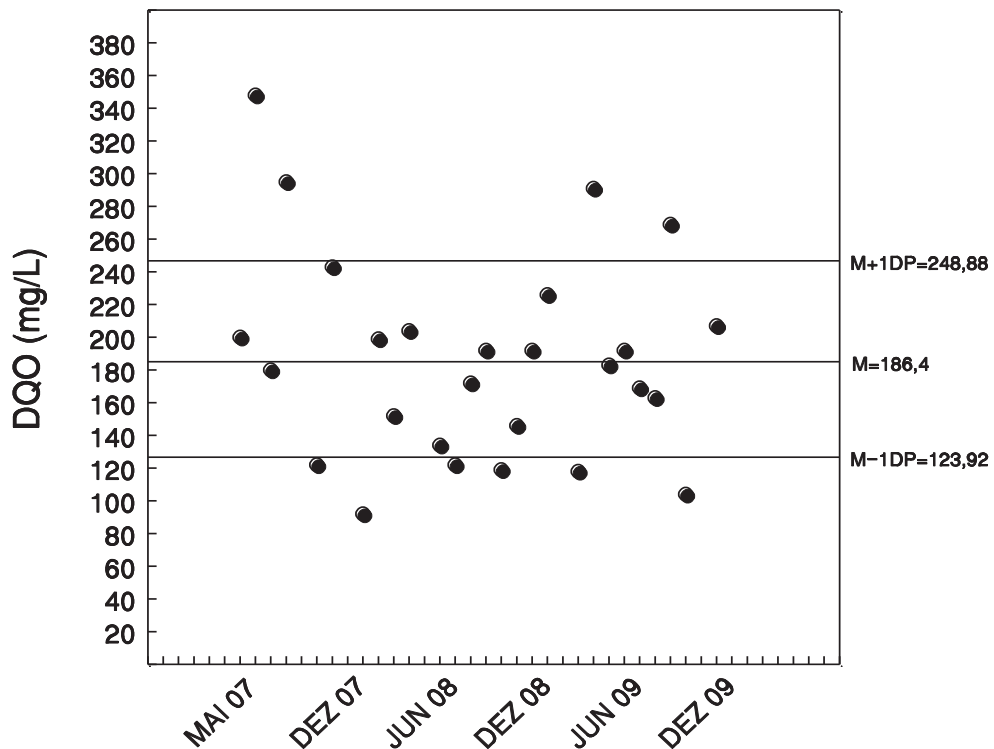


Figura 33: Valores de DQO analisados no período 15/5/2007 a 07/12/2009 na ETE-UPF.

Já na Figura 34, são apresentados os valores de DBO, que apresentaram menor variação em relação à média do período e com valores menores em relação à DQO. Muitos dos valores de DBO estão acima do limite estabelecido por FAO (1985); Ayers, Westcot (1994), que junto com o DQO podem limitar a utilização destes esgotos em irrigação para parques e jardins, bem como agricultura.

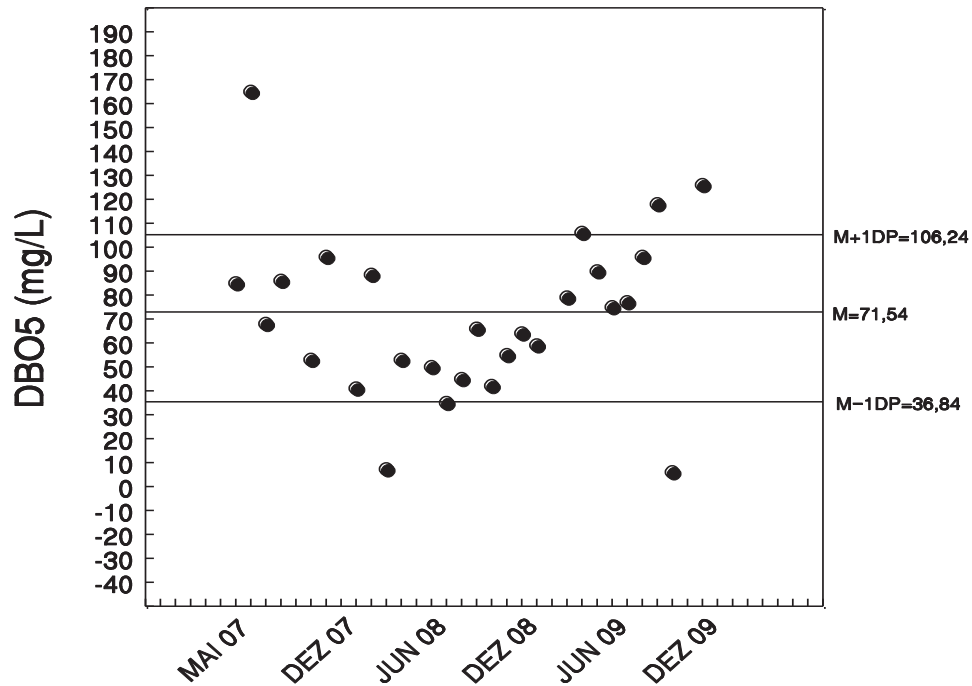


Figura 34: Valores de DBO₅ analisados no período 15/5/2007 a 07/12/2009 na ETE-UPF.

Os valores de sólidos em suspensão são apresentados na Figura 35. De acordo com Ayers e Westcot (1994), valores elevados deste parâmetro podem causar problemas de corrosão e entupimento em equipamentos de irrigação, limitando a sua viabilidade operacional. Os limites recomendados são de 50 mg/L. O menor valor encontrado foi de 32 mg/L e o maior de 153 mg/L.

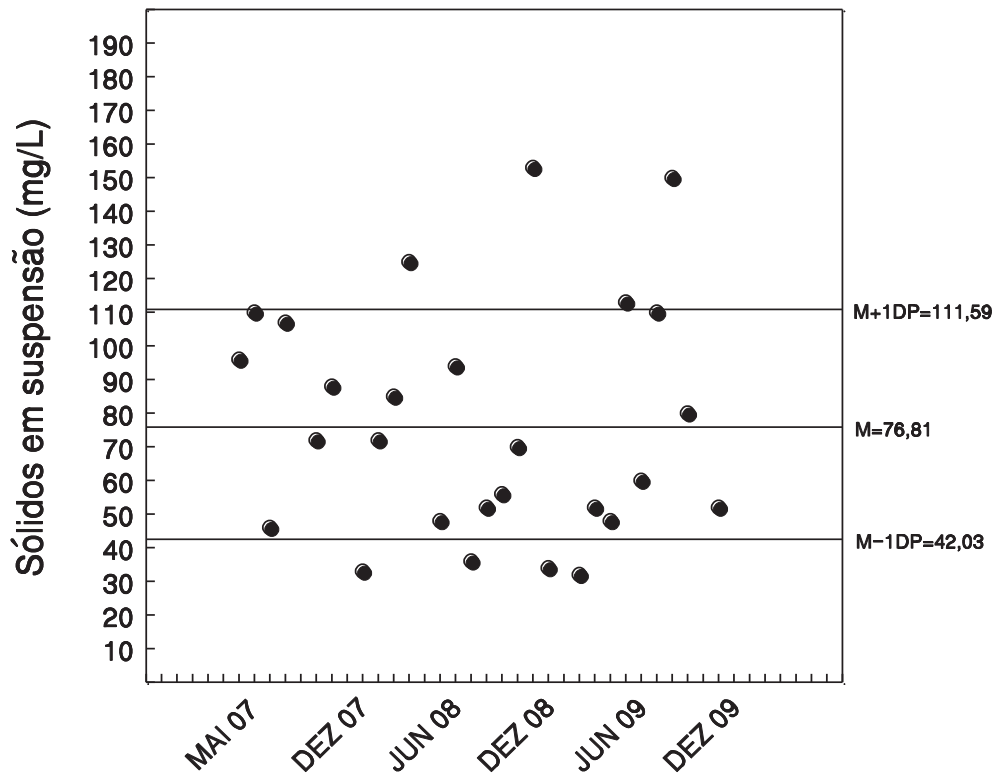


Figura 35: Valores de sólidos em suspensão analisados no período 15/5/2007 a 07/12/2009 na ETE-UPF.

A Figura 36 apresenta o índice de variação nos valores apresentados de nitrogênio amoniacal. Elevados valores de nitrogênio amoniacal podem ter importância como nutriente para a irrigação de culturas e jardins, mas podem apresentar potencial de contaminação de águas tanto superficiais como subterrâneas. Todos os valores encontrados, estiveram acima do limite recomendado por FAO (1985); Ayers, Westcot (1994).

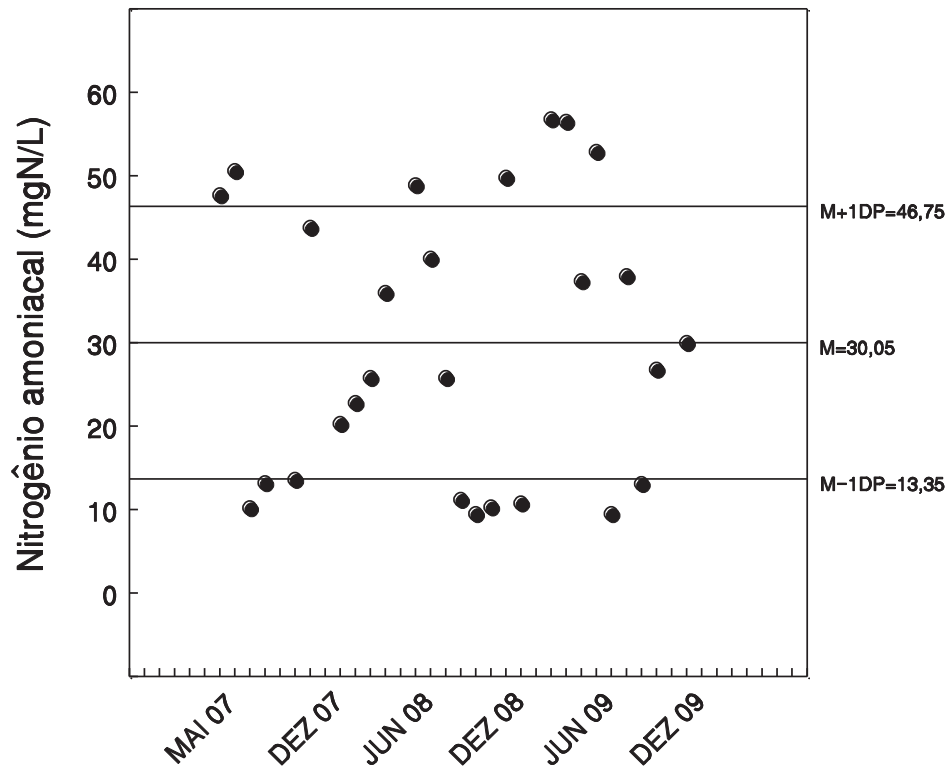


Figura 36: Valores de nitrogênio amoniacal analisados no período 15/5/2007 a 07/12/2009 na ETE-UPF.

Os valores de óleos e graxas são apresentados na Figura 37 e apresentaram uma grande variação em relação à média 6,16 do período. Isso pode ser entendido pelo fato de que no mesmo período houve uma queda significativa na DBO o que não contribuiu para a total eficiência.

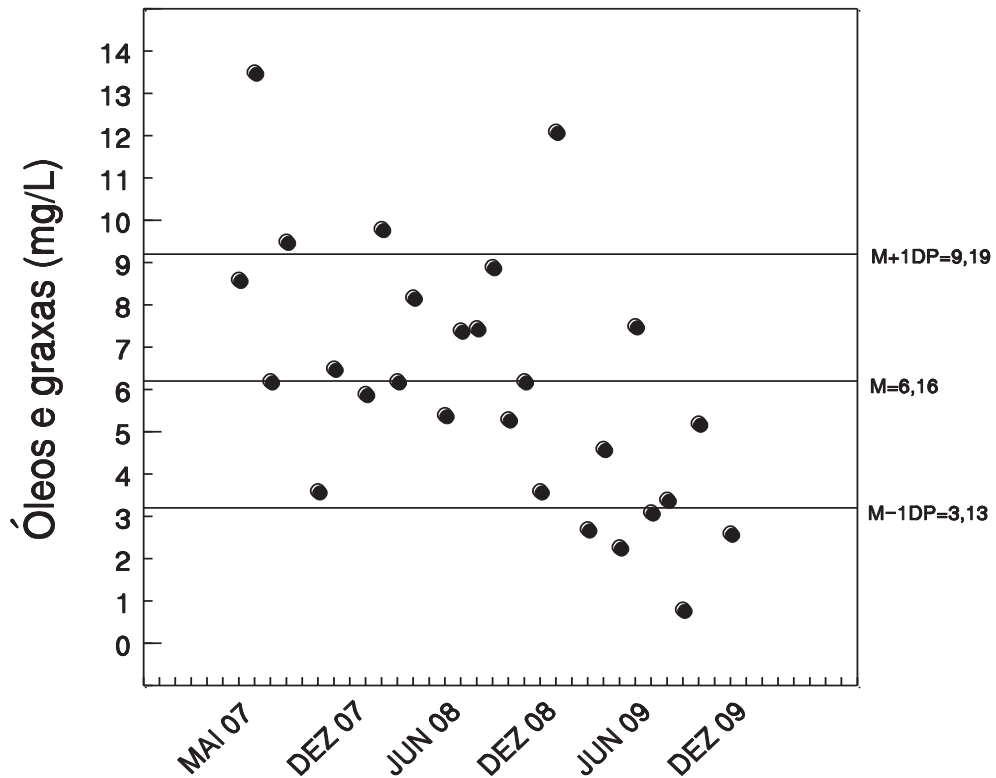


Figura 37: Variabilidade dos valores de óleos e graxas analisados no período 15/5/2007 a 07/12/2009 na ETE-UPF.

Os sólidos sedimentáveis, também podem ocasionar os mesmos problemas dos sólidos em suspensão como desgaste e entupimento dos equipamentos de irrigação, trazendo problemas operacionais nos mesmos e elevação dos custos de aplicação de águas de reúso. Este parâmetro apresentou a menor variação em relação à média 0,67 do período de estudo.

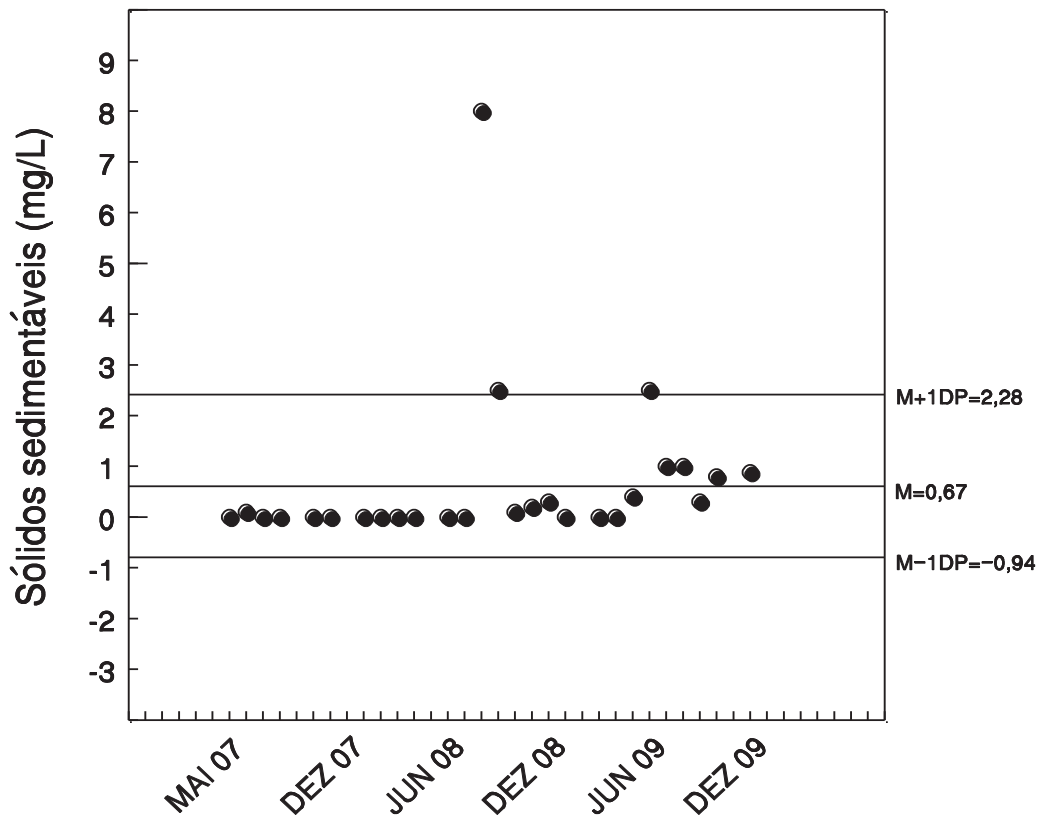


Figura 38: Variabilidade dos valores de sólidos sedimentáveis analisados no período 15/5/2007 a 07/12/2009 na ETE-UPF.

Através de uma análise mais ampla pode-se observar para a maioria dos parâmetros analisados que existe grande variabilidade nos valores, em função do tempo, com exceção do parâmetro sólidos sedimentáveis e, em menor extensão, também para os valores de pH. Esta variabilidade pode ser devida ao sistema operacional utilizado ou a problemas operacionais relacionados com a eficiência do processo e à própria variação nas características do efluente que entra na estação. Tanto para o caso específico de uso na irrigação, como para usos urbanos não potáveis que envolvem riscos menores, ou mesmo quando ocorre contato direto como o caso do reúso em gramados de parques e jardins, onde o risco é maior, esta variação observada pode exigir a utilização de um sistema de pré-tratamento para diminuir a mesma em alguns parâmetros visando a sua adequação a possíveis critérios de controle de risco à saúde e ambientais.

Os métodos de tratamento de esgotos foram inicialmente, concebidos como resposta à preocupação pelos efeitos negativos causados pela descarga de efluentes no meio ambiente, desta forma, podem não atender a critérios específicos para reúso, que são distintos daqueles para descarga em corpos de água. Desta forma, uma discussão mais ampla sobre a adequabilidade de sistemas de tratamento de esgotos para reúso, ou mesmo para o atendimento à critérios de segurança, podem exigir práticas operacionais prévias como pré-

tratamento e equalização do esgoto antes do reúso, o que também insere preocupações quanto à viabilidade financeira.

Quanto à vazão os valores maiores ocorrem em março no período de maior atividade, na Universidade o que corresponde ao período das aulas, ocorrendo uma queda significativa nos meses de verão que correspondem ao período das férias escolares e de parte das férias de funcionários e professores, e o fluxo de pessoas reduz bastante, diminuindo desta forma a vazão do efluente disponível para reúso, justamente período onde haveria maior demanda, tanto considerando o reúso para ajardinamento como para irrigação de culturas.

4.2.2 Estação de Tratamento de Esgoto Araucárias

Os resultados das análises para a ETE Araucárias constam no Quadro 8, sendo que foi adotado o mesmo procedimento utilizado na ETE UPF, com o cálculo da média para cada parâmetro e os seus respectivos desvios padrões. Os resultados apontam uma menor variação para os parâmetros coliformes termotolerantes, nitritos e nitratos, sólidos sedimentáveis, alcalinidade, sulfetos, nitrogênio amoniacal e fósforo total e uma variação muito grande para os valores de DQO. De acordo com Hespanhol (2003) em países de clima predominantemente quente, como o Brasil, a tecnologia mais adequada para tratamento de efluentes para uso agrícola são as lagoas de estabilização e estes sistemas podem atender aos requisitos mínimos para o reúso de águas em sistemas de irrigação e outras formas de reúso, lagoas de estabilização em série atendem às diretrizes para reúso irrestrito, com remoções significativas de DBO e sólidos suspensos. Já os reatores anaeróbios têm eficiência limitada quanto à remoção de nitrogênio, fósforo e microorganismos patogênicos (VON SPERLING, 1996b).

Os valores de alcalinidade para a ETE-Araucária são apresentados na Figura 39. A variação destes valores em torno da média do período foi pequena. De acordo com Corwin e Bradford (2008), elevados valores de alcalinidade em efluentes destinados para água de reúso, podem causar problemas de contaminação com sais em águas subterrâneas devido à lixiviação dos mesmos e problemas de salinização do solo, principalmente se os valores de sódio e potássio forem elevados, proporcionalmente, ao total dos sais dissolvidos encontrados. O sódio causa problemas de formação de uma crosta no solo, impedindo a infiltração da água e o crescimento dos vegetais.

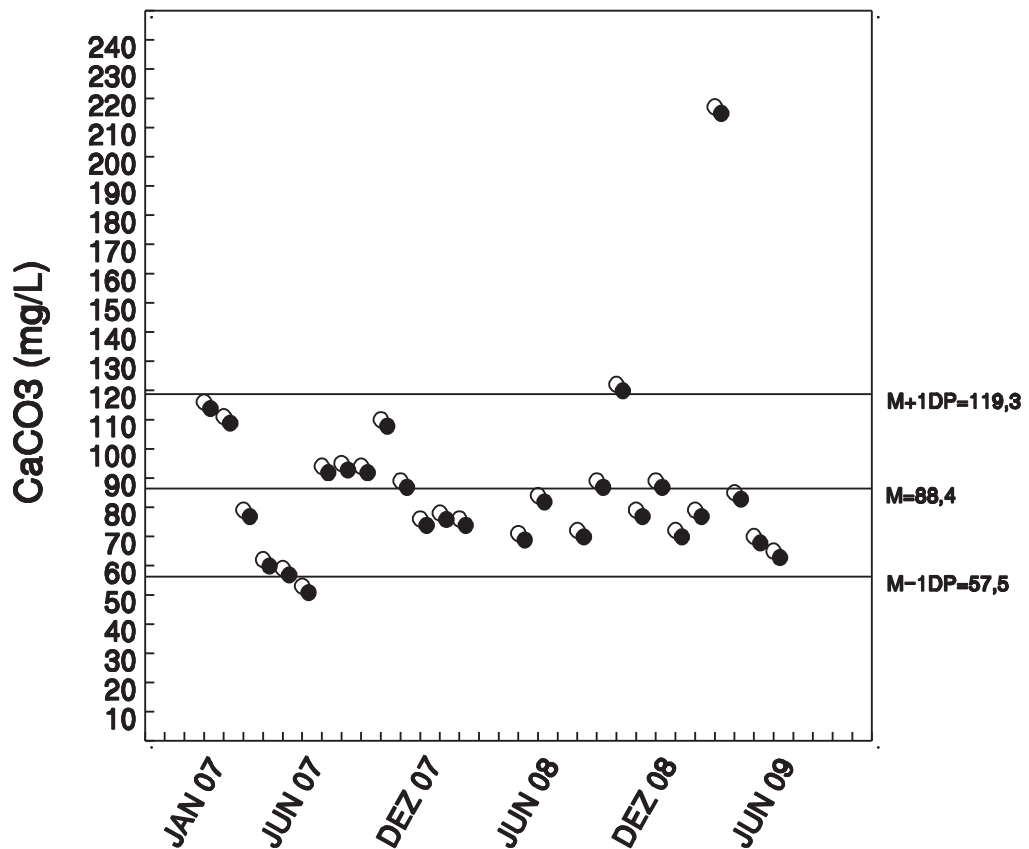


Figura 39: Variabilidade nos valores de alcalinidade analisados no período em termos de valores de desvio padrão em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

A variação observada nos valores de coliformes termotolerantes é apresentada na Figura 40. A grande maioria dos valores se apresentaram em torno da média 2825 do período, com somente duas amostras apresentando um valor superior a um desvio padrão acima desta média.

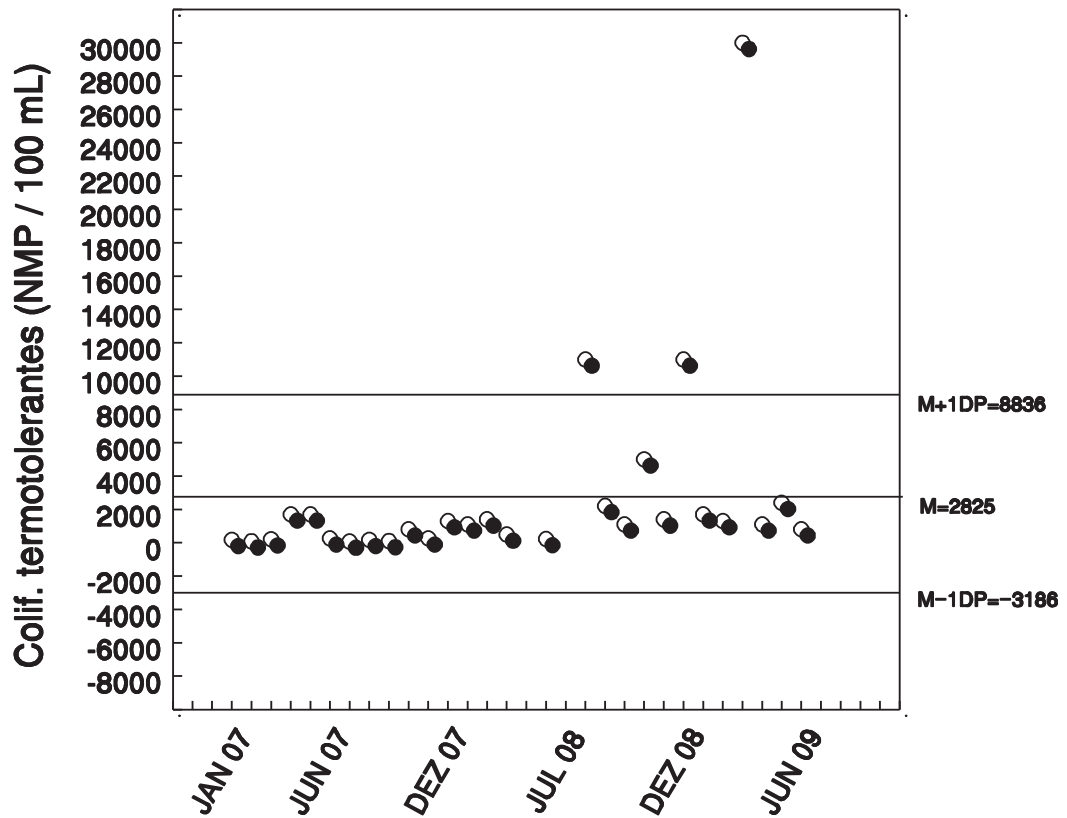


Figura 40: Variabilidade dos valores de coliformes termotolerantes analisados no período em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

Os valores de DBO_5 são apresentados na Figura 41. O menor valor encontrado foi de 4 mg O_2/L e o maior valor de 108 mg O_2/L a uma média de 34,6 mg O_2/L

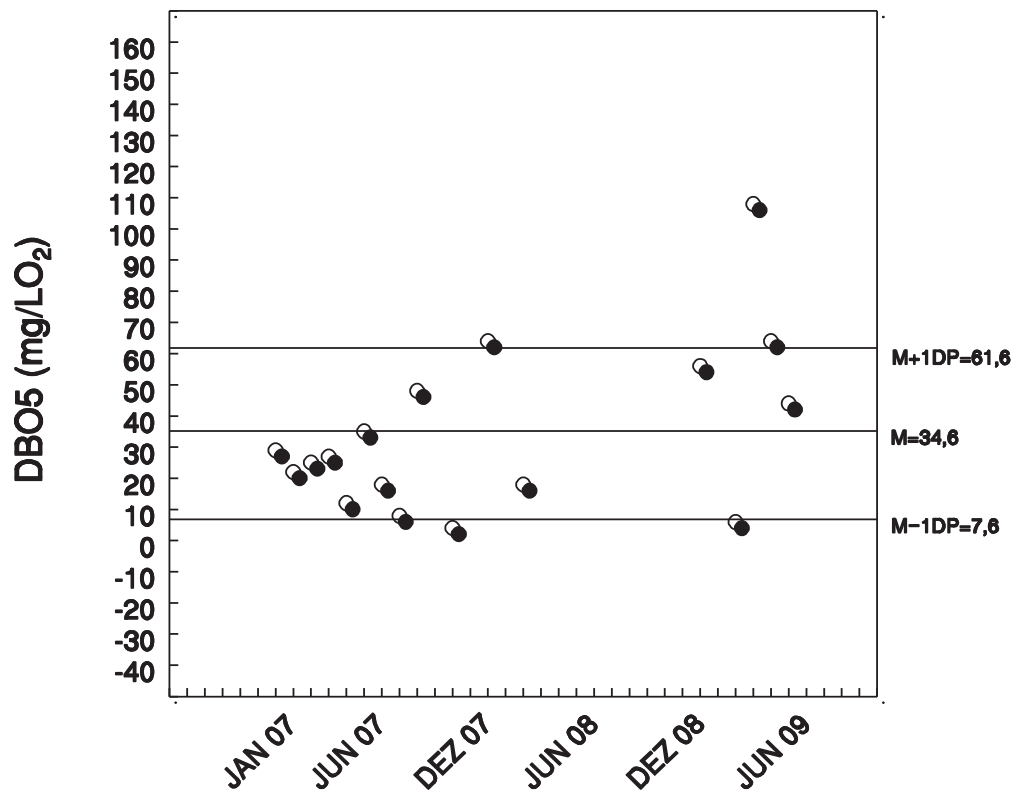


Figura 41: Variabilidade dos valores de DBO₅ analisados no período em termos de valores de desvio padrão em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias

Quanto aos valores de Demanda Química de Oxigênio, houve um grande número de amostras que apresentaram valores acima da média (+)1 desvio padrão. O menor valor foi de 29 mg O₂/L e o maior valor de 258 mgO₂/L (Figura 42).

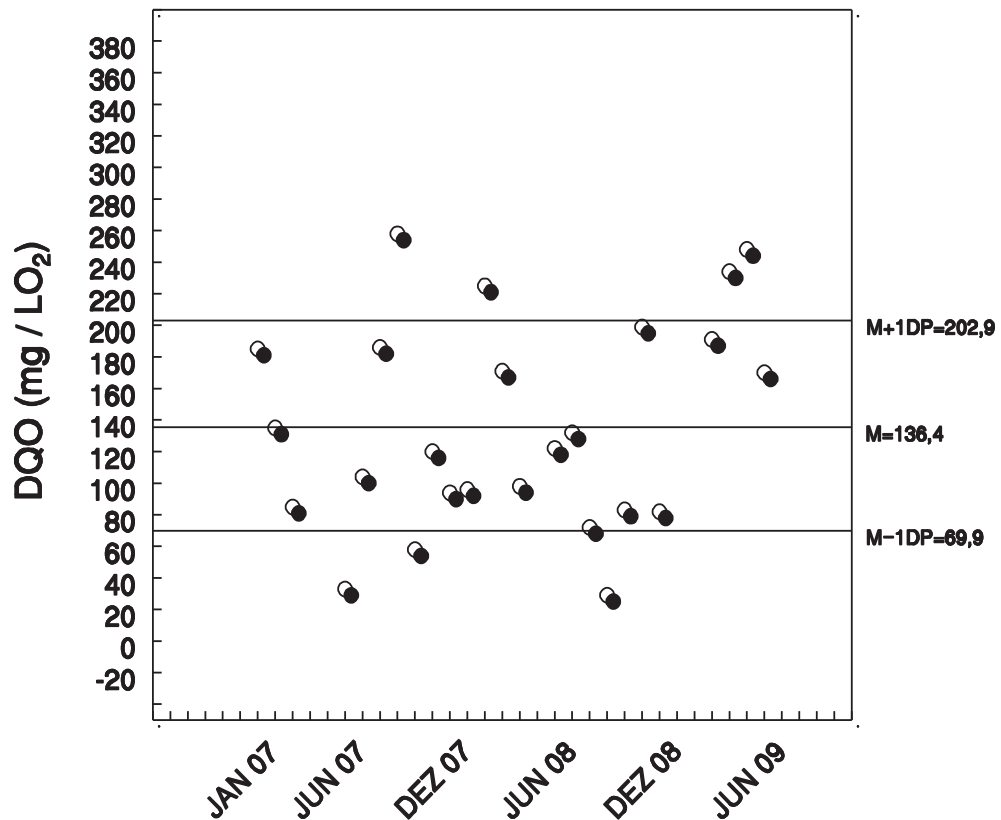


Figura 42: Variabilidade dos valores de DQO analisados no período em termos de valores de desvio padrão em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

Os valores para fósforo total são apresentados na Figura 42 e não apresentaram grande variação em relação à média observada no período estudado. Valores elevados de fósforo podem apresentar potencial nutriente para o crescimento das plantas, mas também podem causar problemas de eutrofização em águas superficiais, devido ao escoamento superficial, pois os sais de fósforo são altamente solúveis (CORWIN, BRADFORD, 2008).

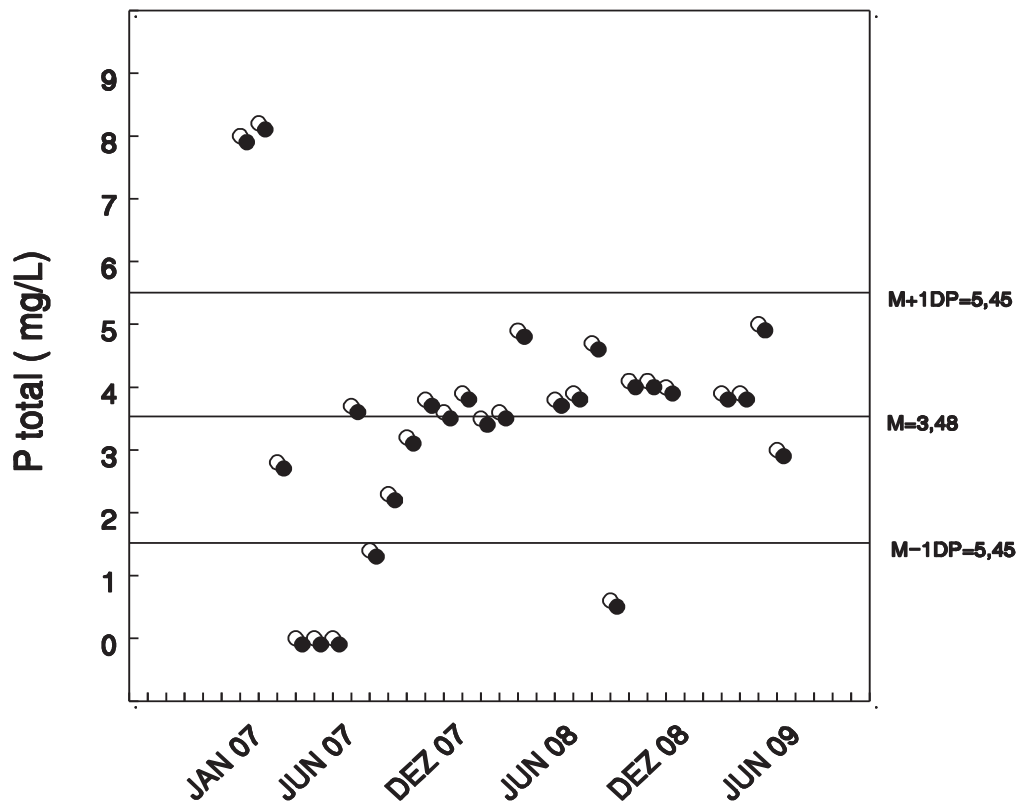


Figura 43: Variabilidade dos valores de fósforo total analisados no período em termos de relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

Os nitratos e nitritos são problemas tanto para a contaminação de águas superficiais, onde os nitratos podem ocasionar problemas de eutrofização, como na contaminação de águas subterrâneas, uma vez que devido a sua alta solubilidade são facilmente lixiviáveis. Valores elevados de nitrito e nitrato em águas podem ocasionar problemas à saúde humana (AYER, WESTCOT, 1994; CORWIN, BRADFORD, 2008). A variação nos valores em relação à média do período é apresentada na Figura 44, onde pode se observar que a variação em relação à média do período é pequena.

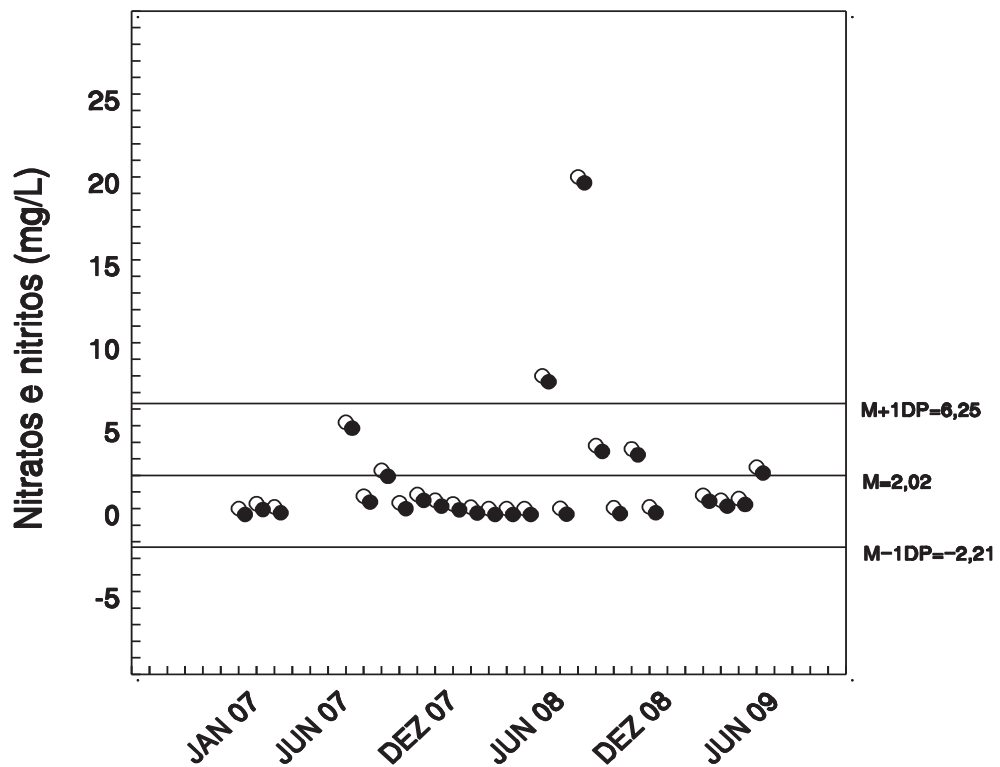


Figura 44: Variabilidade dos valores de nitratos/nitritos analisados no período em termos de em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

A variação nos valores de nitrogênio amoniacal é apresentada na Figura 45. A grande maioria das amostras analisada apresentou valores abaixo da média 5,6 observada no período.

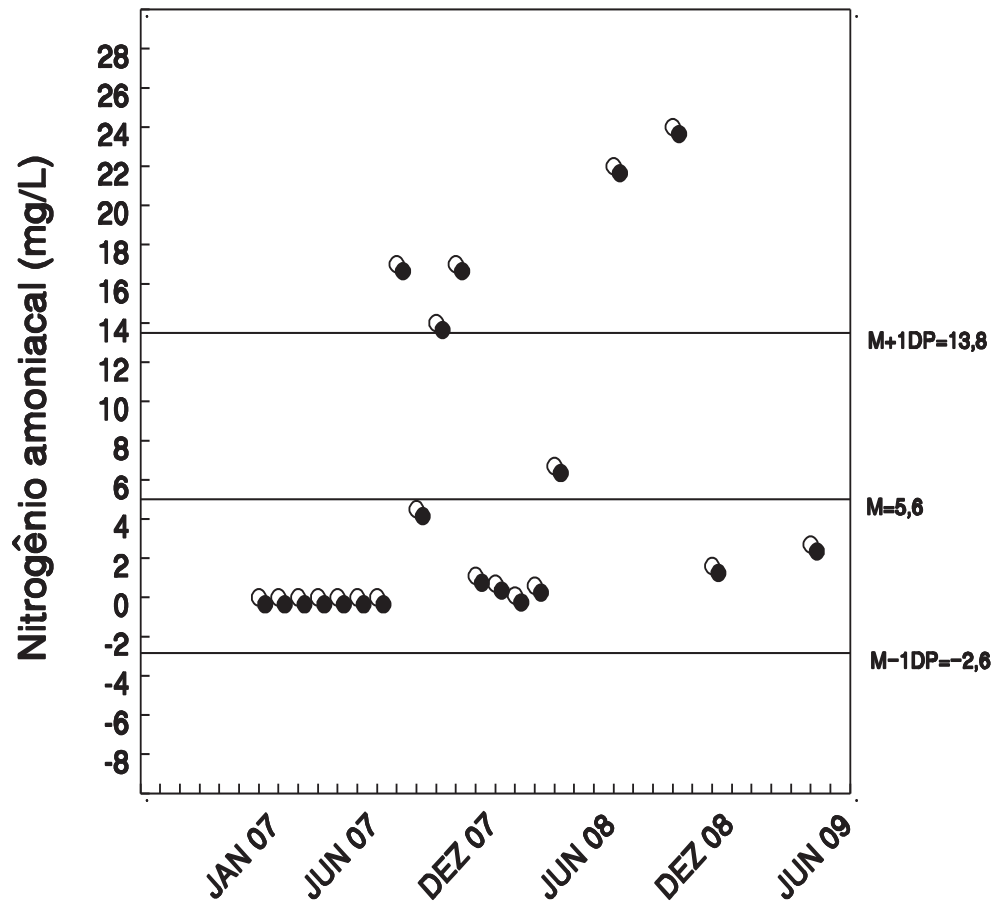


Figura 45: Variabilidade dos valores de nitrogênio amoniacal analisados no período em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

A variação nos valores de nitrogênio total é apresentada na Figura 46. A análise deste parâmetro ficou prejudicada pelo menor número de amostras analisadas no período. Mas a maioria dos valores se situou em torno da média 7,06 observada no período.

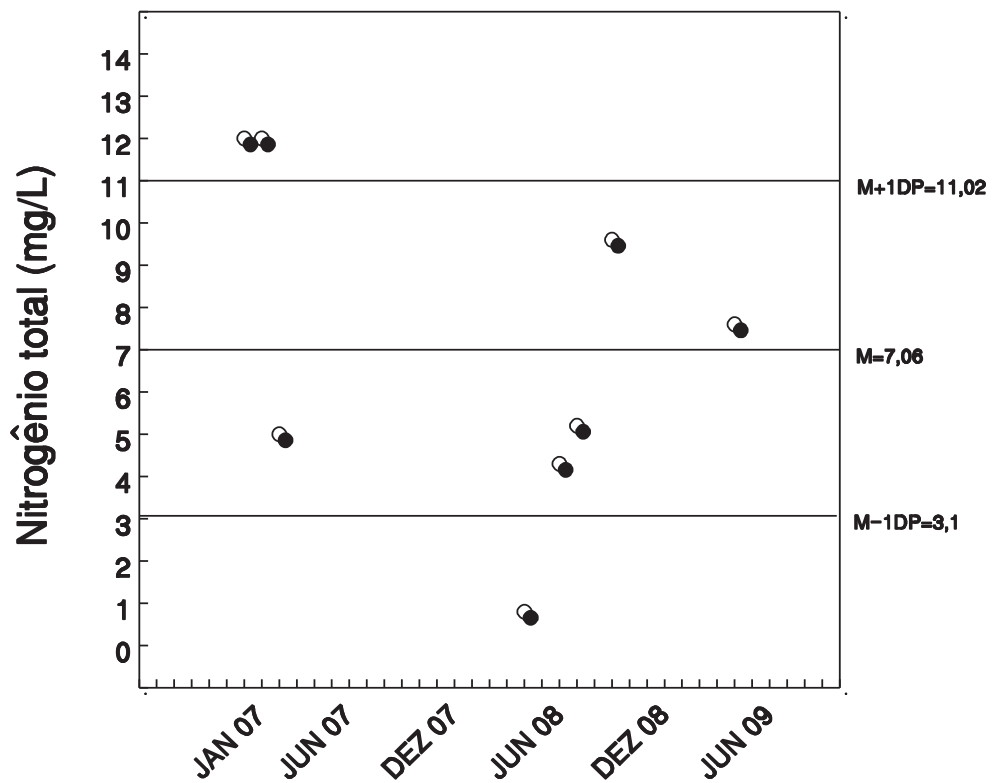


Figura 46: Variabilidade dos valores de nitrogênio total analisados no período em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

A variação observada nos valores de sulfeto é apresentada na Figura 47 e foi pequena, tendo a grande maioria das amostras tendo os seus valores, próximos da média 4,49 do período estudado.

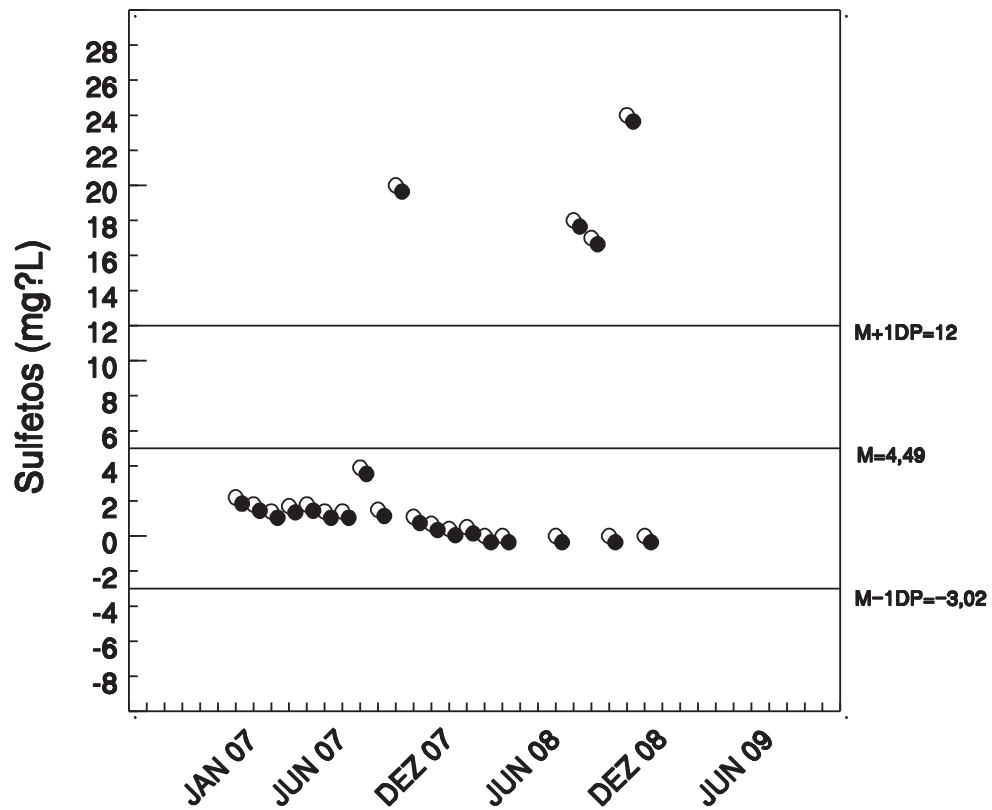


Figura 47: Variabilidade dos valores de sulfetos analisados no período em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

Já a variação observada para os valores de pH, também foi pequena e a grande maioria dos valores situando-se, muito próximos da média 12,23 do período (Figura 48).

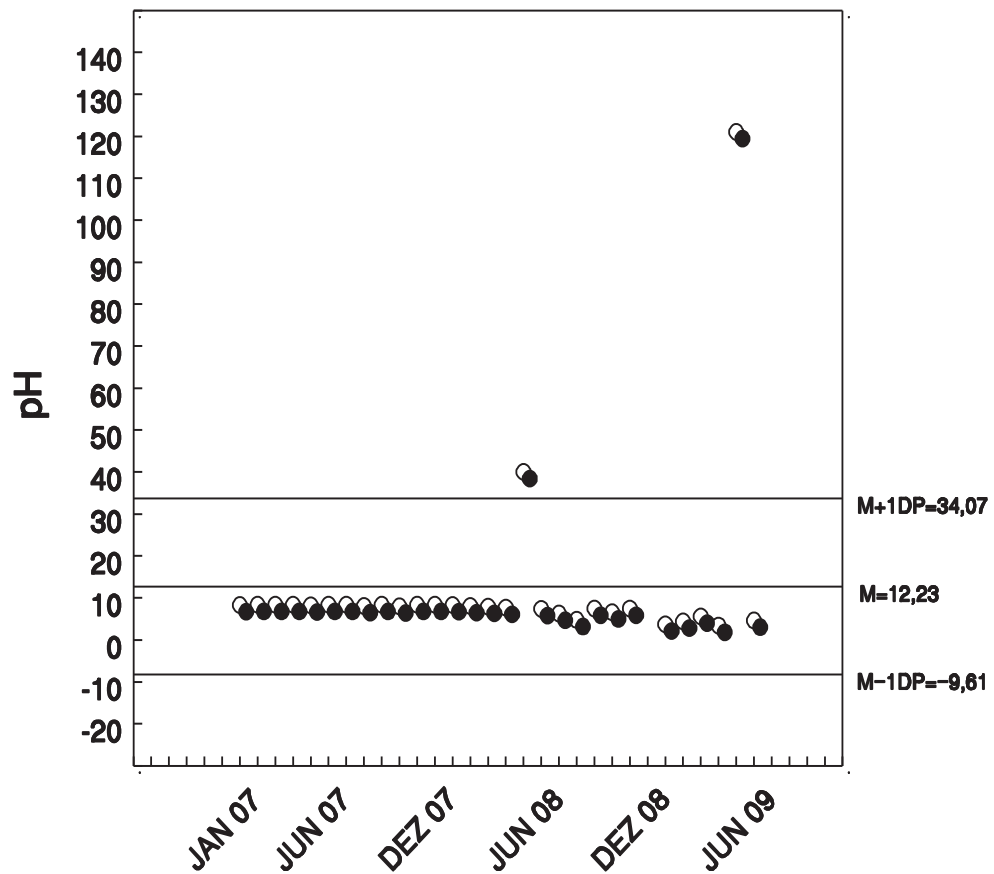


Figura 48: Variabilidade dos valores de pH analisado no período em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias

Quanto à variação nos valores de sólidos sedimentáveis foi pequena e é apresentada na Figura 49, estando a maioria dos valores abaixo da média e acima da média (-) 1 desvio padrão.

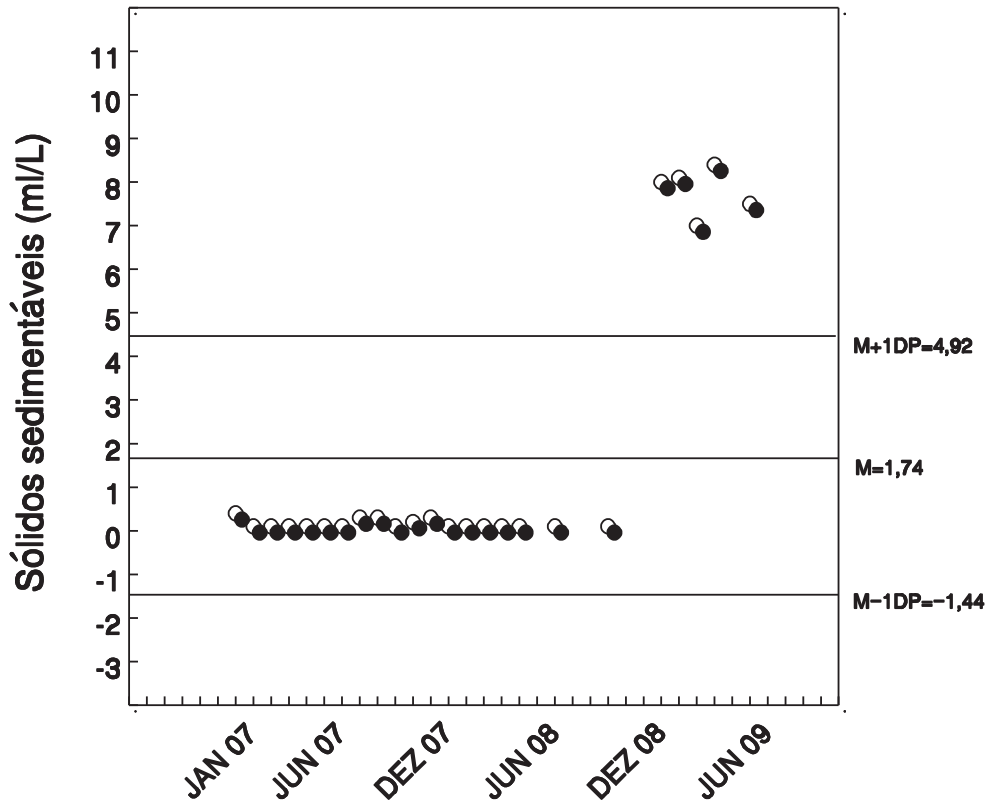


Figura 49: Variabilidade dos valores de sólidos sedimentáveis analisados no período em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

Já para os valores de sólidos em suspensão, a variação nos mesmos em relação à média 57,67 do período é apresentada na Figura 50 e foi grande comparativamente à observada para os sólidos sedimentáveis.

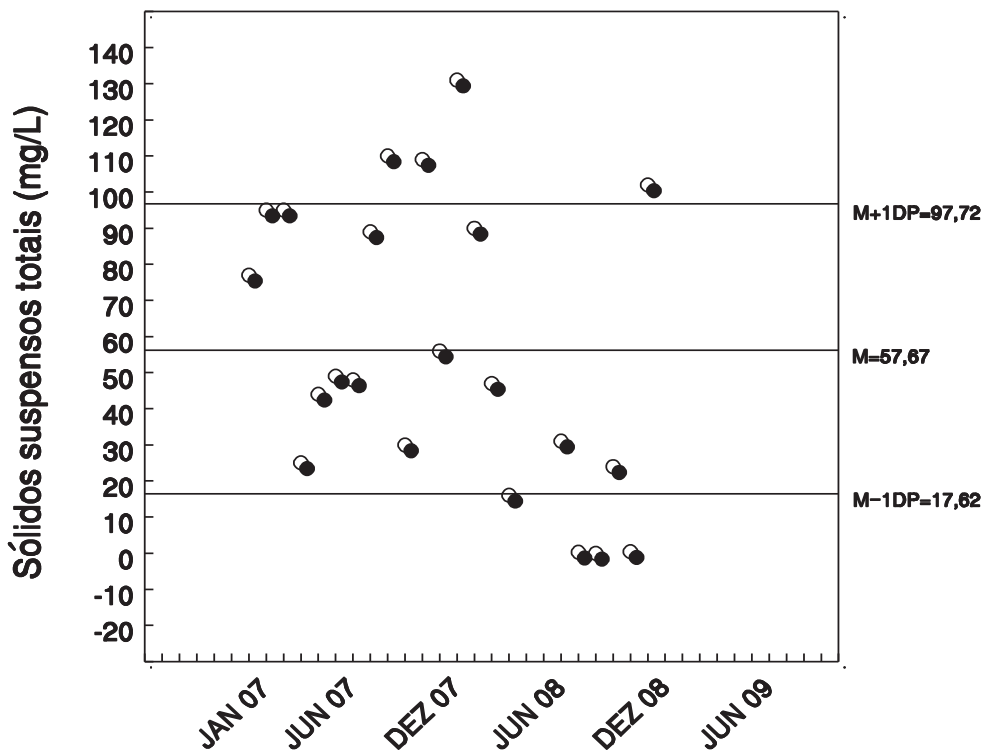


Figura 50: Variabilidade dos valores de sólidos suspensos analisados no período em relação à média do mesmo período para a ETE Araucárias.

O Quadro 8 apresenta todos os parâmetros analisados e seus respectivos valores para a estação de tratamento Araucárias.

Período	Alcalinidade mg/L CaCO ₃	Coliformes termotolerantes NMP/100 mL	DBO ₅ mg/L O ₂	DQO mg/L O ₂	Fósforo total mg/L	Nitrato e Nitritos mg/L	Nitrogênio amoniacoal mg/L N-NH ₃	Nitrogênio total mg/L N	pH	Sólidos sedimentáveis ml/L	Sólidos suspensos totais mg/L	Sulfetos mg/L
Jan/07	116	170	29	185	8	0	0	12	8,3	0,4	77	2,2
Fev/07	111	90	22	135	8,2	0,3	0	12	8,4	0,1	95	1,8
Mar/07	79	220	25	85	2,8	0,1	0	5	8,4	0,1	95	1,4
Abr/07	62	1700	27		0		0		8,4	0,1	25	1,7
Mai/07	59	1700	12		0		0		8,2	0,1	44	1,8
Jun/07	53	270	35	33	0		0		8,4	0,1	49	1,4
Jul/07	94	80	18	104	3,7	5,2	0		8,4	0,1	48	1,4
Ag/07	95	170	8	186	1,4	0,75	17		8,1	0,3	89	3,9
Set/07	94	110	48	258	2,3	2,3	4,5		8,4	0,3	110	1,5
Out/07	110	800		58	3,2	0,35	14		8	0,1	30	20
Nov/07	89	260	4	120	3,8	0,84	17		8,4	0,2	109	1,1
Dez/07	76	1300		94	3,6	0,5	1,1		8,4	0,3	56	0,7
Jan/08	78	1100	64	96	3,9	0,27	0,7		8,3	0,1	131	0,4
Fev/08	76	1400		225	3,5	0,07	0,1		8,1	0,1	90	0,5
Ma/08		500	18	171	3,6	0	0,6		7,9	0,1	47	0
Abr/08				98	4,9	0	6,7		7,7	0,1	16	0
Ma/08	71	230				0		0,8	40	0,1		
Ju/08	84			122	3,8	8			7,4			
Jul/08		11000		132	3,9	0,01	22	4,3	6,3	0,1	31	0
Ag/08	72	2200		72	4,7	20		5,2	4,8		0,3	18
Set/08	89	1100		29	0,6	3,8			7,5		0	17
Out/08	122	5000		83	4,1	0,04	24	9,6	6,6	0,1	24	0
Nov/08	79	1400		199	4,1	3,6			7,5		0,4	24
Dez/08	89	11000		82	4	0,09	1,6				102	0
Jan/09	72	1700	56						3,7	8		
Fev/09	79	1300							4,4	8,1		
Mar/09	217	30000	6	191	3,9	0,8			5,6	7		
Abr/09	85	1100	108	234	3,9	0,5			3,4	8,4		
Mai/09	70	2400	64	248	5	0,6	2,7	7,6	2,1			
Jun/09	65	800	44	170	3	2,5			4,6	7,5		

Quadro 8 - Parâmetros analisados da Estação de Tratamento de Esgoto Araucárias do município de Passo Fundo no período de janeiro/07 a junho/09.

4.3 Ensaios microbiológicos

4.3.1 Ensaios de sobrevivência em condições de armazenamento

Os ensaios de sobrevivência em condições de armazenamento das bactérias do grupo coliforme fecal, foram conduzidos com o objetivo de determinar, se para uma condição de ter que armazenar o efluente para posterior reúso, pode haver alterações na população bacteriana, que possam influenciar no provável risco de exposição de pessoas à estes agentes patogênicos. Os dados para os dois sistemas de tratamento, bem como o comportamento das bactérias são apresentados nas Figuras 51 e 52.

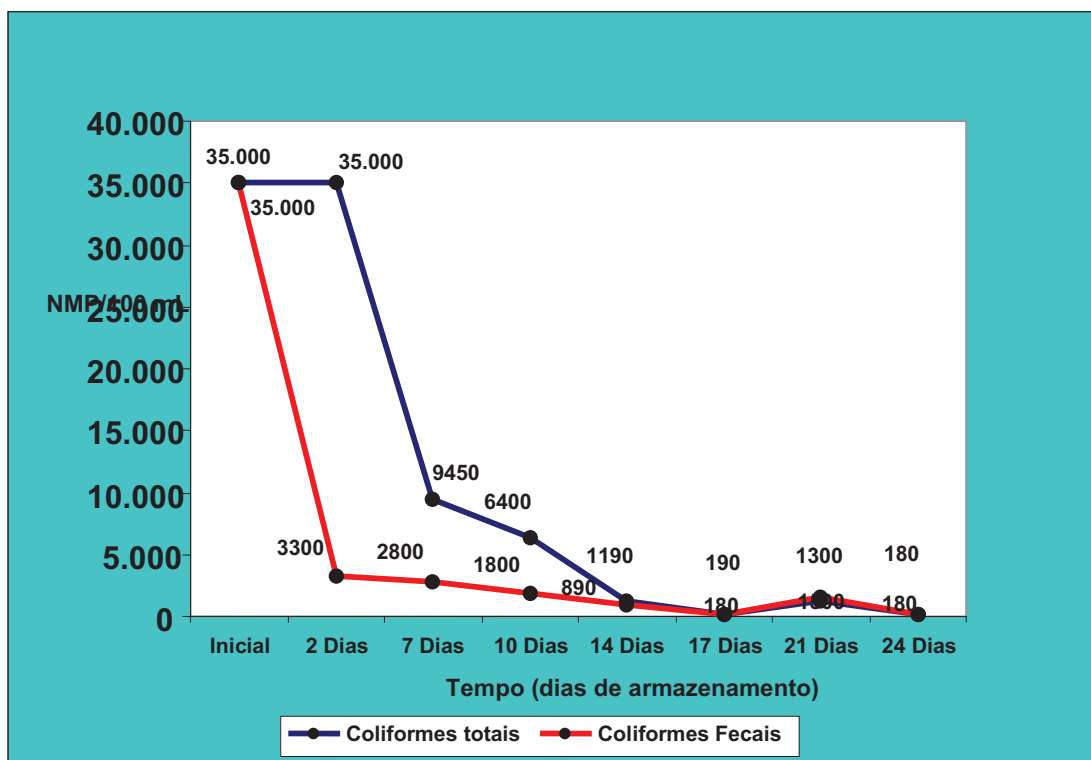


Figura 51: Sobrevivência de bactérias do grupo coliforme em condições de armazenamento do efluente da ETE –UPF.

Como pode ser observado para o caso do efluente do reator UASB, a população inicial de bactérias, tanto coliformes totais, como para o grupo fecal, era inicialmente grande, com uma média de NMP de 35.000/100mL. Para os dois dias após a coleta e armazenamento do efluente, a população do grupo fecal caiu para 9,4% da população inicial, enquanto que o grupo coliforme total se manteve inalterado. Aos sete dias de armazenamento a população deste mesmo grupo representava 27% da população inicial, enquanto que o grupo coliforme fecal apresentou uma população que corresponde a 8% da verificada na coleta do efluente

antes do armazenamento. Aos 10 dias, estas populações correspondiam, respectivamente 18,2% e 5,1% para os grupos coliformes totais e fecais. Aos 17 dias, a população continuou decaindo, sendo que a população para coliformes totais e fecais representava tão somente 0,54% da população inicialmente observada no efluente, antes do armazenamento. A população se manteve baixa até os 24 dias, em que pese, o grupo coliforme total ter experimentado uma pequena elevação no valor do NMP aos 21 dias.

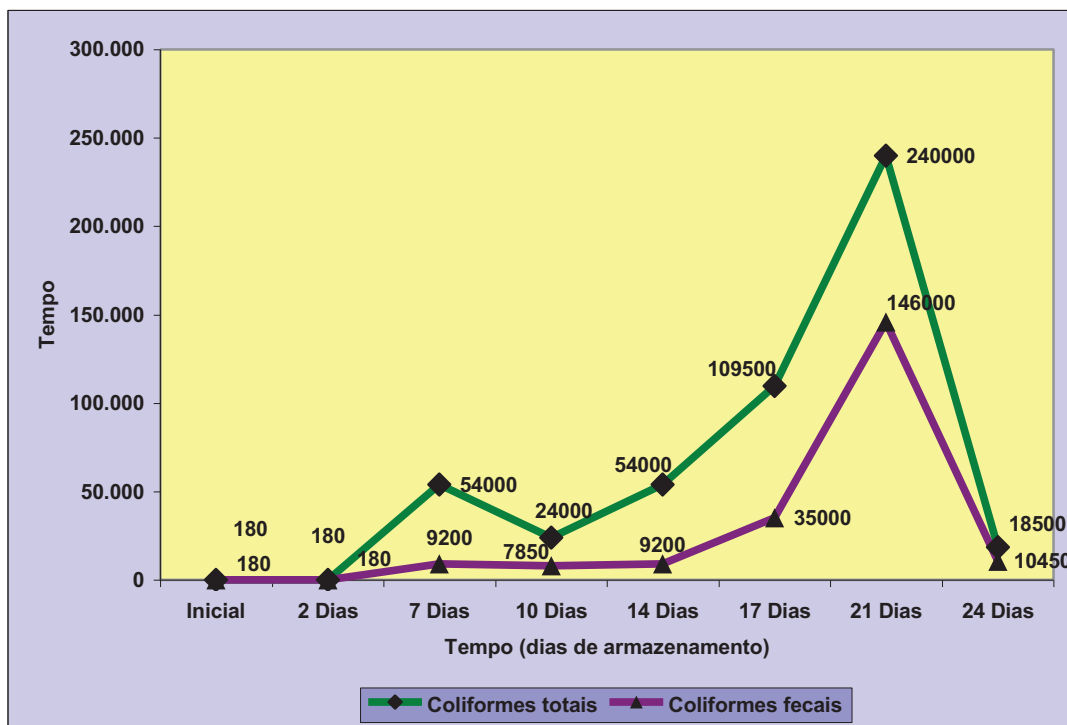


Figura 52: Sobrevivência de bactérias do grupo coliforme em condições de armazenamento do efluente da ETE –Araucária.

No caso do efluente da ETE-Araucária, a população bacteriana inicial foi bem menor, em função de que se trata de um sistema de lagoas de estabilização em série, com uma eficiência maior de redução de microorganismos patogênicos, do que os reatores anaeróbios, como destaca Von Sperling (1996b). A população se manteve baixa, até dois dias de armazenamento, sendo que já aos 7 dias experimentou um aumento significativo para ambos os grupos, sendo maior para o grupo coliformes fecais, que teve um aumento altamente significativo na população, de um NMP de 180/100mL para 54.000/100mL. Após um pequeno decaimento na população aos 10 dias, verificou-se novamente um aumento na população dos dois grupos analisados, sendo que o coliforme total apresentou sempre um crescimento maior em todo o período do estudo que o grupo coliforme fecal. Este crescimento atingiu o seu pico aos 21 dias, e depois mostrou uma queda elevada aos 24 dias, quando as

populações dos grupos coliforme total e fecal representavam somente 7,7% e 7,1%, respectivamente, das populações observadas na data anterior de coleta e avaliação. Porém, deve ser observado que a população remanescente em ambos os grupos, é altamente elevada, muito superior a qualquer padrão de qualidade de reúso, visando a minimização de riscos associados.

Quanto ao comportamento diferenciado dos dois sistemas, talvez o fato que explique melhor seja a própria característica do processo de crescimento de uma população bacteriana em ambiente controlado e limitado. No caso da ETE-UPF, sistema de reator anaeróbio de fluxo ascendente, a população bacteriana inicial era muito elevada, devido à baixa eficiência do processo para este parâmetro, sendo que durante todo o período de armazenamento, a sua queda pode ser explicada pela redução na disponibilidade de nutrientes e/ou provável esgotamento de outros fatores essenciais a este crescimento. Já no caso do efluente da ETE-Araucária, a população inicial baixa, ainda dispunha de fatores essenciais ao seu crescimento e naquelas condições do armazenamento, experimentou um crescimento acelerado que é típico para bactérias, sendo que aos 21 dias, atingiu o seu valor máximo, e depois, provavelmente, pelos mesmos fatores alegados para o caso anterior, experimentou uma queda significativa na sua população.

No entanto, para o efluente da ETE-Araucária, a condição observada aponta para uma possibilidade de manutenção e/ou de elevação da população bacteriana destes dois grupos, com um risco associado significativamente elevado, uma vez que a comparação dos resultados obtidos, entre os dois sistemas, aponta para direções totalmente opostas.

Os resultados das análises físico-químicas dos efluentes mostram variações para a DBO da ETE –UPF de 7-165 mg O₂/L e de nitrogênio de 9,5-56 mg/L, enquanto que para a ETE-Araucária os valores de DBO variaram de 8-64 mg O₂/L, fósforo total de 0,6-8,2 mg/L e nitrogênio total de 0,8-12 mg/L. Sabe-se que as bactérias são o grupo de microrganismos de maior presença em efluentes e que o seu crescimento populacional é limitado principalmente pela disponibilidade ou não de nutrientes como a matéria orgânica que se constitui na sua principal fonte de carbono e energia, o nitrogênio e o fósforo. Como também é igualmente verdadeiro, que os seus requisitos nutricionais variam com a espécie. Mas uma análise preliminar dos dados citados mostra que no efluente armazenado dos dois sistemas, estas fontes se achavam disponíveis em valores relativamente elevados. Na ETE-UPF, no entanto, esta disponibilidade pode não ter sido compatível com as necessidades da população mais elevada e daí a sua queda rápida. Já no caso da ETE-Araucária, a menor população inicial, devido à maior eficiência do processo, pode ter encontrado ainda uma carga orgânica de

carbono, além de nitrogênio e fósforo capaz de sustentar, pelo menos provisoriamente um pico de crescimento populacional, após o que adveio o colapso, também pela provável exaustão destes nutrientes.

4.3.2 Ensaios de sobrevivência após reúso para irrigação de jardim

Nestes ensaios, o objetivo principal foi o de determinar a sobrevivência das bactérias do grupo coliforme, após reúso de efluente da ETE-UPF em irrigação de jardim, no sentido de se avaliar os riscos potenciais associados com o contato de pessoas com a vegetação tratada. Para tanto, se conduziu um ensaio onde se fez uma única aplicação e outro, com várias aplicações, intervaladas, simulando uma condição comum que é a irrigação de jardins em época de verão e com deficiência pluviométrica. Os resultados são apresentados nas Figuras 53 e 54.

A população inicial, tanto em termos do grupo coliforme total e do grupo coliforme fecal, apresentou valores relativamente elevados. Um dia após a aplicação, a análise da água de lavagem do material coletado, apresentou uma queda bastante acentuada nos valores de NMP, sendo que no grupo coliforme total, os dados apontam uma população que representou 10,38% dos valores observados no efluente antes da irrigação. Já para o grupo de coliformes fecais, esta população representou somente 0,83% e se manteve inalterada até os 10 dias após a irrigação do jardim. Aos dois dias, o grupo coliforme total, representava 5,89% da população inicial, mantendo-se praticamente inalterado até os 7 dias, com uma queda que representou 3,58% da população inicial. Porém, de forma contrária ao grupo coliforme fecal, este grupo teve os seus valores de NMP, sempre superiores aos padrões recomendados na bibliografia que variam de 200-1000/100 mL tendo como faixa normal para reúso de 1000/100 mL, o que pode representar risco de contaminação de pessoas (FAO, 1985; AYERS, WESTCOT, 1994).

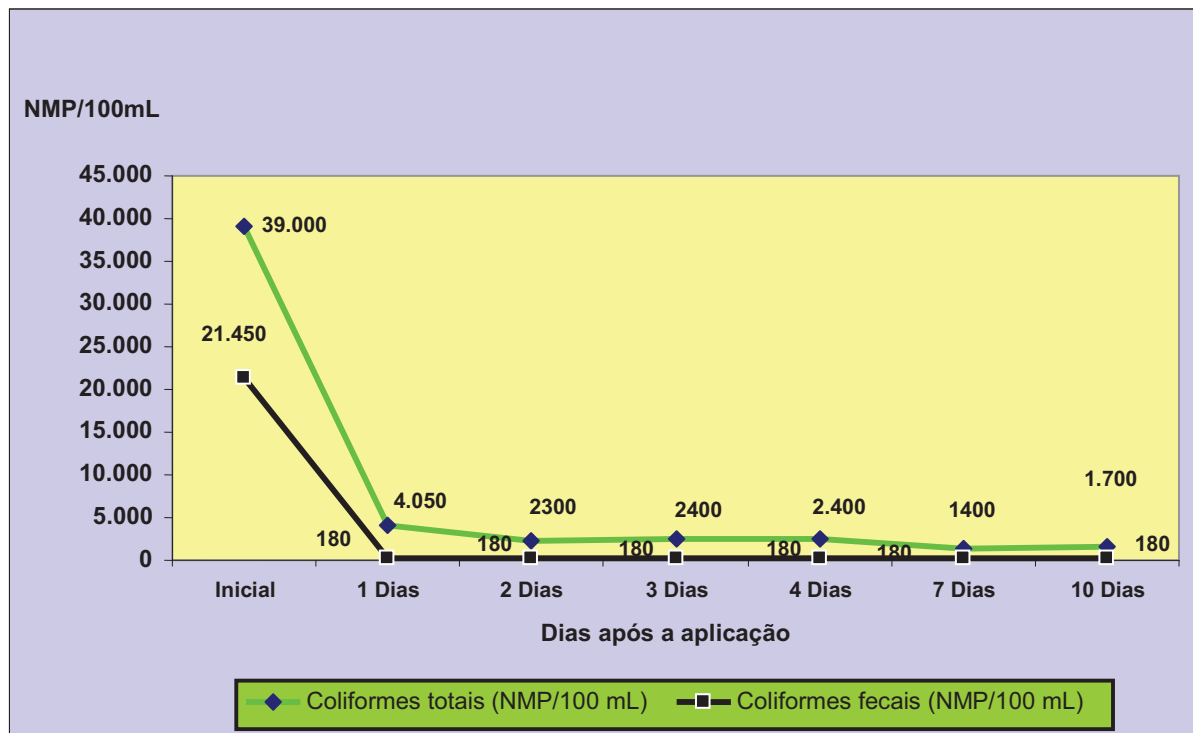


Figura 53: Sobrevivência de bactérias do grupo coliforme em grama de jardim após irrigação do efluente da ETE –UPF.

Quanto ao ensaio com três irrigações sucessivas, os resultados da Figura 53 demonstram que apesar da população microbiana para os dois grupos analisados ser extremamente elevada (média da população observada nas três aplicações), houve uma redução muito grande nesta população já no primeiro dia após a aplicação, sendo respectivamente, 1,16% e 1,4% para o grupo coliforme total e coliforme fecal, mas com valores bem superiores aos padrões de qualidade recomendados para este tipo de reúso. Dentro dos 7 dias, enquanto que se observou um aumento na população do grupo coliforme total, a população do grupo coliforme fecal representou 0,10% da população inicial, caindo para 0,052% aos 10 dias e se mantendo assim até o final do período do ensaio. Com o grupo coliforme total, o comportamento foi semelhante, apesar de se verificar um aumento na população aos 17 dias, porém o valor de NMP ficou dentro dos limites recomendados.

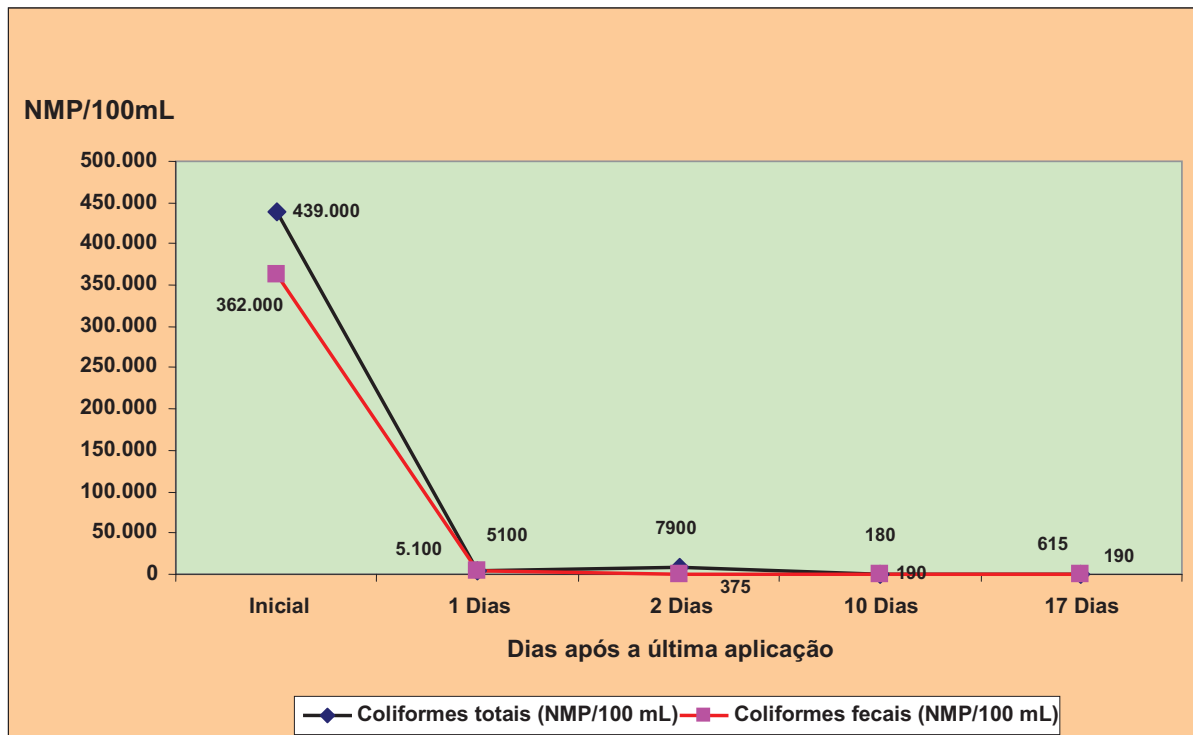


Figura 54: Sobrevivência de bactérias do grupo coliforme em grama de jardim após três irrigações sucessivas com efluente da ETE –UPF.

De acordo com as diretrizes microbiológicas recomendadas pela OMS (1989), que as condições de reúso para a irrigação de parques, campos esportivos e irrigação de culturas a serem ingeridas cruas é de 1000/100 mL, enquanto que para culturas de grãos, não é aplicável. Os dados dos dois ensaios mostram que apesar de haver uma queda elevada na sobrevivência das bactérias, a população remanescente, pode apresentar risco microbiológico, como o observado para o grupo coliforme total no ensaio com uma única aplicação, que se manteve acima do limite recomendado até os 10 dias. Exigindo, portanto, maior eficiência e controle nos sistemas de tratamento, bem como monitoramento após a irrigação.

O sistema de reator anaeróbio utilizado na ETE-UPF apresentou baixa eficiência de redução da população destas bactérias, o que determinou a presença de elevadas populações no efluente de reúso, demonstrando também, que além do sistema utilizado, deve ser considerado a influência de fatores de projeto e operacionais sobre a qualidade final do efluente de reúso, exigindo maior controle desta qualidade.

4.3.3 Comparação dos parâmetros físico-químicos com os limites recomendados

Os parâmetros físico-químicos das análises das duas estações de tratamento foram comparados com os limites recomendados de acordo com FAO (1985) e Ayers e Westcot

(1994) que foram levantados na revisão bibliográfica. Fez-se um levantamento do total de amostras que apresentaram valores superiores a estes limites. Os dados são apresentados no Quadro 9. Os parâmetros físico-químicos considerados em função das análises laboratoriais feitas foram o pH, fósforo total, DBO, óleos e graxas, sólidos em suspensão, nitrogênio amoniacal e coliformes fecais.

Parâmetro	Limites Recomendados (FAO,1985;Ayers e Westcot,1994)	% de Amostras acima do Limite	
		ETE –UPF	ETE -Araucária
pH	6,5-8,4	0	0
Fósforo total (mg/L)	2,0	NA	81,5
DBO (mg/L O ₂)	30	92,5	58,8
Óleos e graxas (mg/L)	8,0	25,9	NA
Sólidos em Suspensão (mg/L)	50,0	74,0	54,5
N-amoniacal (mg/L)	5,0	100,0	70,0
Coliformes fecais (NMP/100mL)	200-1000	NA	46,7

NA = Não analisado.

Quadro 9 – Comparativo dos parâmetros analisados para os dois sistemas de tratamento com os limites recomendados para reúso.

Os resultados do Quadro 9, demonstram que o índice de desconformidade em relação aos limites utilizados para os dois sistemas e para os parâmetros considerados é elevado. No caso da ETE-UPF, os percentuais de amostras com valores acima do limite recomendado para reúso de águas de esgoto tratadas foram de 92,5% para a DBO, 74% para sólidos em suspensão e de 100% para o nitrogênio amoniacal, enquanto que para óleos e graxas foi de 25,9%. O mesmo aconteceu para os padrões da ETE- Araucária, que tiveram altos percentuais de valores acima do limite recomendado, como é o caso do fósforo total com 81,5% das amostras com valores acima do limite recomendado e o nitrogênio amoniacal com 70% de valores acima do recomendado. Também se deve destacar o grupo coliforme fecal, em função do risco microbiológico associado.

No quadro 10 relacionou-se a média dos principais parâmetros analisados das duas ETE's e fez-se uma comparação com os parâmetros mais importantes que as águas de reúso classe 1 destinadas a usos como descarga de bacias sanitárias e usos ornamentais como chafarizes.

Parâmetros	Concentrações	ETE Araucárias	ETE-UPF
Coliformes fecais	Não detectáveis	2825	
pH	Entre 6,0 e 9,0	12,23	7,37
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L	6,16	
DBO (mg/L)	≤ 10 mg/L	34,6	71,54
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L	2,02	
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	≤ 20 mg/L	5,6	30,6
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1 mg/L	3,48	
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	≤ 5 mg/L	76,81	57,67

Quadro 10 – Comparativo das médias dos parâmetros analisados para os dois sistemas de tratamento com os limites recomendados para reúso de águas classe 1.

No quadro 11 relacionou-se a média dos principais parâmetros analisados das duas ETE's e fez-se uma comparação com os parâmetros mais importantes que as águas de reúso classe 3 destinadas a usos como irrigação de jardins e áreas verdes.

Parâmetros	Concentrações	ETE Araucárias	ETE-UPF
Coliformes fecais	≤200/100 mL	2825	
pH	Entre 6,0 e 9,0	12,23	7,37
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L	6,16	
DBO (mg/L)	≤ 20 mg/L	34,6	71,54
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L	2,02	
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	5-30 mg/L	5,6	30,6
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1 mg/L	3,48	
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	≤ 20 mg/L	76,81	57,67

Quadro 11 – Comparativo das médias dos parâmetros analisados para os dois sistemas de tratamento com os limites recomendados para reúso de águas classe 3.

Os resultados encontrados nos três quadros comparativos demonstram que o reúso de águas provenientes do esgoto doméstico tratadas, dependendo do sistema utilizado e da eficiência operacional do mesmo, poderá depender da utilização de práticas de pré-tratamento visando à adequação aos limites de qualidade recomendados e de segurança ambiental e/ou à saúde pública uma vez que em determinados momentos encontramos o pH mais elevado com no quadro 10 para a ETE Araucárias, em algumas situações encontramos índices de fósforo ou nitratos elevados a que podem ocasionar problemas de eutrofização das águas. De acordo com PROSAB (2006) a adoção de práticas de desinfecção como coagulação química poderão ser necessárias para o atendimento aos limites recomendados. No caso de irrigação irrestrita, deverá haver a combinação de requerimentos de pré-tratamento com a utilização de monitoramento e emprego de indicadores para assegurar reúso livre de níveis de risco de microrganismos patogênicos. A utilização de efluentes tratados com técnicas de reduzida capacidade de remoção de patógenos como reatores UASB, pode impor limitações ao reúso, em práticas de irrigação onde pode haver elevada exposição de pessoas, como a irrigação em

jardins e parques. No caso da irrigação na agricultura, pode haver a necessidade de utilização de técnicas de irrigação que reduzam a exposição de trabalhadores, como a irrigação subsuperficial e, naqueles casos de agricultura de baixo nível tecnológico até a utilização de equipamentos de proteção individual.

Procedimentos de análise de risco poderão ser necessários para a avaliação preliminar do potencial de reúso de águas tratadas em sistemas de irrigação tanto restrita como irrestrita. Vários procedimentos de análise de risco à saúde para a avaliação de águas de reúso já estão sendo utilizados e recomendadas na bibliografia, mas pouco existe sobre outros requisitos de qualidade visando proteção ambiental, como presença de contaminantes, efeitos da qualidade do efluente de reúso sobre o solo, como a salinização e o comprometimento da capacidade de infiltração da água no solo, a toxicidade de íons específicos a planta e o potencial de contaminação de águas subterrâneas.

O reúso de águas em sistemas de irrigação deve envolver a consideração das técnicas de tratamento de esgotos tratados, a qualidade final do efluente para o reúso, considerando-se aspectos de qualidade ambiental, de saúde pública e agronômicos, bem como a compatibilização destes requisitos com as técnicas de irrigação, as características do solo e as climatológicas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos neste trabalho, os resultados demonstram que o reúso de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos domésticos, para fins de irrigação de jardins e parques públicos, tem seus padrões de qualidade físico-química e microbiológica dependente do sistema em questão, bem como dos padrões operacionais. Os resultados das análises físico-químicas durante o período de realização deste estudo apresentaram ampla variação nos seus valores, independente do sistema em questão, o que pode comprometer a sua utilização direta no reúso.

Para o caso específico de uso na irrigação, quando ocorre contato direto como o caso do reúso em gramados de parques e jardins, esta variação observada pode exigir a utilização de um sistema de pré-tratamento visando a sua adequação a possíveis critérios de controle de risco à saúde e ambientais. A comparação destes valores com os índices de qualidade de água de reúso encontrados na bibliografia apontou alto índice de desconformidade para os parâmetros como fósforo total, DBO, coliformes termotolerantes, óleos e graxas, sólidos em suspensão e nitrogênio amoniacal nos dois sistemas estudados.

A sobrevivência das bactérias dos grupos coliforme total e fecal apresentou um comportamento distinto nos ensaios de conservação e teve relação com a população inicial. No sistema de reator anaeróbio da ETE-UPF, com uma população inicial mais elevada, houve uma queda brusca no crescimento bacteriano, enquanto que no efluente do sistema de lagoas de estabilização da ETE-Araucária, com uma população inicial muito baixa, houve um crescimento populacional para níveis bastante elevados até os 21 dias de armazenagem, depois decaindo, porém mantendo contagens elevadas de bactérias para os dois grupos.

Nos ensaios de aplicação em jardim, tanto com uma única irrigação, como com três irrigações, a sobrevivência das bactérias de ambos os grupos foi reduzida significativamente e atingiu valores abaixo dos limites recomendados para a proteção da saúde humana.

De outro lado, os resultados do presente estudo, sugerem que o reúso de efluentes domésticos, tanto para fins de irrigação, como para usos urbanos não potáveis deve ter um monitoramento dos seus padrões físico-químicos e biológicos, uma vez que estes podem não atender a critérios específicos para o reúso, que são distintos daqueles para descarga em corpos de água.

Finalmente, os resultados dos ensaios microbiológicos, demonstram a necessidade de se conduzir mais estudos, visando o estudo do comportamento das bactérias do grupo coliforme fecal, em esgotos para irrigação onde ocorra a exposição e contato humano, bem como a adoção de métodos de análise do risco à saúde humana devido a esta exposição potencial.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. P. M. **Capacidade de atenuação do solo de fundo da lagoa anaeróbia da ETE de Passo Fundo/RS**. 2005. Curso de pós-graduação em Engenharia/ Área de concentração Infra-estrutura e Meio Ambiente - Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Passo Fundo, 2005.
- ANA. **Disponibilidade de demanda de Recursos Hídricos no Brasil**. Estudo Técnico. Caderno de Recursos Hídricos. Brasília, 2005.
- ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários – Experiência brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.
- ASANO, T.; LEVINE, A. D. **Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future**. *Water Science and Technology*, Vol. 33, p 10-11, 1996.
- ASANO, T.; et al. **Evaluation of wastewater California reclamation criteria using enteric virus monitoring data**. *Water Science and Technology*, vol.26, no 7-8, 1992.
- ASANO, T. **"Wastewater reuse cuts down waste"**. *Water Quality International*. No 2, 1998.
- AYERS, R. S e WESTCOT, D. W. **Water Quality for Agriculture**. Technical Report FAO, 1994.
- BASTOS, R. K. X. (coord.). **Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003
- BEEKMAN, G.B. **Conservation, recycling and reuse**. In: BISWAS, A. K., *International Journal of Water Resources Development*. Oxfordshire: Canfax, 1998.
- BERNARDI, C. C. **Reúso de água para Irrigação**. 2003. Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, com área de concentração em Planejamento Estratégico, ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília 2003.
- BLUM, J. R. C. **Critérios e padrões de qualidade da água**. In: Mancuso, P.C.S; Santos, H.F. *Reúso de água*. Barueri, São Paulo: Manoli, 2003.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 303. Publica no D.O.U. de 13 de março de 2002**. Disponível em: <www.mma.gov.br> . Acessado em 10 de janeiro de 2010.
- PROSAB. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Projeto de Lei n. 5296/2005: diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e política nacional de saneamento básico**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 270p.

PROSAB. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n. 54 - 28 nov. 2005. Estabelece modalidades, diretrizes para a prática do reúso direto não potável de água e dá outras providências.** Brasília: Ministério das Cidades, 9 mar. 2006.

CAPRILES, R.. **Meio século de lutas: Uma visão Histórica da água.** 2008. Disponível em [http<www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br). Acesso em 08 jan. 2009.

CETESB. **Relatório de qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo.** São Paulo: Sema, 2005.

CIRRA - CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REUSO DE ÁGUA. Reúso de água. Universidade de São Paulo. 2002. Disponível na Internet: <www.usp.br/cirra/reuso>. Acesso: 10 Jan. 2009.

CORWIN, D.L & BRADFORD, S.A. Environmental Impacts and Sustainability of Degraded Water Reuse. **Journal of Environmental Quality.** vol. 37, p 1-7, 2008.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº. 54-28 novembro de 2005. Estabelece modalidades e diretrizes para a prática do reúso direto não potável de água e da outras providencias. **Diário Oficial da União,** Brasília, 9 de março, 2006.

CROOK, J. Health Aspects of water reuse in California. **Journal of ASCE Environmental Engineering Division,** v 104, 1978.

CROOK, J. & SURAMPALLI, R. "Water reclamation and reuse criteria in the U.S." **Water Science and Technology,** Vol. 33, No. 33. p. 10-11, 1996.

FAO. **Wastewater quality guidelines for agricultural use. Effluent quality guidelines for health protection.** Disponível em: <[http://www.fao.org/effluent quality guidelines/html](http://www.fao.org/effluent_quality_guidelines/html)> acesso em 23 abril 2009.

FELIZATTO, M. R. ETE CAGIF: **Projeto integrado de reúso direto de águas residuárias.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e Ambiental, 21, 2005, Brasília. Resumo. Brasília: ABES, 2005.

FERNANDEZ, J. C. & GARRIDO, R. J. **Economia dos recursos hídricos.** Salvador: EDUFBA, 2002.

FINK, D. R. & SANTOS, H. F. **A legislação de reúso da água.** In: Reuso de água; Capítulo 8. Eds. P. C. Sanches Mancuso & H. Felício dos Santos. Universidade de São Paulo- Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental- ABES. São Paulo, 2002.

GUIDOLIN, J. C. **Reúso de efluentes.** Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2000.

HESPANHOL, I & PROST, A.M.E. "WHO Guidelines and National Standards for reuse and Water Quality". **Water Research,** Vol.26, no 6, 1993.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13,n. especial, 2003.

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. Dissertação de mestrado - Escola Politécnica de São Paulo da USP. São Paulo, 1987.

LIMA, J.E.F.W.; et al. **O Uso da Irrigação no Brasil**. In: Estado das Águas no Brasil – 1999: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos, SIH/ANEEL/MME; SRH/MMA, 1999.

LOURDINHA, F.; MIGUEL, M.A. **Tratamento e Utilização de esgotos sanitários**: Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

MARA, D.D.; CAIRNCROSS, S. **"Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture"**. WHO - World Health Organization & UNEP - United Nations Environment Program, Geneva, Switzerland, 1989.

MEDEIROS, H.C. de. **O uso informal de esgotos domésticos na irrigação agrícola na cidade de Caicó/RN**. 2006. Monografia (Especialização) - Pós-Graduação Lato Sensu, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Projeto de Lei nº 5.696/2005: diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e Política Nacional de Saneamento Básico**. PNS. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

NAVAL, L. P; WANDERLEY, T. F. Risco potencial do reúso de águas residuárias domésticas em cultivares de batata-doce (*Ipomea batatas* (L) Lam) para a produção de etanol. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 23. **Anais...** Campo Grande, 18-23 setembro 2005.

NECKEL, A. et al. Recuperación ambiental de un área verde urbana. **Revista de Ciencia y Tecnologia**, v. 11, n. 11, p. 1-9, 2009.

OMS. **"Aprovechamiento de efluentes: Métodos y medidas de protección sanitaria en el tratamiento de aguas servidas - Informe de una Reunión de Expertos de la OMS"**. Organización Mundial de La Salud - Série de Informes Tecnicos No 517, Ginebra, Suiza, 1973.

OMS. **"Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura - Informe de um Grupo Científico de la OMS"**. Organización Mundial de La Salud - Série de Informes Técnicos, Ginebra, Suiza, 1989.

OMS. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture**. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/wasteuse/en. Acesso em 14 jan.2010, p. 20.

PAZ, A. M. A.; RIBAS, M. L. O. Reúso e reciclo de efluentes líquidos gerados pelas indústrias do Estado do Rio Grande do Sul. **FEPAM em Revista**, Porto Alegre, v.1, n.2, jul/dez.2007.

PINHO, F; VASCONCELOS, A. K; MARINHO, G. **Diagnóstico do reúso no Nordeste Brasileiro**. Trabalho apresentado no III Congresso de pesquisa e Inovação da rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Fortaleza, 2008. Disponível em: <<http://www.intv.cefetce.br/connepi/papers/>> Acesso em 25 nov.2008.

SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Recursos Hídricos. **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Rio Grande do Sul**. Ano de Referência 2006. Disponível em:<<http://www.sema.rs.gov.br>>; acessado em junho de 2008.

SAUTCHUK, Carla. **Conservação de reúso de águas**. Editores: FIESP, ANA, MMA. São Paulo, Junho, 2005.

SHIKLOMANOV, I. **World water resources: a new appraisal and assessment for the 21 century**. IHP, Unesco, 1998.

SOUZA, M.A. A. "**Reúso de Água**". **Programa de Educação Continuada em Tecnologia Apropriada e Saneamento para Professores Universitários**. Original Reprográfico. CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organização Pan-Americana de Saúde, 1997.

TRENTIN, C.V. **Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba-PR**. Dissertação apresentada como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência do Solo. Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Paraná, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Editora UFRGS, ABRH, 2000.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Carlos: RiMa, II E, 2003.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. Technical Report no EPA/625/R-2/94. Washington, DC: USEPA, 1992

VON SPERLING, M. (a) **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. In: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol.1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996.

VON SPERLING, M.(b) **Reatores Anaeróbios**. In: Princípios do tratamento biológico de águas residuais. Vol.5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996.