

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO PROJETO DE REDES DE COLETA DE ESGOTO SANITÁRIO”

Marco Aurélio Holanda de Castro (1), Erlandson de Vasconcelos Queiroz (2)

(1) (2) Campus do Pici, Bloco 713, Fortaleza-CE CEP: 60455-760 - Tel: +55 (85) 3366-9492 - e-mail: marco@ufc.br; erlandsonqueiroz@gmail.com, erlandson_00@hotmail.com

RESUMO

De acordo com a constituição brasileira, é dever do governo municipal prover a população com serviços adequados de saneamento. Isso implica que o município deve arcar com custos na implementação de obras para abastecimento de água e esgoto, sistemas de drenagem de águas pluviais e coleta de lixo. A partir disto, tem-se a necessidade de sistemas mais eficientes e mais baratos para execução bem como para monitoramento. Em engenharia, quando se fala em sistema bem executado, normalmente, tem-se em mente um projeto cuja obra tenha sido bem feita. No entanto, a fase de projeto nas obras exerce uma função fundamental no resultado final do trabalho. A execução correta de um conjunto incoerente ou mal elaborado de projetos, certamente, resultará num produto de baixa qualidade, cheio de defeitos e, eventualmente, elevados custos de manutenção. Por essa razão, os processos de execução e avaliação de projetos tem se tornado cada vez mais criteriosos. Nesse contexto, e em função da crescente inovação tecnológica, torna-se usual na engenharia, a utilização dos SIG's (Sistema de Informação Geográfica). Dentre os softwares de SIG's existentes, hoje, o gvSIG ganhou notoriedade pelo fato de não apenas ser gratuito, mas como ter código aberto. Isto permite que o programa seja alterado para atender as diversas necessidades dos usuários. Este projeto consiste em usar esse programa de geoprocessamento, para desenvolver um software de traçado e dimensionamento de redes de esgoto (UFC12).

Palavras chave: Geoprocessamento, redes coletoras de esgoto, SIG livre.

ABSTRACT

According to the constitution, it is a municipal government duty to provide the population with adequate sanitation services. That implies that the municipality should bear costs on the implementation of engineering solutions for water supply and sewage systems, storm water drainage and garbage collection. Therefore, there is a need for cheaper and more efficient systems for its execution and monitoring. The design phase has a key role on the final result of the engineering works. The correct execution of a poorly prepared set of projects will certainly lead to a defective, low quality product and, eventually, with high maintenance costs. For this reason, the implementation and evaluation process need to be increasingly more accurate. Due to the increasing technological innovation, the GIS (Geographic Information System) technologies have become more common. These technological GIS based solutions, allow the monitoring and management of natural resources, allowing the information to be used in future projects. The GIS allows the information storage by creating databases that can be remotely accessed, facilitating the resources monitoring and assisting in decision-making. Among the existing GIS software's, gvSIG has gained notoriety for being an open source program. This allows the program to be changed to meet the user needs. This project consists in using this software to develop a module for sewerage design (UFC 12).

Key words: Geoprocessing, sewerage, free GIS.

SOBRE O AUTOR PRINCIPAL

Marco Aurélio Holanda de Castro. Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília. MSc em Engenharia Civil pela University of New Hampshire – EUA. PhD em Engenharia pela Drexel University – EUA. Professor Titular do Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará

INTRODUÇÃO

No atual contexto da engenharia, a utilização de softwares no auxílio de desenvolvimento de projetos tornou-se indispensável. Métodos e processos que levavam dias para serem executados e testados, hoje, com as técnicas computacionais podem ser resolvidos em questão de segundos. A manipulação de dados geográficos devia ser feita com utilização de mapas e outros documentos cartográficos, que, por vezes continham dados extremamente defasados ou incompatíveis com outros mapas.

As ferramentas computacionais desenvolvidas para a realização das análises de informações geográficas recebem o nome de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Com estas ferramentas é possível fazer a integração dos dados obtidos por diversas fontes, criando um banco de dados georreferenciado. Aliando estas ferramentas a diversos métodos computacionais existentes, é possível criar softwares que possam automatizar o desenvolvimento de projetos de engenharia, gerando grande economia de tempo com resultados extremamente precisos.

Com o advento dos SIG's, nasce também a necessidade, principalmente para fins acadêmicos, de um software SIG com conteúdo gratuito e de código livre. O gvSIG é um software livre de código aberto desenvolvido Conselleria d'Infrastructures i Transports (CIT) sob a licença GNU GPL. O programa permite a utilização de uma linguagem computacional para modificação dos códigos originais, disponibilizando todos os códigos criados para o sistema.

O presente trabalho relata a tentativa de utilizar o gvSIG como ferramenta suporte para criação de um programa que permita o traçado e dimensionamento de uma rede coletora de esgoto sanitário. No projeto, foi utilizado um ambiente de desenvolvimento na linguagem JAVA para executar os códigos gerados para gvSIG, incluindo os códigos da framework SEXTANTE que traz diversas ferramentas de processamento de dados espaciais.

O trabalho pode ser desenvolvido em duas partes. Numa primeira etapa, são escolhidos os modelos adotados para a construção da rede, métodos de traçado, dimensionamento e correção da rede, modelos de tubos e órgãos acessórios. Na segunda parte, tem-se a criação do ambiente de trabalho (workspace) com a geração do programa com os códigos originais e a criação em JAVA das guias de interface do usuário. Nesta parte, são desenvolvidas

todas as janelas e métodos computacionais referentes à linguagem adotada.

BASE TEÓRICA

A norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986b) estabelece algumas definições a respeito do esgoto sanitário, entre estas definições, tem-se:

- Esgoto sanitário: "Despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária."
- Esgoto doméstico: "Despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas."
- Esgoto industrial: "Despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos."
- Água de infiltração: "Toda água, proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações."
- Contribuição pluvial parasitária: "Parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário."

Destas contribuições, para projeto, uma das mais relevantes é a contribuição de esgotos domésticos. Diversos fatores determinam a contribuição doméstica para esgoto, Sobrinho e Tsutiya (2000) listaram os seguintes fatores:

- População da área de projeto;
- Contribuição per capita;
- Coeficiente de retorno esgoto/água;
- Coeficientes de variação de vazão.

Considerando estes parâmetros, a contribuição de vazão doméstica (Q_d) pode ser expressa pela equação:

$$Q_d = \frac{C.P.q}{86.400} \quad (1)$$

Onde: C = coeficiente de retorno;
P = população de projeto;
Q = consumo *per capita* de água.

O sistema de traçado e dimensionamento de redes de esgoto sanitário (UFC12) é feito para sistema separador absoluto seguindo as recomendações da norma NBR 9649. A rede coletora de esgoto

sanitário é o subsistema responsável pela coleta e transporte do esgoto sanitário, bem como dispositivos para inspeção e/ou limpeza. Determinam uma rede de fluxo com escoamento permanente uniforme onde o movimento é dado por ação gravitacional. Compreende as ligações prediais, coletores de esgoto e órgãos acessórios. Segundo as definições da NBR 9649 (ABNT, 1986b), tem-se:

- Ligação predial: Trecho do coletor predial compreendido entre o limite do terreno e o coletor de esgoto;
- Coletor de esgoto: Tubulação da rede coletora que recebe contribuição de esgoto dos coletores prediais em qualquer ponto ao longo de seu comprimento;
- Coletor principal: Coletor de esgoto de maior extensão dentro de uma mesma bacia.
- Coletor tronco: Tubulação da rede coletora que recebe apenas contribuição de esgoto de outros coletores.
- Órgãos acessórios: Dispositivos fixos desprovidos de equipamentos mecânicos. Podem ser: poços de visita (PV), tubos de inspeção e limpeza (TIL), terminais de limpeza (TL) e caixas de passagem (CP)

O sistema para traçado deve ser capaz de interpretar todos estes aspectos de uma rede de coleta de esgoto sanitário, bem como realizar o dimensionamento hidráulico das tubulações.

O GVSIG

O software gvSIG foi criado com intuito de ser um programa livre de código aberto de tecnologia SIG que permitisse o trabalho de dados com informações geográficas. Por ter sido desenvolvido em JAVA, o programa oferece uma alta portabilidade, podendo ser executado em ambientes Windows, Linux e MAC OS X. O software encontra-se disponível em diversos idiomas, incluindo o português.

Diferente de outras tecnologias CAD, os SIG permitem o trabalho de imagens georreferenciadas em diversos sistemas de projeção. Os Sistemas de Informação Geográfica são utilizados em diversas áreas, pois permitem a criação de bancos de dados que disponibilizam as informações de seus elementos, sendo ideal para desenvolvimento de projetos, planejamento territorial, modelagem, avaliação de riscos, monitoramento e logística.

O programa trabalha, disponibilizando seus elementos em camadas com tabelas de atributos associadas a seus elementos. Para cada entidade criada, um conjunto de dados é associado, permitindo o controle de várias características de um projeto em diversos níveis. Segue a imagem do programa gvSIG com um mapa contendo vários elementos em camadas e seus atributos

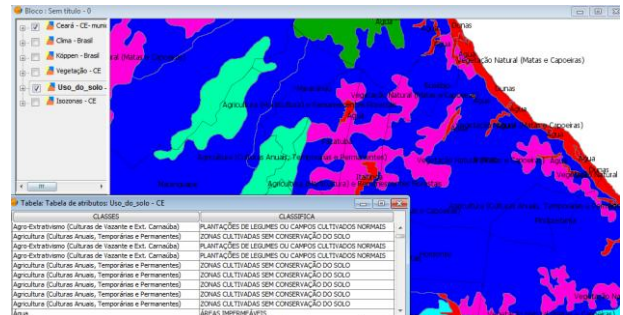


Figura 1. Mapa no gvSIG com camadas e tabela de atributos

METODOLOGIA

Para o traçado de redes coletoras de esgoto, foi desenvolvida a extensão UFC12, em JAVA para gvSIG. Suas ferramentas funcionam para gvSIG 1.10 ou versões superiores e permitem o traçado e visualização de redes de esgotamento sanitário, bem como da instalação de órgãos acessórios a rede como poços de visita e terminais de limpeza

A extensão, permite a automatização do traçado da rede, reduzindo ao mínimo a quantidade de parâmetros necessários para a alocação dos tubos coletores e demais órgãos. De posse de alguns arquivos e dados que devem ser obtidos em estudos preliminares como arquivo de curvas de nível e arruamento, assim como estudos de demanda de água e população da região estudada. O sistema faz ainda, interface com o programa UFC9 utilizado para dimensionamento e cálculo de custos da instalação da rede.

Para os dados de elevação na rede utilizados pelo sistema, o programa necessita de um arquivo de curvas de nível. Com as curvas de nível, o sistema faz o cálculo das cotas em cada ponto através de interpolação. Pode ser adicionado também, um arquivo de arruamento em formato vetorial ou raster para informação do posicionamento da rede na região. Segue a imagem de um mapa vetorial de arruamento com curvas de nível em Acaraú - CE.

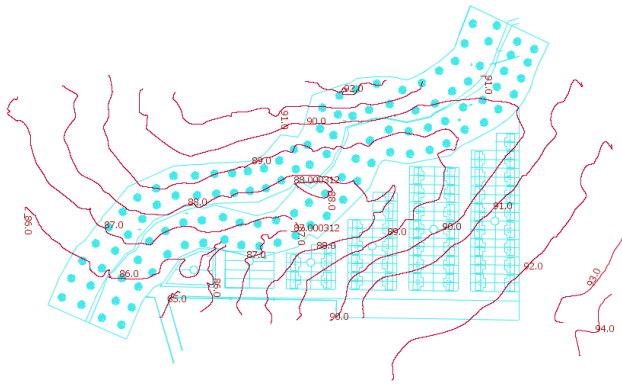


Figura 2. Mapa com arruamento e curvas de nível

TUBOS COLETORES

Na rede de coleta de esgoto, os tubos do sistema devem funcionar como condutos livres. Nestes, a lâmina d'água está em contato com o ar atmosférico, resultando numa pressão nula. O fluxo de água é promovido pela ação da gravidade, sendo necessário o assentamento do tubo com declividades positivas ao longo da rede. Os tubos iniciam com vazão nula, e recebem contribuições ao longo da rede.

Os dados dos tubos precisam ser definidos inicialmente, como um valor inicial para os dados da rede. Dados como material, diâmetro, tipo de rede e recobrimento mínimo do tubo devem ser definidos na ferramenta *Default* do sistema. A ferramenta disponibiliza diversos materiais, com seus diâmetros disponíveis. O coeficiente de Manning pode ser definido para o tubo, sendo disponibilizado inicialmente os valores para cada material de acordo com a literatura. Os materiais disponíveis para tubos são: PVC, cimento-amianto, tubo cerâmico, ferro fundido, concreto, aço soldado e poliéster/RPVC, com diâmetros comerciais de 100mm a 2000mm. Segue a imagem com a janela *Default* com as opções disponíveis.

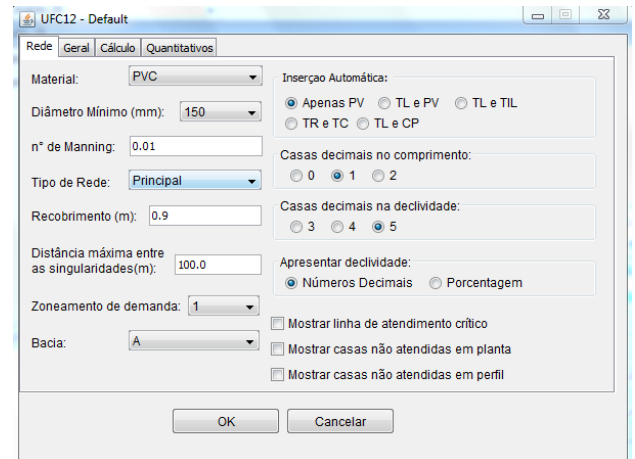


Figura 3. Opções de configuração de tubos coletores

No traçado do coletor, o sistema calcula as cotas de montante e jusante do terreno, posicionando o tubo na cota relativa ao recobrimento adotado. A uma certa distância de atendimento das casas, definida pelo usuário, o sistema calcula as cotas em vários pontos para determinar o ponto mais baixo no trecho e verificar se a casa no ponto crítico atende as condições de declividade do tubo de ligação. O tubo possui em sua tabela de atributos todas as informações necessárias para seu dimensionamento como: cotas, diâmetro, comprimento, declividade e rugosidade manning. Segue a ilustração de um trecho de tubulação traçada com o sistema.

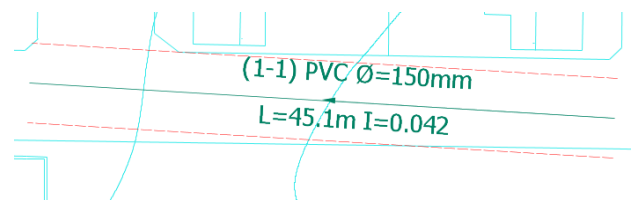


Figura 4. Tubo no sistema UFC12

ÓRGÃOS ACESSÓRIOS DA REDE

Segundo a norma NBR 9649, deve ser instalado um poço de visita (PV) em cada ponto singular da rede, ou seja: início de coletores, mudanças de direção, de declividade, de diâmetro e de material, na reunião de coletores e onde há degraus. Os poços de visita são câmaras visitáveis cujo objetivo é a execução de trabalhos de manutenção.

Em substituição aos poços de visita, existem outros órgãos acessórios que podem ser utilizados em casos específicos. A caixa de passagem (CP) pode ser utilizada nas mudanças de direção, diâmetro, declividade e material, quando não existe degrau e as condições de acesso ao equipamentos de limpeza à jusante sejam garantidas. Os terminais de limpeza (TL) podem ser utilizados em substituição aos poços

de visita no início dos coletores. Os tubos de inspeção e limpeza (TIL) podem ser utilizados nos seguintes casos: reunião de até dois trechos ao coletor, pontos com degraú inferior a 0,50m, a jusante de ligações prediais de grandes contribuição.

No sistema UFC 12, os órgãos podem ser colocados diretamente em cada junção de trechos ou automaticamente em todos os trechos, seguindo um padrão definido pelo usuário. O posicionamento das singularidades, neste caso, depende da nomenclatura dos tubos que recebem um número de trecho e de coletor. O primeiro trecho de cada tubo é colocado com uma ponta seca (vazão nula) e uma singularidade colocada à montante de cada trecho ou junção de trechos. Segue um exemplo de poço de visita representado no sistema. As legendas representam a profundidade do poço, as cotas do terreno e do tubo e o nome e número da singularidade.

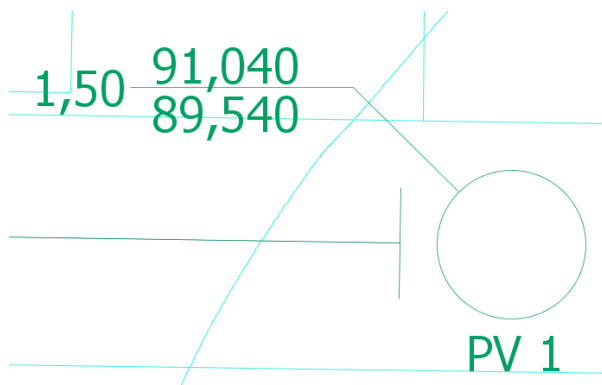


Figura 5. Exemplo de poço de visita num tubo com ponta seca

DADOS DE PROJETO

Para o dimensionamento da rede coletora de esgoto sanitário, alguns parâmetros de projeto devem ser definidos a priori. Dados como população de projeto inicial e final, consumo de água por habitante por dia, coeficientes de consumo, coeficiente de retorno e taxa de infiltração são informados pelo usuário para que o sistema possa efetuar os cálculos de vazão nos coletores ao longo da rede.

A população de projeto (em habitantes) é um parâmetro crucial para determinação das vazões geradas pelo esgoto doméstico. Devem ser consideradas populações de início de plano e a população futura, estimada para o tempo previsto para o sistema operar em sua máxima capacidade. Atualmente o sistema UFC 12 não dispõe de ferramentas para estimativa populacional de projeto.

A contribuição de esgoto *per capita* (em L/hab.dia) é dada pela taxa de consumo de água *per capita* vezes um certo coeficiente de retorno. Este coeficiente indica a parcela de água que, efetivamente, chega aos coletores de esgoto sanitário. Também para o cálculo das vazões devem ser definidos os coeficientes de consumo k_1 e k_2 , respectivamente, coeficiente do dia de maior demanda e coeficiente da hora de maior demanda. A norma brasileira NBR 9649 recomenda a utilização dos valores de 1,20 e 1,50, respectivamente para k_1 e k_2 .

Com menor influência no cálculo das vazões de projeto, existe a taxa de infiltração. Esta indica a quantidade de água que entra no sistema, indevidamente, através das juntas dos tubos, imperfeições nas paredes dos condutos ou através de singularidades como poços de visita, estações elevatórias, etc. Normalmente é dependente dos materiais empregados com valores entre 0,05 - 0,1 L/s.km.

Todos estes dados de projeto são inseridos no sistema através da ferramenta *Taxas*. A ferramenta utiliza a extensão virtual da rede traçada para o cálculo das taxas de contribuição linear que serão utilizadas. A extensão virtual da rede é dada pela extensão de todos os coletores que recebem contribuição de esgoto doméstico ao longo de seu comprimento. Com os dados definidos e taxas calculadas, os valores são utilizados na ferramenta de dimensionamento. Na imagem seguinte é mostrada a janela da ferramenta *Taxas* que efetua os cálculos.

00:00	0,7	06:00	0,6	12:00	1,2	18:00	1,5
01:00	0,7	07:00	0,7	13:00	1,2	19:00	1,5
02:00	0,6	08:00	1,1	14:00	1,1	20:00	1,3
03:00	0,6	09:00	1,3	15:00	1,2	21:00	1,0
04:00	0,6	10:00	1,2	16:00	1,3	22:00	0,8
05:00	0,6	11:00	1,1	17:00	1,4	23:00	0,7

Figura 6. Ferramenta *Taxas* do sistema UFC 12

RESULTADOS

Utilizando a ferramenta de dimensionamento do sistema, é possível refazer a rede respeitando os critérios da norma NBR 9649. Valores de tensão

trativa e lâmina d'água crítica são calculados pelo módulo e os tubos são recalculados para respeitarem os limites.

Depois de dimensionada a rede, os dados de escavação nos trechos são obtidos pela rotina de cotas para o cálculo dos quantitativos do sistema

ANÁLISE DE RESULTADOS

Com todos os dados de projetos calculados, o sistema pode efetuar o dimensionamento da rede. Para o dimensionamento, é utilizado o módulo UFC 9 que consiste numa ferramenta que calcula todos os dados necessários para a análise do fluxo nos condutos. Todas as informações calculadas são disponibilizadas e podem ser exportadas para uma planilha Excel. Segue a imagem da ferramenta UFC 9 de dimensionamento.

TRONCO	IMP. MÓD.	IMP. JIS	CTM (m)	CTJ (m)	CCM (m)	CCJ (m)	PROF. (metros)	PROF. (metros)	COMPRESSÃO	RECU (metros)	ÁREA (m²)
(1-1)	PV1	PV2	50.24	46.27	49.19	45.22	1.05	1.05	76.50	0.05190	150
(1-2)	PV2	PV3	46.27	34.68	45.22	33.53	1.05	1.05	71.20	0.16419	150
(1-3)	PV3	PV4	34.68	30.42	33.53	29.37	1.05	1.05	39.00	0.13000	150
(1-4)	PV4	PV5	30.42	25.13	29.37	28.08	1.05	1.05	58.50	0.02168	150
(1-5)	PV5	PV6	25.13	20.17	28.08	27.12	1.05	1.05	47.00	0.02034	150
(2-1)	PV6	PV7	39.32	47.46	49.27	46.41	1.05	1.05	72.00	0.03223	150
(2-2)	PV7	PV8	47.46	39.42	46.41	38.37	1.05	1.05	79.10	0.10164	150
(2-3)	PV8	PV9	39.42	29.13	38.37	28.08	1.05	1.05	91.50	0.12019	150
(3-1)	PV9	PV8	46.04	39.42	44.99	38.37	1.05	1.05	69.10	0.09580	150

Figura 7. Ferramenta UFC9 - Planilha de Cálculos de Redes Coletoras de Esgotamento Sanitário

A ferramenta UFC9 também permite o cálculo de custos da obra baseada em custos unitários. Os custos unitários podem ser modificados através de um arquivo de texto que contém as informações dos serviços e custos associados. Por padrão, o sistema UFC 12 utiliza os dados de custos de obra obtidos pela SEINFRA-CE.

CONCLUSÕES

No projeto, tinha-se a proposta de substituir a utilização do software AutoCAD como ferramenta de desenho da rede com ferramentas projetadas na linguagem AutoLISP por um programa de licença gratuita, o gvSIG, através da linguagem de programação JAVA.

A utilização de um software SIG embora implique em algumas complicações como ferramenta de desenho, não apresentou perdas significativas no tempo de processamento ou na precisão dos dados. O sistema UFC12 para gvSIG consegue replicar as ferramentas de traçado do sistema UFC9 para AutoCAD. As extensões criadas tornam-se

extremamente familiares para usuários acostumados com o sistema UFC.

Outra vantagem de utilização de um software SIG neste processo é a possível implementação de um banco de dados, gerado a partir dos atributos nos elementos criados.

Estão em desenvolvimento no sistema, ainda, ferramentas para dimensionamento de estações elevatórias de esgoto na rede e criação das notas de serviço de obras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alem Sobrinho, P., Tomoyuki T., (1999). Coleta e transporte de Esgoto Sanitário. 1ª Edição. São Paulo; Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Deitel, H. M., Deitel, P. J. (2005). Java: Como Programar. Tradução Edson Furmankiewicz. 6ª Edição. São Paulo; Pearson Prentice Hall.

Lemay, L.. (2003). Aprenda em 21 dias. Ja Professional Reference; Tradução da 3ª Edição Original Daniel Vieira. Rio de Janeiro, Editora Campos.

Leme, F. P. (1982). Engenharia do Saneamento Ambiental. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.

Porto, R. M. (2001). Hidráulica Básica. 2ª ed. São Carlos: EESC/USP.

CETESB. Sistemas de Esgotamento Sanitário. 2ª ed. São Paulo: CETESB.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). NBR 9648: Estudos de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). NBR 12207: Projeto de interceptores de esgoto sanitário. Rio de Janeiro.

Companhiadeágua e esgoto do Ceará. Cagece (2010). Normas técnicas para projetos de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Fortaleza.

Nuvolari, A. (2011). Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. São Paulo:Editora Blücher.