

IV-197 - IMPACTOS DOS ESGOTOS SANITÁRIOS URBANOS NO MANANCIAL HÍDRICO DE MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE

Paulo Robinson da Silva Samuel⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutorando em Minas, Metalúrgica e de Materiais na UFRGS.

Endereço⁽¹⁾: Rua Santa Teresinha, 232/602 - Farroupilha – Porto Alegre - RS - CEP: 90.040-180 - Brasil - Tel: (51) 9 99873629 - e-mail: paulo.samuel@ufrgs.br

RESUMO

A precariedade do tratamento dos esgotos sanitários no país, principalmente em pequenos municípios, aliado à falta de recursos financeiros, necessitam apoio tecnológico e científico, sendo motivo de preocupação e atenção. O objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto gerado pelos esgotos sanitários urbanos no manancial hídrico do município de Feliz/RS, município brasileiro de pequeno porte. Para a elaboração deste trabalho foi necessário realizar o diagnóstico do sistema de tratamento de esgotos sanitários na área urbana do município; avaliar o impacto gerado pelos esgotos sanitários urbanos no manancial hídrico que banha o município, comparando-o limites estabelecidos na Resolução 357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005), legislação que trata sobre as águas superficiais. A estratégia de pesquisa adotada neste trabalho foi a pesquisa construtiva cuja metodologia foi dividida em duas etapas: A) delimitação da área geográfica e análise documental; B) levantamento quantitativo de domicílios, por bairro, e coleta de amostras de água em três pontos do manancial que banha o município de Feliz. Os parâmetros medidos em campo e os dados analisados em laboratório foram comparados com os padrões exigidos pela legislação que dispõe sobre a classificação de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Os resultados mostraram que a região urbana do município de Feliz apresenta inexpressivos índices de tratamento de esgotos domésticos. Os esgotos lançados sem tratamento, provenientes das redes pluviais, são os principais poluentes do rio, na área urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Enquadramento, Esgoto Sanitário, Qualidade da Água, Município de Feliz-RS, Recurso Hídrico.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o êxodo rural aliados à falta de investimentos na área do saneamento têm sido causas frequentes da insalubridade e contaminação do ambiente, trazendo como consequência a alta mortalidade infantil nas classes sociais menos favorecidas dos países em desenvolvimento.

Calcula-se que 86% das águas servidas das regiões urbanas da América Latina e Caribe, e 65% da Ásia são lançadas nos lagos, rios e mares sem qualquer tipo de tratamento (SAMUEL, 2004).

O Brasil não difere desta realidade. A falta de saneamento, além de prejudicar a saúde da população, eleva os gastos com a saúde pública através do tratamento das vítimas de doenças causadas pela falta de tratamento adequado da água, dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos e industriais.

Como resultado, a água de beber já perdeu a sua característica de recurso renovável nas regiões mais densamente povoadas no Brasil, exatamente onde está se faz mais necessária, à medida que os processos pouco estruturados de urbanização, industrialização e de produção agrícola, com uso desordenado de insumos químicos diversos são estimulados, consentidos ou tolerados. No meio urbano este quadro está sensivelmente associado ao lançamento de mais de 90% dos esgotos domésticos e de cerca de 70% dos efluentes industriais não tratados nos rios, o que tem gerado a degradação dos mananciais disponíveis de água de beber, em níveis nunca imaginados (REBOUÇAS, 1999).

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto gerado pelos esgotos sanitários urbanos no manancial hídrico do município de Feliz.

METODOLOGIA

O estudo realizou-se no município de Feliz, localizado na bacia hidrográfica do rio Caí, que está inserida na Região Hidrográfica do Guaíba, situada no Rio Grande do Sul, Brasil. De acordo com o Censo Demográfico de 2010, o município possui uma população 12.359 habitantes (IBGE, 2011) e no ano de 1998 figurou como o primeiro colocado no ranking dos municípios brasileiros com maior índice de desenvolvimento humano (IDH), de acordo com o relatório divulgado pela Organização das Nações Unidas (ONU), apesar dos baixos índices de tratamento de esgotos sanitários (SOUZA, 2009).

O processo de desenvolvimento para a realização do trabalho foi dividido em duas etapas: A primeira etapa foi a delimitação da área de estudo e coleta de dados secundários. Esta etapa consistiu de duas fases. Na primeira fase, realizaram-se visitas ao município com a finalidade de conhecer e delimitar a área de estudo. Concomitantemente ao reconhecimento da área a ser estudada, realizou-se contatos com representantes da Emater, Secretarias Municipais de Obras, Saúde e Departamento de Meio Ambiente, CORSAN-US-FELIZ, SEMA-DRH, autoridades municipais e ambientalistas com conhecimento dos principais mananciais hídricos da região. Baseando-se em mapas, consultados no Departamento de Engenharia da Secretária de Obras do Município de Feliz, imagens do Google Earth, de 14 de julho de 2008, e informações de técnicos dos órgãos citados anteriormente, delimitou-se a área a ser estudada. Com a delimitação da área de estudo, partiu-se para a pesquisa exploratória através de uma ampla análise documental. Nesta fase, levantaram-se os dados sobre a legislação municipal, o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Feliz, a existência de projetos e cadastros de redes de esgotos pluviais e sanitários, o destino do lançamento dos esgotos sanitários da área de estudo, assim como a localização das estações de tratamento de esgotos (ETEs). A segunda etapa caracterizou-se pela coleta de amostras de água no principal manancial hídrico do município, o rio Caí. As amostras de água são de fundamental importância para se conhecer os parâmetros analíticos da qualidade do corpo hídrico e verificar quais são os impactos dos esgotos urbanos neste manancial. As coletas das amostras de água foram realizadas em três pontos. Para a definição dos pontos de coleta, foram consideradas a existência do impacto do meio urbano no manancial e as condições de acessibilidade ao local. O primeiro ponto localiza-se a montante da área urbana, a jusante da divisa dos municípios de Vale Real e Feliz. O segundo ponto, na área urbana de maior concentração populacional, a jusante da ponte que divide o centro urbano e um dos bairros da cidade. Já, o terceiro ponto, a jusante da área central do município, na divisa entre os municípios de Feliz e Bom Princípio. Todos os pontos foram georeferenciados com GPS. Foram realizadas 04 coletas de água, no período de dezembro de 2010 a fevereiro de 2011, iniciando no dia 06 de dezembro a primeira campanha. As demais campanhas realizaram-se a cada 28 dias, portanto, nos dias 03 e 31 de janeiro e 28 de fevereiro de 2011. Todas as campanhas foram realizadas no mesmo dia da semana, segunda-feira, e sempre próximo dos horários da primeira coleta.

Todos os pontos de coleta foram localizados no meio da calha do rio. As coletas foram realizadas com o auxílio de barco de pequeno porte, a remo, sendo que, em cada ponto de coleta, foram registradas as coordenadas através de GPS, a temperatura da água, o pH, o OD e a profundidade, pois a coleta, em cada ponto realizou-se em três profundidades diferentes. A primeira amostra é coletada a 50 cm de superfície; a segunda amostra, a 50 cm do fundo do rio e a terceira amostra, na metade da profundidade total do rio, no ponto coletado. As amostras de água foram coletadas com garrafas Van Dorn, e misturadas em um recipiente polietileno, de 20 litros, a fim de homogeneizar todo o material coletado. As misturas homogeneizadas foram acondicionadas em frascos previamente limpos e esterilizados e devidamente identificados com o número do ponto de coleta. A temperatura da água, o pH e o OD foram medidos a uma profundidade de 50 cm. O material coletado foi mantido sob refrigeração a 4°C, em caixas de isopor, para o transporte, no mesmo dia, até o laboratório da empresa ECONSULTING Laboratório e Gestão Ambiental, cujo certificado de cadastro na FEPAM é o nº 21/2010-DL, onde foram realizadas as análises dos parâmetros, que determinaram a qualidade das águas do manancial. As coletas de amostras de água foram realizadas pelo pesquisador e pelo técnico do laboratório (figura 30), com equipamentos e material do laboratório da empresa Econsulting, de Porto Alegre-RS. Os equipamentos utilizados foram: trena com peso, para medir a profundidade do rio; garrafa Van Dorn, para coleta de água; oxímetro Instrutherm MO-900, que mede o oxigênio dissolvido; potenciômetro PH METER, modelo PH 221, que mede o pH; termômetro, para medir a temperatura da água em °C; recipientes de vidro âmbar e frascos de polietileno previamente limpos e esterilizados, para preparação das amostras; transporte ao laboratório para as análises. Os parâmetros medidos em campo e os dados analisados em laboratório foram comparados com os padrões exigidos pela legislação que dispõe sobre a classificação dos

corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, definido pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí.

RESULTADOS e DISCUSSÃO

O Diagnóstico do sistema de tratamento de esgoto sanitário da área urbana do município de Feliz foi realizado através de uma análise documental, este estudo mostra que no município de Feliz houve várias tentativas de implantação de redes e sistemas de tratamentos de esgotos domésticos nos últimos 11 anos. O levantamento realizado mostra os bairros e localidades do município de Feliz, o número de famílias, por bairro e localidade, e o destino dado aos esgotos sanitários no município. O município tem 19 bairros e localidades, totalizando 4051 famílias residentes. Parte das famílias moradoras no município, 1063 famílias, destinam seus esgotos domésticos através da rede de drenagem das águas pluviais, 2945 destinam através do sistema de fossa individual e 43 famílias lançam seus efluentes a céu aberto. O percentual do destino dos esgotos sanitários no município de Feliz é de que 73% dos esgotos são encaminhados para o sistema de fossa individual, 26% para as redes de drenagem das águas pluviais e 1% é lançado a céu aberto. Na área urbana do município, conforme levantamento, 68,4% dos esgotos sanitários são destinados ao sistema de fossas, 31,1% para as redes pluviais e 0,5% são lançados a céu aberto. Apesar de poucas residências lançarem os seus esgotos a céu aberto, este esgoto deve ser um motivo de preocupação, visto que, contribuí para a contaminação do solo e das águas, especialmente porque o município retira água subterrânea para o abastecimento da população.

A avaliação do impacto gerado pelos esgotos sanitários do município de Feliz no rio Caí, foi através das medidas realizadas, em campo, de: pH, temperatura, condutividade e OD, as análises laboratoriais de DBO₅, Nitrogênio Orgânico, Nitrato, Fósforo Total, Coliformes Termotolerantes e Sólidos Totais, resultantes das quatro coletas de água nos pontos 1, 2, e 3 (Figura 1), realizadas a cada 28 dias, no período de 06 de dezembro a 28 de fevereiro de 2011. Para cada ponto de coleta, foi realizada a comparação entre os parâmetros medidos e os parâmetros máximos estabelecidos, para cada classe de uso, pela resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005). O objetivo foi verificar se o trecho em estudo, entre os pontos 1 e 3, atende a classificação definida pelo enquadramento do rio Caí, classe 2, e quais são os parâmetros que impactam este trecho.

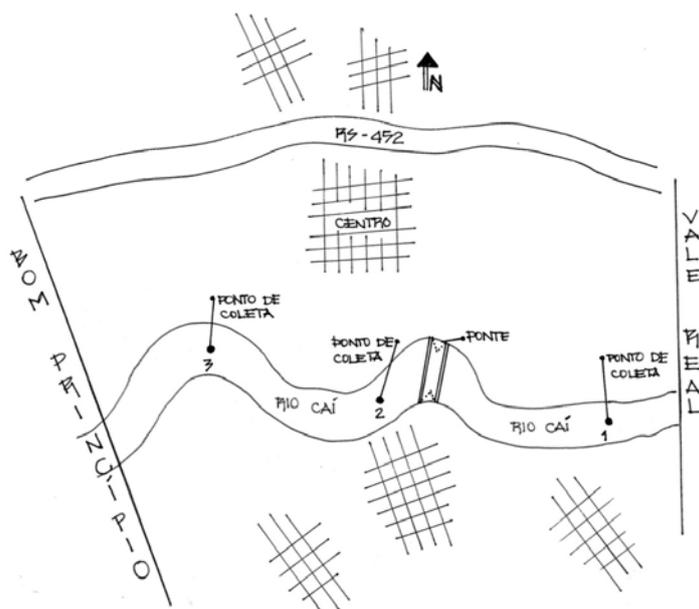


Figura 1- Croqui do Município de FELIZ-RS, localizando os pontos onde foram coletadas as amostras de água analisadas em laboratório.

Conforme a Estação Pluviométrica de Nova Palmira, localizada no município de Caxias do Sul, o volume de chuva medido no período de 28 dias anteriores aos dias de coleta, dias 06/12/2010, 03/01/2011, 31/01/2011 e 28/02/2011 foram respectivamente, 110,10 mm, 43,5 mm, 202,70 mm e 161,80 mm (AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS, 2003). Analisando os dados, verificou-se que a qualidade das águas no ponto 1, para uma vazão de 12,31 m³/s, na coleta de 06 de dezembro de 2010, foi enquadrada na classe 2, para o parâmetro DBO, e os demais parâmetros foram enquadrados na classe 1. O ponto 1 está dentro da classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia como classe 2. Na coleta 2, em 03 de janeiro de 2011, com uma vazão de 6,89 m³/s, o ponto 1 foi classificado em classe 4, para o parâmetro fósforo total; classe 3, para o parâmetro DBO₅ e classe 1 para os outros parâmetros. Neste período a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2. Na coleta 3, em 31 de janeiro de 2011, com uma vazão de 16,17 m³/s, o ponto 1 foi classificado em classe 3, para o parâmetro DBO₅; e classe 2, para os parâmetros coliformes termotolerantes e fósforo total e classe 1, para os demais parâmetros. Neste período, a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2. A coleta 4, realizada em 28 de fevereiro de 2011, com vazão de 61,89 m³/s, o ponto 1 foi classificado em classe 4, para o parâmetro fósforo total; classe 3, para o parâmetro DBO₅ e classe 1, para os outros parâmetros. Neste período a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2.

Conforme os resultados dos parâmetros no ponto 2, para uma vazão de 12,31 m³/s, na coleta de 06 de dezembro de 2010, verificou-se que a qualidade das águas corresponde à classe 3 para os parâmetros coliformes termotolerantes e OD; classe 2, para o parâmetro DBO₅, sendo que os demais parâmetros foram enquadrados na classe 1. Neste período a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2. Na coleta 2, 03 de janeiro de 2011, com vazão de 6,89 m³/s, o ponto 2 foi classificado em classe 4, para o parâmetro DBO₅; classe 3, para o parâmetro fósforo total e classe 1, para os outros parâmetros. Neste período a qualidade da água não se enquadra na proposta do Comitê, que é classe 2. Na coleta 3, em 31 de janeiro de 2011, com vazão de 16,17 m³/s, o ponto 2 foi classificado em classe 3, para o parâmetro DBO₅ e fósforo total e classe 1, para os demais parâmetros. Neste período a qualidade da água não atende a classificação proposta pelo enquadramento do Comitê, classe 2. Na coleta 4, em 28 de fevereiro de 2011, com vazão de 61,89 m³/s, o ponto 2 foi classificado em classe 2, para o parâmetro coliforme termotolerantes e classe 1 para os demais. O ponto 2 está dentro da classificação estabelecida pelo enquadramento definido pelo Comitê de Bacia como classe 2.

Analisando os dados obtidos, verificou-se que a qualidade das águas no ponto 3, para uma vazão de 12,31 m³/s, na coleta de 06 de dezembro de 2010, foi de classe 4, para o parâmetro fósforo total e classe 3, para o parâmetro DBO₅. Os coliformes termotolerantes foram definidos em classe 2. Os demais parâmetros foram enquadrados na classe 1. Neste período a qualidade da água não atende a classificação proposta pelo Comitê, que é classe 2. Na coleta 2, em 03 de janeiro de 2011, com vazão de 6,89 m³/s, o ponto 3 foi classificado em classe 2 para o parâmetro DBO₅ e classe 1 para os outros parâmetros. O ponto 3 atende a classificação estabelecida pelo Comitê de Bacia, classe 2. Na coleta 3, em 31 de janeiro de 2011, com vazão de 16,17 m³/s, o ponto 3 foi classificado em classe 3 para o parâmetro fósforo total, e classe 2 para os parâmetros coliformes termotolerantes e DBO₅ e classe 1 para os demais parâmetros. Neste período a qualidade da água não atende a classificação proposta pelo Comitê, que é classe 2. Na coleta 4, em 28 de fevereiro de 2011, com vazão de 61,89 m³/s, o ponto 3 foi classificado em classe 4, para o parâmetro fósforo total e em classe 3 para o parâmetro DBO₅. O parâmetro, coliformes termotolerantes, foi enquadrado em classe 2, enquanto que os demais parâmetros em classe 1. Neste período a qualidade da água não se enquadra classificação proposta pelo Comitê, Classe 2.

No período de coleta considerado, observou-se que ocorre flutuação na qualidade da água para um mesmo ponto amostrado. Isto pode ser explicado pela vazão, considerando-se que as precipitações provocam a lavagem das superfícies e carregam contaminantes aos mananciais, através do escoamento das águas superficiais. Com baixas vazões, há concentração dos esgotos domésticos não tratados, dificultando a diluição destes, no corpo hídrico.

No ponto de coleta 1, 02 parâmetros apresentaram valores acima dos limites estabelecidos para a classe 2. Para o parâmetro DBO₅, 75% das amostras estão enquadradas em classe 3 enquanto que para o fósforo total, 50% das amostras de estão classificadas em classe 4. Neste caso verifica-se a importância das vazões no manancial hídrico, tendo em vista que com as vazões diferenciadas nos períodos de coleta, classificou-se o ponto 1 em

classe 2, para a vazão de 12,31 m³/s, classe 3 para a vazão 16,17 m³/s e classe 4 para as vazões 6,89 m³/s e 61,89 m³/s, vazões mínima e máxima do período analisado.

Considerando que a DBO₅ é um indicador da presença de matéria orgânica no ambiente aquático, a presença de DBO elevada, desde o início do trecho do rio da área em estudo, pode ser explicada pelo somatório da contribuição dos esgotos sanitários da área urbana de Caxias do Sul e comunidades à montante do ponto 1. Estes dados estão em conformidade com os estudos realizados por Navarro, Piranha e Pacheco (2006), sobre os altos níveis de DBO como consequência do descarte de efluentes domésticos nas imediações.

No ponto 2, 04 parâmetros, coliformes termotolerantes, DBO₅, fósforo total e OD apresentam valores acima dos limites para a classe 2. Conforme os limites estabelecidos, 50% das coletas estão enquadradas em classe 3 e 25%, em classe 4. As coletas classificadas em classe 2, 25% do total neste ponto, foram realizadas com uma vazão de 61,89 m³/s. Os elevados teores destes parâmetros são consequência do descarte de esgotos domésticos e aporte de nutrientes no manancial.

No ponto 3, tanto DBO₅ como fósforo total, estão acima dos limites estabelecidos pelo enquadramento, sendo que 50% das coletas se referem ao parâmetro DBO₅ e 75% ao fósforo total. Altos valores destes parâmetros estão relacionados com altas vazões e são consequências do escoamento superficial das águas pluviais. A massa poluente permanece depositada sobre a superfície da bacia no período de estiagem, sendo transportada para o corpo d'água, durante o escoamento superficial (BRITES; GASTALDINI; SARTORI, 2005).

A tabela 1, apresenta a classificação dos parâmetros, no ponto de coleta 3, de acordo com a Resolução 357/2005 do CONAMA, no período amostrado.

Tabela 1: Classificação dos parâmetros, no ponto de coleta 3.

Ponto 3				
Parâmetros	06/12/2010	03/01/2011	31/01/2011	28/02/2011
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	490	20	490	490
DBO ₅ (mg DBO ₅ /L)	6	4	5	8
Fósforo Total (mg P/L)	0,163	0,045	0,139	0,375
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	< 0,200	< 0,200	< 0,200	< 0,200
Nitratos (mg NO ₃ /L)	0,93	0,791	1,504	0,703
Oxigênio Dissolvido (OD) (mg OD/L)	6,4	6,5	6,8	7,3
pH	7,2	7,33	7,27	7,93
Turbidez (NTU)	11,61	2,37	11,17	22,2

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Quanto à classificação do corpo hídrico, relativa aos limites estabelecidos na Resolução 357/05 do CONAMA (BRASIL, 2005), pode-se constatar que, a partir dos resultados obtidos nas 04 campanhas, 75% das amostras coletadas estão fora da classificação estabelecida pelo Comitê de Bacia, Classe 2, para o trecho do rio estudado, Resolução 50/2008 do CRH (RIO GRANDE DO SUL, 2008).

CONCLUSÕES

Constatou-se uma flutuação na qualidade da água, para um mesmo ponto amostral, em função da variação das vazões. Os altos índices de DBO₅ e fósforo constatados no ponto 1, mostram que há contribuição dos esgotos sanitários de comunidades à montante. As águas que entram no município de Feliz estão com níveis de poluição acima do limite estabelecido pelo enquadramento do rio, Classe 2, para o Médio Caí – Trecho Alto. No ponto 2, 75% das coletas realizadas não atendem o enquadramento do rio, Classe 2. Observa-se que estas condições aconteceram quando as vazões foram inferiores à vazão máxima avaliada, já que esta é responsável pela diluição dos esgotos domésticos não tratados, provenientes da área central do município.

No ponto 3, 75% das coletas realizadas não atendem o enquadramento do rio, Classe 2. Observa-se que estas condições aconteceram quando as vazões foram superiores à vazão mínima avaliada, mostrando que há interferência da massa poluente depositada na superfície da bacia e dos esgotos não tratados, que são carregados, pelas precipitações, para o rio.

De acordo com a simulação realizada, observa-se que os esgotos domésticos sem tratamento, provenientes dos pontos de lançamento das redes de águas pluviais localizadas na zona central urbana, são os principais poluentes do rio, no trecho que banha a região urbana do município de Feliz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2003. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/topicos/879580/agencia-nacional-de-aguas>>. Acesso em: 12 maio 2011, 16 out. 2011.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a Classificação dos Corpos de Água e Diretrizes Ambientais para o seu Enquadramento Bem Como Estabelece as Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, e Dá Outras Providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2011.
3. BRITES, A. P. Z.; GASTALDINI, M. C. C.; SARTORI, A. Utilização de Amostradores Instantâneos de Água para Avaliação da Carga Poluente na Drenagem Pluvial. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL, 1; SIMPÓSIO DE ÁGUAS DA AUGM, 1. , Santa Maria, 2005. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/iurh/Trabalhospublicados/96.pdf>>. Acesso em: 05 julho 2011.
4. GOOGLE EARTH. **Aplicativo**. Disponível em: <<http://www.earth.google.com/>>. Acesso em: 08 jul. 2010.
5. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 01 jun. 2011.
6. NAVARRO, A. L. S.; PIRANHA, J. M.; PACHECO, A. Estudo de Indicadores da Qualidade da Água em Manancial Superficial de Abastecimento Público. **R. Cienc. Extensão**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 81-97, dez. 2006.
7. REBOUÇAS, A. C. Estratégias para se Beber Água Limpa. In: _____. **O Município no Século XXI: Cenários e Perspectivas**. São Paulo: FEPAM, 1999. P. 199-215.
8. RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos. **Plano da Bacia do Rio Caí**. Porto Alegre: SEMA, 2008.
9. SAMUEL, P. R. S. **Município e Esgotamento Sanitário**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 4., FÓRUM REGIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1. **Anais...** Ijuí, Ed. da Unijuí, 2004.
10. SOUZA, C. H. C. de. **Proposta de Método para Avaliação da Sustentabilidade Ambiental de Pequenos Municípios**. 2009. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.