

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES
COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O
CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO

FORTALEZA – CE

2011

ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA

**DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE
ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO
CRÍTICO**

Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil com Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, PhD.

FORTALEZA

2011

ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA

**DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE
ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO
CRÍTICO**

Dissertação submetida ao
Curso de Mestrado em Recursos
Hídricos da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil com Área de
concentração: Recursos Hídricos.

Aprovado em ____/____/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, PhD. (Orientador)

Prof. Iran Eduardo Lima Neto, PhD – (Membro Interno)

Prof. Dr. Mariano da Franca Alencar Neto (IFCE) – (Membro Externo)

*À minha esposa, Renata
Shirley, pelo amor, carinho e apoio
em todos os momentos,
principalmente, em nossas
conquistas.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as oportunidades cedidas que possibilitaram minha chegada até aqui.

À minha esposa, Renata Shirley de Andrade Araújo, pelo amor, paciência e companheirismo em todos esses anos.

À minha mãe, Stela Maria de Araújo, pelo amor, educação, incentivo, compreensão e dedicação que teve comigo.

Aos meus avós José Pereira de Araújo e Maria Stela de Araújo (memória), pelo amor, educação e incentivo que tiveram comigo.

Ao meu orientador, professor Marco Aurélio Holanda de Castro, por ter fornecido ferramentas importantes para minha formação durante toda a graduação e agora, novamente, durante o mestrado.

Aos professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Em especial à professora Marisete Dantas de Aquino.

Ao amigo Gustavo Paiva Weyne Rodrigues pelos primeiros ensinamentos sobre sistemas de esgotamento sanitário.

Aos amigos que fiz durante minha estada no Laboratório de Hidráulica Computacional.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

“Aprender sem pensar é tempo perdido.”

(Confúcio)

RESUMO

Redes coletoras de esgoto são elementos importantes para garantir a saúde, o bem-estar social e proteção ao meio ambiente, entretanto, elaborar projetos para desenvolver essas estruturas implica em atividades com etapas muito onerosas e repetitivas. Assim, com o objetivo de reduzir o tempo gasto, garantindo a qualidade e eficiência do projeto final, os programas computacionais vêm ganhando espaço e importância em projetos de engenharia. O programa UFC9, objeto desenvolvido neste trabalho, é um aplicativo desenvolvido nas linguagens AutoLISP, VBA (Visual Basic for Applications) e VB (Visual Basic), o qual possui recursos gráficos para auxiliar no desenvolvimento de projetos dentro do ambiente AutoCAD. Este trabalho foi desenvolvido para auxiliar no desenvolvimento de projetos de redes coletoras de esgoto nos elementos relacionados a desenho, dimensionamento, quantitativos e orçamento destes importantes elementos de um sistema de esgotamento sanitário. Em se tratando de desenhos, o software objeto deste trabalho auxilia no traçado da rede coletora e geração de perfis, no caso do dimensionamento, o software permite o dimensionamento da rede considerando ou não o atendimento crítico, ou seja, o atendimento de casas em cotas baixas. Outra consideração importante é a possibilidade de prever obstáculos na rede, evitando, assim, problemas durante a execução da obra. As planilhas de dimensionamento e de orçamento geradas pelo programa podem ser exportadas para o Excel, facilitando a elaboração de memoriais descritivos e de cálculos, além de permitir alterações ou complementações nos orçamentos das redes gerados pelo software.

Palavras-chave: Projeto, Redes coletoras de esgoto, Atendimento crítico e Software.

ABSTRACT

Sewage systems are important elements to ensure the health and social welfare, however, elaborating projects to develop these structures involves activities with very onerous and repetitive steps. Thus, with the objective to reduce the time spent, ensuring quality and efficiency of the final project, computer programs have been gaining space and importance in engineering projects. The program UFC9 is an application developed in languages AutoLISP, VBA (Visual Basic for Applications) and VB (Visual Basic), which has graphics resources to assist in developing projects within the AutoCAD environment. This work was developed to assist in developing projects of sewage systems in the elements related to design, sizing, quantification and budget for these important elements of a sanitary sewage system. In the case of drawings, this software helps in tracing the collection network and profiling, in the case of dimensioning, the software allows the network dimensioning considering or not the critical coverage, in which they are located houses below the pipes. Another important consideration is the possibility of setting obstacles in the network, thus avoiding problems during the execution of the work. The dimensioning worksheets and budget generated by the program can be exported to Excel, facilitating the development of descriptive memorials and calculations, and allow for changes or additions in the budgets of networks generated by the software.

Keywords: Project, sewage systems, critical care and Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ligação predial de esgoto	52
Figura 2 – Tubos cerâmicos	55
Figura 3 – Tubos de fibrocimento.....	55
Figura 4 – Tubos de ferro fundido	56
Figura 5 – Tubos de aço	57
Figura 6 – Tubos de concreto.....	58
Figura 7 – Tubos de PVC	59
Figura 8 – Tubos de RPVC	60
Figura 9 – Tubos de PRFV	62
Figura 10 – Tubos de PEAD.....	63
Figura 11 – Representação de um PV no UFC9.....	65
Figura 12 – Poço de visita $\varnothing 600\text{mm}$	66
Figura 13 – Poço de visita $\varnothing 1000\text{mm}$	67
Figura 14 – Poço de visita $\varnothing 1200\text{mm}$	68
Figura 15 – Representação de um TL no UFC9.....	69
Figura 16 – Terminal de limpeza	70
Figura 17 – Representação de um TIL no UFC9.....	71
Figura 18 - TIL.....	71
Figura 19 – Representação de uma CP no UFC9.....	72
Figura 20 – Detalhe do tubo de queda	73
Figura 21 – Interferência encontrada na obra do Porto das Dunas.....	75
Figura 22 – Indicação das seções em um trecho	78
Figura 23 – Seção circular de um tubo de esgoto.....	80

Figura 24 – Equação da energia	84
Figura 25 – Esquema do método de utilização do UFC9.....	94
Figura 26 – Inserção de tubo coletor de esgoto no UFC9.....	96
Figura 27 – Inserção de obstáculo na rede.....	98
Figura 28 – Movimentação da legenda do PV.....	99
Figura 29 – Cálculo das taxas de contribuição linear com o UFC9.....	101
Figura 30 – Esquema do método de dimensionamento do UFC9.....	102
Figura 31 – Esquema do método de escolha de declividade do UFC9.....	106
Figura 32 – Exemplo do procedimento do cálculo de cotas a cada 5 metros.	113
Figura 33 – Elemento iniciar seção.	118
Figura 34 – Elemento iniciar seção em destaque no ambiente AutoCAD.....	118
Figura 35 – Quadro de funções dos elementos do programa.	119
Figura 36 – Parte de rede coletora traçada com o UFC9.....	120
Figura 37 – Detalhe em planta da casa não atendida.....	121
Figura 38 – Detalhe em perfil da casa não atendida.....	121
Figura 39 – Representação de um obstáculo em planta.	122
Figura 40 – Representação de um obstáculo barrando o tubo em perfil.....	123
Figura 41 – Representação de um obstáculo sendo ultrapassado pelo tubo em perfil.	123
Figura 42 – Default – abas rede e geral.	125
Figura 43 – Default – abas cálculo e quantitativos.....	125
Figura 44 – Editar um trecho.....	126
Figura 45 – Planilha de dimensionamento – Parte 1.....	127
Figura 46 – Planilha de dimensionamento – Parte 2.....	128
Figura 47 – Definir padrões de dimensionamento.....	129

Figura 48 – Ocultar ou apresentar parâmetros na planilha.	129
Figura 49 – Chegada do trecho (11-2) no PV 23.....	130
Figura 50 – Comparação entre resultados de perfis de coletores.....	132
Figura 51 – Orçamento gerado com o UFC9.	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Declividades mínimas consideradas antes do conceito de tensão trativa.	82
Tabela 2 – Coeficientes de Manning de acordo com os materiais considerados.....	86
Tabela 3 – Declividades mínimas de acordo com os coeficientes de Manning para 1,0 Pa.....	104
Tabela 4 – Declividades mínimas de acordo com os coeficientes de Manning para 1,5 Pa.....	105

LISTA DE VARIÁVEIS

P_1 – população inicial;

N – número de residências;

T_{or} – taxa de ocupação residencial;

P_F – população final em um ano t ;

K_g – taxa de crescimento geométrico;

t_F – ano futuro o qual se deseja conhecer a população;

t_1 – ano de população inicial conhecida.

P_1 – população final em um ano t_1 já conhecida;

P_2 – população final em um ano t_2 já conhecida;

t_1 – ano de população final conhecida em levantamento anterior ou dados coletados;

t_2 – ano de população inicial conhecida em levantamento anterior ou dados coletados;

K_1 – coeficiente do dia de maior consumo;

K_2 – coeficiente da hora de maior consumo;

K_3 – coeficiente da hora de menor consumo;

Q_{inf} – vazão de infiltração;

T_{inf} – taxa de infiltração;

L – extensão total da rede coletora;

$Q_{med,i}$ – vazão média para início de plano;

q – consumo per capita;

c – coeficiente de retorno;

$Q_{min,i}$ – vazão mínima para início de plano;

$Q_{max,i}$ – vazão máxima para início de plano;

- $Q_{med,f}$ – vazão média para final de plano;
- $Q_{min,f}$ – vazão mínima para final de plano;
- $Q_{max,f}$ – vazão máxima para final de plano;
- $T_{xp,i}$ – taxa de contribuição populacional inicial;
- $T_{xp,f}$ – taxa de contribuição populacional final;
- $T_{x,i}$ – taxa de contribuição linear inicial;
- $T_{x,f}$ – taxa de contribuição linear final;
- y_1 – lâmina d'água na seção 1;
- z_1 – cota do terreno na seção 1;
- V_1 – velocidade na seção 1;
- y_2 – lâmina d'água na seção 2;
- z_2 – cota do terreno na seção 2;
- V_2 – velocidade na seção 2;
- g – aceleração da gravidade;
- ΔH_{12} – perda de carga entre a seção 1 e 2;
- Q – vazão no trecho;
- A_1 – área molhada da seção 1;
- A_2 – área molhada da seção 2;
- A – área molhada da seção;
- D - diâmetro do tubo;
- P – perímetro molhado da seção;
- R_H – raio hidráulico;
- B – largura da linha d'água da seção;
- y – lâmina d'água da seção;
- \varnothing - ângulo central da lâmina d'água;

- τ - tensão trativa;
- γ - peso específico do líquido;
- I – declividade do trecho;
- F_R – número de Froude;
- V – velocidade média da seção;
- H_m – altura hidráulica da seção;
- E – energia específica;
- α - adimensional;
- C – coeficiente de Chézy;
- n – coeficiente de rugosidade de Manning;
- I_{\min} – declividade mínima a ser adotada no trecho;
- I_{\max} – declividade máxima permitida no trecho;
- Q_i – vazão de início de plano;
- Q_f – vazão de final de plano;
- V_c – velocidade crítica no trecho;
- C_{FL} – cota de fundo da caixa de ligação;
- CT_L – cota de terreno da caixa de ligação;
- P_{CL} – profundidade da caixa de ligação;
- I_L – declividade do tubo de ligação;
- L_L – extensão do tubo de ligação;
- C_L – cota de chegada do tubo de ligação na rede coletora;
- $Q_{i,T}$ – vazão inicial individual do trecho;
- $Q_{f,T}$ – vazão final individual do trecho;
- L_T – extensão do trecho;
- D_{50} – diâmetro para lâmina d'água de 50%;

D_{75} – diâmetro para lâmina d'água de 75%;

C_{Tubo} – cota do tubo no ponto médio entre dois pontos de cotas de terreno calculadas;

D_{PM} – distancia de ponto de montante do trecho até o ponto médio entre dois pontos de cotas de terreno calculadas;

CCM – cota do coletor de montante do trecho;

P_{M} – profundidade média entre dois pontos de cotas de terreno calculadas;

CT_{M} – cota de terreno média entre dois pontos de cotas de terreno calculadas;

L_{vala} – largura da vala do trecho;

L_{PM} – extensão da precisão utilizada;

V_{esc} – volume escavado do trecho;

n_i – número de vezes que o procedimento ocorre.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE VARIÁVEIS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1. SANEAMENTO BÁSICO	21
2.2. SISTEMAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS	23
2.2.1. ESGOTO SANITÁRIO.....	23
2.2.2. CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO DOMÉSTICO	24
2.2.3. TIPOS DE SISTEMAS DE ESGOTO	26
2.2.4. PARTES DE UM SISTEMA DE ESGOTO SANITÁRIO.....	29
2.2.5. NORMAS TÉCNICAS PARA PROJETOS DE SISTEMAS DE ESGOTO SANITÁRIO	32
2.3. FASES PARA ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE SISTEMAS DE ESGOTO SANITÁRIO	33
2.3.1. ESTUDOS DE CONCEPÇÃO.....	33
2.3.2. PROJETO BÁSICO	36
2.3.3. PROJETO EXECUTIVO.....	36
2.4. PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DAS VAZÕES DE UMA REDE COLETORA DE ESGOTO.....	38
2.4.1. HORIZONTE DE PROJETO.....	38
2.4.2. POPULAÇÃO DA ÁREA DE PROJETO	40
2.4.3. DENSIDADE DEMOGRÁFICA	43
2.4.4. CONTRIBUIÇÃO PER CAPITA DE ESGOTO	43
2.4.5. COEFICIENTE DE RETORNO.....	44
2.4.6. COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DE VAZÃO	44
2.4.7. TAXAS DE INFILTRAÇÃO.....	45
2.5. CÁLCULO DAS VAZÕES DE ESGOTO	46
2.5.1. VAZÕES DE INFILTRAÇÃO.....	46
2.5.2. VAZÕES INDUSTRIAIS	47
2.5.3. VAZÕES DE CONTRIBUIÇÃO POPULACIONAL.....	47
2.6. CÁLCULO DAS TAXAS DE CONTRIBUIÇÃO LINEAR	49
2.7. LIGAÇÕES PREDIAIS	51
2.8. REDES COLETORAS DE ESGOTO	54
2.8.1. MATERIAIS UTILIZADOS EM TUBOS COLETORES DE ESGOTO.....	54
2.8.2. ÓRGÃOS ACESSÓRIOS EM REDES COLETORAS DE ESGOTO.....	63
2.8.3. INTERFERÊNCIAS E TRAVESSIAS EM REDES COLETORAS DE ESGOTO	74
2.8.4. CUSTOS EM REDES COLETORAS DE ESGOTO.....	76
2.9. HIDRÁULICA PARA REDES COLETORAS DE ESGOTO	77
2.9.1. TIPO DE ESCOAMENTO.....	77
2.9.2. EQUAÇÃO DE BERNOULLI	77
2.9.3. EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE	79
2.9.4. GEOMETRIA DOS TUBOS DE ESGOTO.....	79
2.9.5. TENSÃO TRATIVA	81
2.9.6. NÚMERO DE FROUDE E ENERGIA ESPECÍFICA	82
2.9.7. EQUAÇÕES DE CHÉZY E MANNING.....	85
2.10. CRITÉRIOS E CONSIDERAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO	87
2.10.1. PARÂMETROS FÍSICOS DO ESGOTO.....	87
2.10.2. VAZÃO MÍNIMA CONSIDERADA.....	88
2.10.3. NÚMERO DE MANNING.....	88
2.10.4. DIÂMETRO MÍNIMO	88
2.10.5. RECOBRIMENTO MÍNIMO	89
2.10.6. TENSÃO TRATIVA MÍNIMA	89
2.10.7. DECLIVIDADE MÍNIMA.....	89
2.10.8. DECLIVIDADE MÁXIMA	91

2.10.9.	LÂMINA D'ÁGUA MÁXIMA PERMITIDA.....	91
2.10.10.	CONTROLE DE REMANSO	92
3.	METODOLOGIA.....	93
3.1.	DESCRIÇÃO GERAL.....	93
3.2.	TRAÇADO DA REDE COLETORA.....	96
3.3.	ATENDIMENTO CRÍTICO DE CASAS EM COTAS BAIXAS	97
3.4.	OBSTÁCULO NA REDE COLETORA	98
3.5.	EDIÇÕES E DEFINIÇÕES DE PADRÕES.....	99
3.6.	CÁLCULO DAS TAXAS DE CONTRIBUIÇÃO LINEAR	100
3.7.	DIMENSIONAMENTO DA REDE COLETORA.....	102
3.7.1.	DESCRIÇÃO GERAL DA PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO.....	102
3.7.2.	TRANSFERÊNCIA DE DADOS DO AUTOCAD PARA A PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO DO UFC9	103
3.7.3.	CÁLCULO DAS VAZÕES EM CADA TRECHO DA REDE COLETORA.....	103
3.7.4.	CÁLCULO DAS DECLIVIDADES E COTAS EM CADA TRECHO DA REDE COLETORA	104
3.7.5.	CÁLCULO E ANÁLISE DO DIÂMETRO E MATERIAL EM CADA TRECHO DA REDE COLETORA	107
3.7.6.	CÁLCULOS GERAIS EM CADA TRECHO DA REDE COLETORA	108
3.7.7.	ANÁLISE E CÁLCULO DO REMANSO EM CADA TRECHO DA REDE COLETORA	109
3.8.	CORREÇÃO DOS DADOS DA REDE COLETORA.....	109
3.9.	GERAÇÃO DO PERFIL DOS COLETORES.....	110
3.10.	QUANTITATIVO E ORÇAMENTO.....	111
3.10.1.	TRANSFERÊNCIA DE DADOS DO AUTOCAD PARA A PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DO UFC9 – CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS.....	111
3.10.2.	ORGANIZAÇÃO DOS DADOS QUANTIFICADOS – ELABORAÇÃO DO ORÇAMENTO.....	115
3.11.	COMPARAÇÃO ENTRE O DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE COLETORA CONSIDERANDO ATENDIMENTO CRÍTICO E NÃO CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO.....	116
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	117
4.1.	DESCRIÇÃO GERAL DO PROGRAMA UFC9	117
4.2.	TRAÇADO DA REDE COLETORA.....	120
4.3.	ATENDIMENTO CRÍTICO DE CASAS EM COTAS BAIXAS	121
4.4.	OBSTÁCULO NA REDE COLETORA.....	122
4.5.	EDIÇÕES E DEFINIÇÕES DE PADRÕES.....	124
4.6.	CÁLCULO DAS TAXAS DE CONTRIBUIÇÃO LINEAR	127
4.7.	DIMENSIONAMENTO DA REDE COLETORA.....	127
4.8.	CORREÇÃO DOS DADOS DA REDE COLETORA.....	130
4.9.	GERAÇÃO DO PERFIL DOS COLETORES.....	130
4.10.	QUANTITATIVO E ORÇAMENTO.....	133
4.11.	COMPARAÇÃO ENTRE O DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE COLETORA CONSIDERANDO ATENDIMENTO CRÍTICO E NÃO CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO.....	134
5.	CONCLUSÕES.....	136
6.	BIBLIOGRAFIA	138
	APÊNDICE A – RESULTADOS PARA A REDE CALCULADA SEM CONSIDERAR O ATENDIMENTO CRÍTICO.....	141
	APÊNDICE B – RESULTADOS PARA A REDE CALCULADA CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO	147

1. Introdução

O saneamento básico é importante para os seres humanos desde a antiguidade, uma vez que a água é um elemento básico necessário aos seres vivos.

Desde a antiguidade, os homens montavam suas civilizações nas proximidades de locais onde havia água para os variados tipos de uso como para consumo humano e animal, para a irrigação, para banho e lavagem de alimentos, entre outros. Dois conhecidos exemplos disso são a Babilônia com os rios Tigres e Eufrates e os Egípcios com o rio Nilo.

No entanto, com o desenvolvimento das civilizações até a atualidade, estar próximo de água não garante que a necessidade desta seja suprida. Os sistemas de abastecimento de água atuais devem entregar água às residências em quantidade e qualidade adequadas ao consumo humano. Para que isso ocorra, a fonte de água (manancial) é o elemento do sistema que deve possuir a quantidade e a qualidade da água a ser ofertada.

Geralmente, a água captada nos mananciais passa por um processo de tratamento devido a sua baixa qualidade. Um dos motivos que causa essa perda de qualidade é a falta de sistemas de coleta e tratamento dos esgotos sanitários nas regiões dos mananciais, o que acarreta em poluição das fontes hídricas.

Para que a necessidade de água de uma localidade seja suprida, esta deve ser beneficiada não apenas com sistema de abastecimento de água, mas também, com sistema de rede coletora, tratamento e destinação final adequada de esgotos.

Isso ocorre porque quando uma localidade possui sistema de abastecimento de água, conseqüentemente esta gera esgoto doméstico. Se esse esgoto gerado pela localidade não for coletado, tratado e encaminhado a um destino final adequado, as fontes hídricas existentes na localidade serão poluídas, o que

ocasionalmente irá prejudicar ou talvez até inviabilizar o sistema de abastecimento de água local.

Assim como os sistemas de água, os sistemas de esgotamento sanitário sempre foram de grande importância para a sociedade. De acordo com Pinto (2005), descobriu-se que além de sistemas de abastecimento de água, na Babilônia havia canais de esgotos que despejavam nos rios Tigre e Eufrates.

Além desses, no império romano, mas especificamente em Roma, existe ainda a Cloaca Máxima, primeiro sistema de esgoto a ser implantado, encontrando-se, ainda, parcialmente em operação. Em Pompéia, através de escavações, descobriu-se a existência de sistemas de esgotos que tinham como destino final o mar.

Os primeiros passos para o bom funcionamento em conjunto dos sistemas de abastecimento de água e de coleta de esgoto são uma eficiente elaboração de projetos de água e esgoto para a localidade e bons planejamentos de execução das obras pela empreiteira contratada, utilização dos sistemas pelos moradores locais, operação e manutenção dos sistemas de água e esgoto pelos órgãos responsáveis por estes setores no estado a ser beneficiado.

Dessa forma, a primeira etapa de um sistema de esgotamento sanitário é a rede coletora. O objetivo deste trabalho foi a elaboração de um software que auxilie no projeto de redes coletoras de esgotos sanitários no que diz respeito a desenho, dimensionamento, cálculo de quantitativos e orçamento de redes coletoras de esgoto.

Além do método padrão para dimensionamento da rede coletora, o software objeto deste trabalho obtém a função de considerar, também, o atendimento crítico durante seu dimensionamento, ou seja, as casas localizadas a qualquer distância informada da rede possuem suas cotas calculadas para ajuste da rede coletora de acordo com os critérios do projetista, garantindo, assim, o atendimento destas.

2. Revisão da Literatura

2.1. Saneamento básico

O acesso ao saneamento básico pelas populações mundiais é e sempre foi de extrema importância. O saneamento básico está ligado à qualidade de vida da população e a saúde pública da mesma, além de visar a não degradação do meio ambiente.

Para que uma determinada localidade possua saneamento básico, esta deve possuir sistema de abastecimento de água, sistema de esgotamento sanitário, coleta e destino final adequado dos resíduos sólidos gerados e sistema de drenagem.

O manual de saneamento da FUNASA (2006) define sistema de abastecimento público de água como o conjunto de obras, instalações e serviços, destinados a produzir e distribuir água a uma comunidade, em quantidade e qualidade compatíveis com as necessidades da população, para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

O sistema de abastecimento de água é considerado básico para uma população por ajudar a prevenir e controlar doenças, através do fornecimento de água potável, ou seja, livre de contaminações, auxiliar na higiene da população, propiciar conforto, aumentar a vida útil da população, através da redução da mortalidade, gerar acesso à implantação de indústrias na região, entre outros.

O sistema público de esgotamento sanitário, foco do presente trabalho, pode ser definido como o conjunto de obras, instalações e serviços, destinados à coleta, transporte, tratamento e destino final adequado dos esgotos gerados pela população de uma localidade.

A implantação de sistemas de esgotamento sanitário é importante por evitar a poluição do solo e de fontes hídricas, possíveis mananciais de sistemas de abastecimento de água, evitar o contato de vetores com dejetos, propiciar higiene à população, promover o conforto, atender à estética da região, evitando dejetos nas ruas e o mau cheiro, aumentar a expectativa de vida da população, através da redução da mortalidade, gerar acesso à implantação de indústrias na região, além de contribuir bastante para a conservação do meio ambiente.

De acordo com o Manual de Saneamento da FUNASA, os resíduos sólidos são materiais heterogêneos, (inertes, minerais e orgânicos) resultantes das atividades humanas e da natureza, os quais podem ser parcialmente utilizados, gerando, entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais.

A solução adequada dos resíduos sólidos tem uma grande importância para uma localidade. Os principais objetivos de dar uma solução aos resíduos são: prevenção e controle de doenças, gerar um efeito psicológico na população melhorando a higiene local, aumentar a vida útil da população, através da redução da mortalidade, além de contribuir bastante para a conservação do meio ambiente.

O sistema de drenagem pode ser definido como o conjunto de obras, instalações e serviços, destinados à coleta, transporte e destino final das águas de chuva de uma determinada região, não afetando, negativamente, a região de escoamento das águas pluviais.

A implantação de sistemas de drenagem é extremamente importante por ajudar a evitar e controlar doenças de veiculação hídrica, além de evitar inundações e/ou alagamentos que podem destruir casas ou até matar pessoas.

2.2. Sistemas de esgotos sanitários

2.2.1. Esgoto sanitário

De acordo com a NBR 9648, esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos domésticos, esgotos industriais, águas de infiltração e a contribuição pluvial parasitária.

Os esgotos domésticos são aqueles gerados a partir da água consumida através de seus vários usos pela população, seja por hábitos de higiene ou devido às necessidades fisiológicas humanas. Assim sendo, quanto maior o hábito de consumo de água de uma região, maior a vazão de esgoto gerado e mais diluído este será. Os esgotos domésticos são formados em sua maioria por água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes, águas de lavagem e outros.

Os esgotos industriais são aqueles gerados pelas indústrias. Quando as vazões industriais são maiores que as estabelecidas para a área das indústrias, essas vazões são consideradas vazões concentradas, quando não, são consideradas dentro da taxa de contribuição. As contribuições de escolas, hospitais ou outros estabelecimentos de grande porte podem ser consideradas da mesma forma que as contribuições industriais.

Para Jordão & Pessôa (2009), os esgotos industriais provêm de qualquer utilização da água para fins industriais, adquirindo, assim, características próprias em função do processo industrial empregado.

As águas de infiltração são contribuições das águas infiltradas no solo. Esta, ao infiltrar no solo se encontra com o tubo de esgoto e escoar até encontrar alguma falha no sistema para penetrar.

A contribuição pluvial parasitária é a contribuição das águas da chuva que penetram no sistema através dos tampões dos poços de visita, por alguma outra abertura ou até mesmo pelas casas, entrando nos sistemas de esgoto residenciais.

2.2.2. Características do esgoto doméstico

De acordo com Jordão & Pessôa (2009), as características dos esgotos variam quantitativa e qualitativamente com a sua utilização. As características do esgoto doméstico podem ser divididas em físicas, químicas e biológicas.

As principais características físicas do esgoto doméstico são:

- **Teor de matéria sólida:** em termos de dimensionamento de tratamento de esgoto essa é a característica física mais importante, apesar de ser representada por apenas 0,08% do esgoto, sendo 99,92% do esgoto composto de água.
- **Temperatura:** a temperatura do esgoto doméstico é, geralmente, um pouco maior que a temperatura da água de distribuição, por ser aquecida durante o uso da água, podendo ser bem maior devido a contribuições industriais.
- **Odor:** os odores existentes no esgoto doméstico são causados pelos gases existentes nele. No entanto, os odores não ocorrem apenas no esgoto em si, aparecem, também, em elementos de retenção de sólidos nos tratamentos de esgotos, como grades e caixas de areia.
- **Cor:** a cor do esgoto varia com o seu estado de decomposição. A cor acinzentada é encontrada em esgoto fresco, a cor preta em esgoto velho. Outras cores podem ser encontradas no esgoto, principalmente devido a contribuições industriais.

- **Turbidez:** a turbidez pode ser utilizada como forma de medir a eficiência de um tratamento secundária, haja vista que pode ser relacionada com a concentração de sólidos em suspensão.

As principais características químicas do esgoto doméstico podem ser divididas em matéria orgânica e matéria inorgânica:

- **Matéria orgânica:** são cerca de 70% dos sólidos no esgoto médio. Estes compostos orgânicos são, geralmente, combinações de carbono, hidrogênio e nitrogênio. Os grupos de substâncias orgânicas existentes nos esgotos domésticos são constituídos, principalmente, de compostos de proteína, carboidratos, gordura, óleo, uréia, surfatantes, fenóis e outros.
- **Matéria inorgânica:** é formada, principalmente, por areia e substâncias minerais dissolvidas. A areia dos esgotos domésticos é proveniente, geralmente, da água de lavagem de ruas ou da água de origem pluvial que penetra na rede de maneira indevida ou através das juntas das tubulações.

Também é comum utilizar a demanda química de oxigênio (DQO) para caracterizar quimicamente o esgoto.

Para indicar as características biológicas de um esgoto doméstico é necessário conhecer os organismos existentes no esgoto. Os principais organismos encontrados nos esgotos domésticos são bactérias, fungos, protozoários, vírus, algas e alguns grupos de plantas e animais.

Os indicadores comumente utilizados para indicar a existência de organismos patogênicos nos esgotos são:

- **Coliformes totais:** foram os primeiros a serem utilizados como indicadores. No entanto, eles não são encontrados, apenas, nas fezes humana ou animal, podendo ser encontrados, também, em vegetação;
- **Coliformes fecais:** estas substâncias fazem parte de um subgrupo dos coliformes totais, se diferenciando por resistirem a elevadas temperaturas, vindo, ainda, em sua grande maioria de origem fecal, sendo bastante eficiente como indicadores de organismos patogênicos;
- **Escherichia coli:** é um tipo de coliforme fecal que se desenvolve apenas na flora intestinal dos animais de sangue quente, sendo, então, um indicador exclusivo de contaminação fecal;
- **Streptococos fecais:** são bactérias que estão associadas à flora intestinal humana, sendo, então, indicativo de contaminação por fezes humanas;
- **Enterococos fecais:** são bactérias que estão associadas à flora intestinal de animais de sangue quente em geral, sendo, então, indicativo de contaminação por fezes de animais de sangue quente, podendo ser humano ou não.

Também é comum utilizar a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para caracterizar biologicamente o esgoto.

2.2.3. Tipos de sistemas de esgoto

Os esgotos de origem especificamente urbana podem ser divididos em esgotos domésticos e esgotos pluviais.

Nos vários países do mundo, os sistemas de esgoto podem ser de três tipos:

- **Sistema de esgotamento unitário:** é aquele em que os esgotos domésticos, as águas de infiltração e o esgoto pluvial são coletados e escoam para um destino através de um único sistema de canalizações;
- **Sistema de esgotamento separador parcial:** é aquele em que os esgotos domésticos, as águas de infiltração e parte do esgoto pluvial (apenas as águas de chuva coletadas em telhados e pátios das unidades habitacionais) são coletados e escoam para um destino através de um único sistema de canalizações, ficando o esgoto pluvial das áreas públicas para ser coletado e escoado para um destino através de outro sistema de canalizações totalmente isolado do primeiro;
- **Sistema de esgotamento separador absoluto:** é aquele em que os esgotos domésticos e as águas de infiltração são coletados e escoam para um destino através de um sistema de canalizações, ficando todo o esgoto pluvial para ser coletado e escoado em outro sistema de canalizações. Os dois sistemas devem ser totalmente isolados entre si.

No Brasil, é utilizado o sistema de esgotamento separador absoluto, o qual os sistemas de esgotamento sanitário e os sistemas de drenagem urbana são totalmente isolados. Entretanto, a falta de programas educativos, faz com que a própria população desrespeite o conceito separatista desse sistema, despejando seus dejetos no sistema público de drenagem.

Vários são os fatores, econômicos, técnicos e ambientais, que justificam a utilização desse tipo de sistema no país, entre eles estão:

Fatores econômicos:

- O sistema unitário é compreendido de tubos de grandes diâmetros e, conseqüentemente, de materiais mais caros, enquanto que o sistema separador absoluto são tubos de menores diâmetros e em materiais mais baratos, como o PVC.
- A implantação do sistema unitário deve ser feita de uma única vez, sendo necessário o gasto de um grande sistema, enquanto que a implantação do sistema separador absoluto pode ser feita uma implantação de cada vez, podendo atender primeiramente, com gastos menores, a necessidade mais crítica.
- No sistema unitário é obrigatório coleta de esgoto doméstico e pluvial em todas as ruas por onde passa o sistema, enquanto que o sistema separador absoluto algumas ruas, não necessitárias de sistemas de drenagem, podem ficar sem esse sistema, economizando bastante.

Fatores técnicos:

- No sistema unitário, o esgoto coletado possui grande volume e encontra-se bastante diluído, o que acarreta em difícil e mais caro tratamento do esgoto, enquanto que no sistema separador absoluto o esgoto doméstico coletado é em menor volume e, conseqüentemente, mais barato de tratar, uma vez que a água coletada no sistema de drenagem não necessitar de tratamento.
- No sistema unitário, por apresentar tubos de maiores diâmetros, as obras são mais difíceis de executar e de maior duração, sendo o oposto do que ocorre no sistema separador absoluto.

- Em nosso país, existem regiões onde as chuvas são frequentes em apenas três meses no ano, havendo apenas contribuições de esgotos domésticos na maior parte do ano. Isso geraria, num sistema unitário, tubulações com diâmetros muito grandes e lâminas d'água muito pequenas, o que necessitaria de declividades muito elevadas ou causaria a existência de sólidos depositados nos coletores.

Fatores ambientais:

- A implantação de um sistema unitário geraria maior tempo de transtorno a população devido ao tempo de implantação da obra sem nenhum benefício à população quando comparado ao sistema separatista absoluto.
- A implantação de um sistema unitário gera maior impacto ao solo, já que os tubos assentados seriam de diâmetros grandes, além de gerar um grande volume de bota-fora de material, alterando a pedologia da região.

2.2.4. Partes de um sistema de esgoto sanitário

Para o entendimento de um sistema de esgotamento sanitário é necessário o conhecimento e entendimento de seus componentes. Os principais elementos de um sistema de esgotamento sanitário são apresentados a seguir:

- **Ligação predial:** de acordo com a NBR 9649, é o trecho do coletor predial compreendido entre o limite do terreno e o coletor de esgoto. A ligação predial é compreendida de caixa de inspeção e tubos e conexões necessárias à ligação da caixa de inspeção ao coletor;

- **Rede coletora:** é o conjunto de coletores e órgãos acessórios destinados a coletar e transportar os esgotos advindos das ligações prediais das residências;
- **Coletor de esgoto:** segundo a NBR 9649, é a tubulação da rede coletora destinada a receber a contribuição diretamente do coletor predial em qualquer ponto do seu comprimento. O coletor de esgoto pode ser subdividido em trechos;
- **Coletor principal:** a NBR 9649 o define como o coletor de esgoto de maior extensão dentro de uma mesma bacia;
- **Coletor tronco:** é o coletor de esgoto da rede coletora que recebe apenas contribuição de esgoto de outros coletores através dos órgãos acessórios, não recebendo ligações prediais diretas;
- **Interceptor de esgoto:** segundo a NBR 12207, é a canalização cuja função precípua é receber e transportar o esgoto sanitário coletado, caracterizada pela defasagem das contribuições, da qual resulta o amortecimento das vazões máximas. Para Nuvolari (2009), além de sua função precípua, o interceptor de esgoto é caracterizado por só receber contribuição de outros coletores através dos órgãos acessórios, não recebendo ligações prediais diretas, além de ser, geralmente, situado em partes baixas das bacias, comumente ao longo das margens de coleções de água, a fim de reunir e conduzir os efluentes coletados até um ponto de concentração, evitando, assim, vários pontos de descargas nos corpos d'água;
- **Emissário:** de acordo com a NBR 9649, é a tubulação que recebe esgoto exclusivamente na extremidade de montante. Em geral, são utilizados para recalcar o esgoto da estação elevatório à estação de tratamento, sendo denominado de emissário de recalque, ou para transportar o efluente tratado até o destino final, sendo denominado de emissário final;

- **Órgãos acessórios:** segundo a NBR 9649, são dispositivos fixos desprovidos de equipamentos mecânicos. Os órgão acessórios utilizados em redes coletoras de esgotos são os poços de visita, tubos de inspeção e limpeza, terminais de limpeza e caixas de passagem;
- **Sifão invertido:** de acordo com a NBR 9649, é um trecho rebaixado com escoamento sob pressão, cuja finalidade é transpor obstáculos, depressões do terreno ou cursos d'água;
- **Tubo de queda:** a NBR 9649 o define como dispositivo instalado no poço de visita (PV), ligando um coletor afluyente ao fundo do poço.
- **Estação elevatória de esgoto:** de acordo com a NBR 12208, é definida como a instalação que se destina ao transporte do esgoto do nível do poço de sucção das bombas ao nível de descarga na saída do recalque, acompanhando, aproximadamente, as variações da vazão afluyente;
- **Estação de tratamento de esgoto:** a NBR 12209 a define como o conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento;
- **Corpo receptor:** Segundo a NBR 9648, o corpo receptor é qualquer coleção de água ou solo que recebe o lançamento de esgoto em estágio final. Um corpo hídrico receptor deve sempre estar em movimento, devendo ser rios, córregos ou o mar, não podendo ser açudes ou lagos, que possuem água parada. O solo como corpo receptor recebe os efluentes, geralmente, através de sumidouros ou valas de infiltração.

2.2.5. Normas técnicas para projetos de sistemas de esgoto sanitário

As principais normas técnicas editadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para elaboração de projetos e execução de obras de esgotamento sanitário são:

- NBR 7362 – Tubo de PVC rígido com junta elástica, coletor de esgoto;
- NBR 7367 – Projeto e assentamento de tubulações de PVC rígido para sistemas de esgoto sanitário;
- NBR 8889 – Tubo de concreto simples, de seção circular, para esgoto sanitário;
- NBR 8890 – Tubo de concreto armado de seção circular para esgoto sanitário;
- NBR 9648 – Estudos de concepção de sistemas de esgoto sanitário;
- NBR 9649 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário;
- NBR 9814 – Execução de rede coletora de esgoto sanitário;
- NBR 12207 – Projeto de interceptores de esgoto sanitário;
- NBR 12208 – Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário;
- NBR 12209 – Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário;
- NBR 13969 – Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação;

- NBR 12266 – Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana;
- NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico;
- NBR 9800 – Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário;
- NBR 14486 – Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário – Projeto de redes coletoras com tubos de PVC.

2.3. Fases para elaboração de projetos de sistemas de esgoto sanitário

Antes da execução de uma obra de esgoto sanitário, existem três fases a serem seguidas para elaboração dos projetos dos sistemas de esgoto sanitário, os Estudos de Concepção, o Projeto Básico e o Projeto Executivo.

2.3.1. Estudos de concepção

Para a elaboração de um estudo de concepção de sistema de esgotamento sanitário, devem ser atendidos os requisitos da NBR 9648. Esta norma define estudo de concepção como estudo de arranjos das diferentes partes de um sistema, organizadas de modo a formarem um todo integrado e que devem ser qualitativa e quantitativamente comparáveis entre si para a escolha da concepção básica.

A mesma fonte define concepção básica como melhor opção de arranjo, sob os pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social.

A elaboração de um estudo de concepção necessita atender a vários requisitos, entre eles estão:

- Plantas topográficas confiáveis em escalas compatíveis com a precisão requerida para o estudo e visualização das diferentes concepções;
- Dados dos recursos hídricos da região que pode influir no sistema e por este ser influenciado;
- Características físicas da região como relevo, meteorologia, geologia, fluviometria e dados de corpos receptores existentes que possam ser utilizados;
- Dados demográficos da região a ser beneficiado com o estudo;
- Meios de comunicação da região;
- Estradas de acesso e meios de transporte utilizados pela população da localidade;
- Disponibilidade de mão de obra e de materiais de construção;
- Disponibilidade, confiabilidade e características do sistema de energia elétrica da região;
- Sistemas existentes de abastecimento de água, coleta de resíduos sólidos, sistema de drenagem. Do sistema de esgotamento sanitário existente deve-se obter além dos dados o cadastro dos elementos existentes;
- Uso da terra, como plano diretor e tipo de ocupação;
- Desenvolvimento socioeconômico da região;
- Legislações vigentes;

- Obtenção de estudos existentes que possam ser utilizados;
- Obtenção das interferências que possam atrapalhar na execução da obra.

Além da obtenção dos requisitos necessários ao estudo de concepção, para sua elaboração é preciso o desenvolvimento de uma série de atividades, entre elas estão:

- Delimitação da área de projeto;
- Escolha do horizonte de projeto e dos anos de início e final de plano;
- Estimativa das populações atendidas e vazões dos sistemas a cada ano;
- Elaboração do diagnóstico do sistema existente;
- Delimitação das bacias de atendimento;
- Fixação preliminar das características do esgoto: avaliação e caracterização das cargas poluidoras atuais e futuras em função da tendência de ocupação do solo, verificando a necessidade de tratamento prévio do esgoto industrial antes do lançamento à rede coletora;
- Elaboração das concepções (alternativas) dos sistemas de esgotamento sanitário para a localidade;
- Determinação das condições sanitárias dos corpos receptores, considerando sua área de influência, disposições legais, além da avaliação da capacidade de autodepuração do corpo receptor;
- Avaliação do impacto ambiental relativo a cada alternativa do estudo;
- Verificação da possibilidade de aproveitamento do sistema existente;

- Pré-dimensionamento dos elementos das concepções;
- Fixação dos critérios para estimativa dos valores de investimento e custos de operação, manutenção, reparação e de energia elétrica para as concepções;
- Análise e consideração da necessidade de implantar etapas de execução das obras;
- Descrição da concepção básica, localizando seus componentes em plantas topográficas. Apresentação de concepção básica numa única planta em escala conveniente.

2.3.2. Projeto básico

Segundo Rodrigues (2006), o projeto básico consiste no conjunto de elementos necessários e suficientes, com precisão adequada, para caracterizar a obra e os serviços objetos da licitação. Rodrigues (2006) ainda diz que este projeto deve ser elaborado com base nas indicações dos estudos de concepção e, também, assegurar a viabilidade do empreendimento e possibilitar uma estimativa do custo da obra, definindo os métodos e prazos de execução.

2.3.3. Projeto executivo

Para Rodrigues (2006), projeto executivo consiste no conjunto de elementos necessários e suficientes à avaliação conclusiva do custo da obra e à execução completa da mesma, de acordo com as normas pertinentes da ABNT. Neste projeto são fornecidas todas as informações complementares e essenciais à construção que não são apresentadas no projeto básico, como por exemplo, as ordens de serviço, especificações técnicas sobre aquisição, transporte, estocagem e

instalação dos materiais, plantas com detalhamento dos equipamentos e acessórios, etc. Rodrigues (2006) considera que a qualidade do projeto executivo é de suma importância para a execução da obra, apesar de o mesmo, antes de ser liberado para licitação de implantação da obra, ser submetido à análise pelos órgãos financiadores e ambientais.

De acordo com Tsutiya & Sobrinho (1999), para o desenvolvimento do projeto executivo são necessários, de um modo geral, os seguintes passos:

- Consulta ao projeto básico;
- Atualização do cadastro dos sistemas existentes de água, esgoto e demais serviços públicos;
- Serviços de apoio técnico em topografia e geotecnia.

Deverão ser, também, apresentadas as seguintes peças gráficas:

- Cadastros das estruturas visíveis
- Plantas dos traçados da rede coletora com todas as informações de tubulações e órgãos acessórios em escala 1/2000;
- Perfis dos coletores em escala horizontal 1/1000 ou 1/2000 e vertical 1/100 ou 1/200.

E finalmente, para uma adequada elaboração de um projeto executivo, devem ser:

- Verificados a hidráulica dos trechos projetados;
- Levantados quantitativos de serviços e materiais;

- Vislumbrada a melhor posição para locação da rede coletora e outros elementos do sistema;
- Indicadas as profundidades para o correto assentamento das redes.

2.4. Parâmetros para o cálculo das vazões de uma rede coletora de esgoto

Para que se possam calcular as vazões que passam por uma rede coletora de esgotos, deve-se conhecer uma série de parâmetros necessários. Os parâmetros utilizados são:

- Horizonte de projeto;
- População atual e futura da área de projeto;
- Consumo per capita de água;
- Coeficiente de retorno;
- Coeficientes de variação de vazão;
- Taxa de infiltração.

2.4.1. Horizonte de projeto

De acordo com a NBR 9648, o horizonte de projeto ou alcance de plano é o ano previsto para o sistema planejado passar a operar com utilização plena de sua capacidade. Assim sendo, o horizonte de projeto é o último ano em que o projeto pode operar com as dimensões projetadas, devendo, então, ser projetado novamente para um novo horizonte de projeto.

É bastante comum que o horizonte de projeto adotado seja um ano futuro 20 anos após o ano considerado como de implantação da obra. Atualmente, com os estudos e experiências sobre a durabilidade de tubulações e materiais existentes em obras de esgotamento sanitário, também está sendo bastante utilizado o horizonte de 30 anos após a implantação da obra.

Apesar de grande parte das tubulações e materiais utilizados em obras de esgotamento sanitário possuir boa durabilidade e resistência durante o tempo, alguns equipamentos, como conjuntos moto-bombas, por exemplo, não possuem essa capacidade, sendo adotada sua durabilidade de 10 anos, aproximadamente. Por esse motivo, é comum se projetar considerando um procedimento de etapalização.

A etapalização é um procedimento que permite a execução das obras por etapa, ou seja, a execução das obras pode ser realizada separadamente entre intervalos de tempo dentro do horizonte de projeto, contanto que não afetem a funcionalidade do sistema desde a primeira etapa de execução. É bastante usual considerar que uma etapa de projeto ocorra a cada 10 anos.

Vários são os elementos que podem ser executados em uma segunda etapa de execução, entre eles estão a substituição de conjuntos moto-bomba, a implantação de um novo módulo de tratamento do esgoto ou a implantação de novas redes coletoras se unindo à rede da primeira etapa ou simplesmente sendo levadas à mesma estação de tratamento.

A obra pode ser executada em várias etapas dentro do horizonte de projeto, contanto que seja economicamente viável e que seja prevista em projeto.

2.4.2. População da área de projeto

Em um sistema de esgotamento sanitário, a população da área de projeto é o parâmetro mais importante para a elaboração do projeto. Além de ser quem recebe o benefício do sistema, este é o parâmetro responsável pela maior geração de vazão do projeto.

Em um projeto de rede coletora de esgotamento sanitário, devem ser consideradas as populações atual e futura de projeto, utilizadas para obtenção de critérios mínimos e máximos de dimensionamento da rede coletora, como veremos mais adiante.

Vários são os métodos possíveis para obtenção da população inicial de certa localidade, entre elas estão:

- Contagem ou levantamento cadastral, em campo, do número de habitantes da localidade (localidade de pequeno porte como comunidades rurais);
- Contagem ou levantamento cadastral, em campo, do número de residências de uma localidade, considerando uma taxa de ocupação residencial (localidade de pequeno porte como comunidades rurais);
- Levantamento de dados através da prefeitura municipal (localidade de médio porte como distritos municipais)
- Levantamentos de dados através de órgãos como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), responsável por tais informações (localidade de grande porte como sedes municipais ou municípios inteiros).

A taxa de ocupação residencial supracitada é uma taxa que indica quantos moradores residem, em média, em cada residência de uma localidade. Para encontrar a população inicial de uma localidade através da contagem do número de residências utiliza-se a **Equação 1** a seguir:

$$P_I = N T_{OR} \quad (1)$$

Onde:

- P_I é a população inicial;
- N é o número de residências;
- T_{OR} é a taxa de ocupação residencial.

Para o cálculo da população futura de projeto deve-se utilizar algum método de crescimento demográfico como o método dos componentes demográficos, métodos matemáticos ou o método de extrapolação gráfica.

O método matemático de maior utilização para projeção demográfica é o método de crescimento geométrico da população, de acordo com Tsutiya & Sobrinho (1999), este método pressupõe que o crescimento da população é proporcional à população existente em um determinado ano.

O método do crescimento geométrico da população utiliza a **Equação 2** para o cálculo da população futura de projeto.

$$P_F = P_I e^{K_g(t_F - t_I)} \quad (2)$$

Onde:

- P_f é a população final em um ano t ;
- K_g é a taxa de crescimento geométrico;
- t_f é o ano futuro o qual se deseja conhecer a população;
- t_i é o ano de população inicial conhecida.

A taxa de crescimento geométrico é um parâmetro que pode ser fornecido por instituições como o IBGE ou calculados de acordo com a **Equação 3** apresentada a seguir:

$$K_g = \frac{\ln(P_1) - \ln(P_2)}{t_1 - t_2}$$

(3)

Onde:

- P_1 é a população final em um ano t_1 já conhecida;
- P_2 é a população inicial em um ano t_2 já conhecida;
- t_1 é o ano de população final conhecida em levantamento anterior ou dados coletados;
- t_2 é o ano de população inicial conhecida em levantamento anterior ou dados coletados.

2.4.3. Densidade demográfica

A população considerada em projetos de esgotamento sanitário pode ser encontrada através de métodos apresentados no tópico anterior ou através da densidade demográfica.

A densidade demográfica é a informação da quantidade de pessoas que habitam uma localidade por unidade de área. A utilização da densidade demográfica para encontrar as populações utilizadas em projeto é mais comum em cidades de grande porte, já que em localidades de pequeno porte a contagem do número de habitantes ou do número de residências é bastante simples e rápida de se realizar.

É comum considerar a densidade demográfica em valores diferentes em cada bairro de um município, de acordo com o tipo de ocupação. Para se utilizar este parâmetro é necessário conhecer a densidade demográfica atual e a densidade demográfica de saturação, já que, de acordo com Tsutiya & Sobrinho (1999), as redes de esgoto são normalmente projetadas para uma população de saturação, e esta pode ser encontrada através de leis de zoneamento da cidade, caso exista.

2.4.4. Contribuição per capita de esgoto

A contribuição de esgoto está ligada diretamente com o consumo de água. No entanto, o parâmetro conhecido como consumo *per capita* de água pode ser dividido em líquido e bruto, o qual este último leva em consideração as perdas de água no sistema.

A contribuição *per capita* de esgoto é o valor do consumo *per capita* líquido de água, ou seja, a quantidade de água que efetivamente chega aos consumidores, multiplicado pelo coeficiente de retorno. Este valor indica a quantidade de esgoto gerado por habitante em um dia.

2.4.5. Coeficiente de retorno

A água que chega às residências através das redes de distribuição volta aos sistemas públicos em forma de esgoto nas redes coletoras. No entanto, não é todo o volume de água consumido que chega às redes coletoras, parte dessa água, utilizada para lavagem de carros, lavagem de ruas e calçadas ou rega de plantas, não volta para os sistemas públicos de esgoto sanitário, e sim, quando há, aos sistemas públicos de drenagem.

De acordo com a NBR 9649, o coeficiente de retorno é a relação média entre os volumes de esgoto produzido e os volumes de água efetivamente consumidos.

A mesma norma técnica recomenda que inexistindo dados locais comprovados oriundos de pesquisas, pode ser adotado o valor de 0,8 para o coeficiente de retorno.

2.4.6. Coeficientes de variação de vazão

A vazão de contribuição de esgoto não é constante com o tempo, ela possui valores diferentes a cada dia e a cada hora do dia. Dessa forma, existem coeficientes que indicam a variação da vazão:

- K_1 é o coeficiente do dia de maior consumo – é a relação entre a maior vazão diária e a vazão média de esgoto em um determinado ano;
- K_2 é o coeficiente da hora de maior consumo – é a relação entre a maior vazão horária e vazão média de esgoto em um determinado dia;

- K_3 é o coeficiente da hora de menor consumo – é a relação entre a menor vazão horária e vazão média de esgoto em um determinado ano.

A NBR 9649 recomenda que inexistindo dados locais comprovados oriundos de pesquisas, podem ser adotados os valores de 1,2 para o coeficiente K_1 , 1,5 para o coeficiente K_2 e 0,5 para o coeficiente K_3 .

2.4.7. Taxas de infiltração

Atualmente, com a tecnologia existente, ainda não é possível evitar que as águas de infiltração penetrem nas redes coletoras de esgoto. Para Tsutiya & Sobrinho (1999), a quantidade de infiltração nas redes de esgoto depende dos materiais empregados, do estado de conservação a rede, do assentamento das tubulações, bem como das características do solo, como tipo de solo, permeabilidade, além do nível do lençol freático, entre outros.

As infiltrações ocorrentes nas redes coletoras de esgoto se dão através das:

- Juntas das tubulações, quanto pior for o assentamento, maior a quantidade de infiltração;
- Paredes das tubulações, alguns materiais de tubos podem permitir essa infiltração;
- Estruturas como órgãos acessórios (poços de visita, caixas de passagem e outros) ou estações elevatórias.

A infiltração de água na rede coletora está ligada diretamente com a sua extensão, ou seja, quanto maior a rede coletora, maior o número de juntas de tubulações, órgãos acessórios e paredes de tubos, aumentando a quantidade de

água infiltrada. Por esse motivo, a taxa de infiltração é dada por metro de rede coletora.

A NBR 9649 recomenda que inexistindo dados locais comprovados oriundos de pesquisas, podem ser adotados valores entre 0,05 L/s.km a 1,00 L/s.km, dependendo das condições locais.

2.5. Cálculo das vazões de esgoto

O cálculo das vazões totais de esgoto é o somatório de três tipos de vazão que podem ser consideradas na rede coletora: as vazões de infiltração, as vazões industriais e as vazões de contribuição populacional.

2.5.1. Vazões de infiltração

Após o estudo dos parâmetros do sistema de esgotamento sanitário e o traçado da rede coletora de esgoto, pode-se calcular a vazão de infiltração através da **Equação 4** a seguir:

$$Q_{inf} = T_{inf} L \quad (4)$$

Onde:

- Q_{inf} é a vazão de infiltração (L/s);
- T_{inf} é a taxa de infiltração (L/s.m);
- L é a extensão total da rede coletora (m).

2.5.2. Vazões industriais

Os esgotos industriais devem, sempre que possível, ser coletados na rede pública de esgoto sanitário. Para que isso ocorra, é necessário que, em fase de projeto, haja conhecimento sobre as indústrias existentes e de previsão de implantação durante o horizonte de funcionamento do sistema a projetar.

Além do conhecimento da existência ou não de indústrias, devem-se conhecer as características de seus efluentes, podendo, assim, saber se estes podem ser despejados diretamente na rede pública ou se necessitam de um pré-tratamento, para que não haja mudança nas características do esgoto doméstico.

Havendo a possibilidade de despejar o esgoto industrial na rede coletora pública de esgoto, este deve ser considerado na forma de vazão concentrada, ou seja, uma vazão concentrada em um único ponto (órgão acessório) da rede, devendo ser considerada a vazão para início e final de plano de projeto.

2.5.3. Vazões de contribuição populacional

Com os parâmetros do sistema de esgotamento sanitário definidos e as populações de início de plano e de final de plano já conhecidas, pode-se calcular as vazões de contribuição populacional da rede coletora para início e final de plano do projeto através das equações a seguir:

a) Início de plano:

$$Q_{\text{med},i} = \frac{P_1 q c}{86.400}$$

(5)

Onde:

— $Q_{med,i}$ é a vazão média para início de plano (L/s);

— P_i é a população de início de plano (hab);

— q é o consumo *per capita* (L/hab.dia);

— c é o coeficiente de retorno;

$$Q_{min,i} = \frac{K_3 P_i q c}{86.400}$$

(6)

Onde:

— $Q_{min,i}$ é a vazão mínima para início de plano (L/s);

— K_3 é o coeficiente da hora de menor consumo;

$$Q_{max,i} = \frac{K_2 P_i q c}{86.400}$$

(7)

Onde:

— $Q_{max,i}$ é a vazão máxima para início de plano (L/s);

— K_2 é o coeficiente da hora de maior consumo.

b) Final de plano:

$$Q_{med,f} = \frac{P_F q c}{86.400}$$

(8)

Onde:

— $Q_{med,f}$ é a vazão média para final de plano (L/s);

— P_F é a população de final de plano (hab);

$$Q_{min,f} = \frac{K_3 P_F q c}{86.400} \quad (9)$$

Onde:

— $Q_{min,f}$ é a vazão mínima para final de plano (L/s);

$$Q_{max,f} = \frac{K_1 K_2 P_F q c}{86.400} \quad (10)$$

Onde:

— $Q_{max,f}$ é a vazão máxima para final de plano (L/s);

— K_1 é o coeficiente do dia de maior consumo.

2.6. Cálculo das taxas de contribuição linear

Para o dimensionamento de redes coletoras de esgoto, utilizam-se as vazões máximas de início e final de plano, ficando as vazões médias e mínimas para projetos de estações elevatórias e estações de tratamento de esgoto.

Considerando as redes coletoras, para conhecer a vazão em cada trecho da rede, calculam-se através das vazões máximas, as taxas de contribuição linear para início de plano e final de plano.

As taxas de contribuição devido as contribuições populacionais para início e final de plano são dadas pelas **Equação 11** e **Equação 12**, respectivamente.

$$T_{xp,i} = \frac{Q_{max,i}}{L} \quad (11)$$

Onde:

— $T_{xp,i}$ é a taxa de contribuição populacional inicial (L/s.m);

$$T_{xp,f} = \frac{Q_{max,f}}{L} \quad (12)$$

Onde:

— $T_{xp,f}$ é a taxa de contribuição populacional final (L/s.m);

Dessa forma, as taxas de contribuição linear efetivas inicial e final são a soma das taxas de contribuição populacional com a taxa de infiltração, de acordo com as **Equação 13** e **Equação 14**.

$$T_{x,i} = T_{xp,i} + T_{inf} \quad (13)$$

Onde:

— $T_{x,i}$ é a taxa de contribuição linear inicial (L/s.m);

$$T_{x,f} = T_{xp,f} + T_{inf}$$

(14)

Onde:

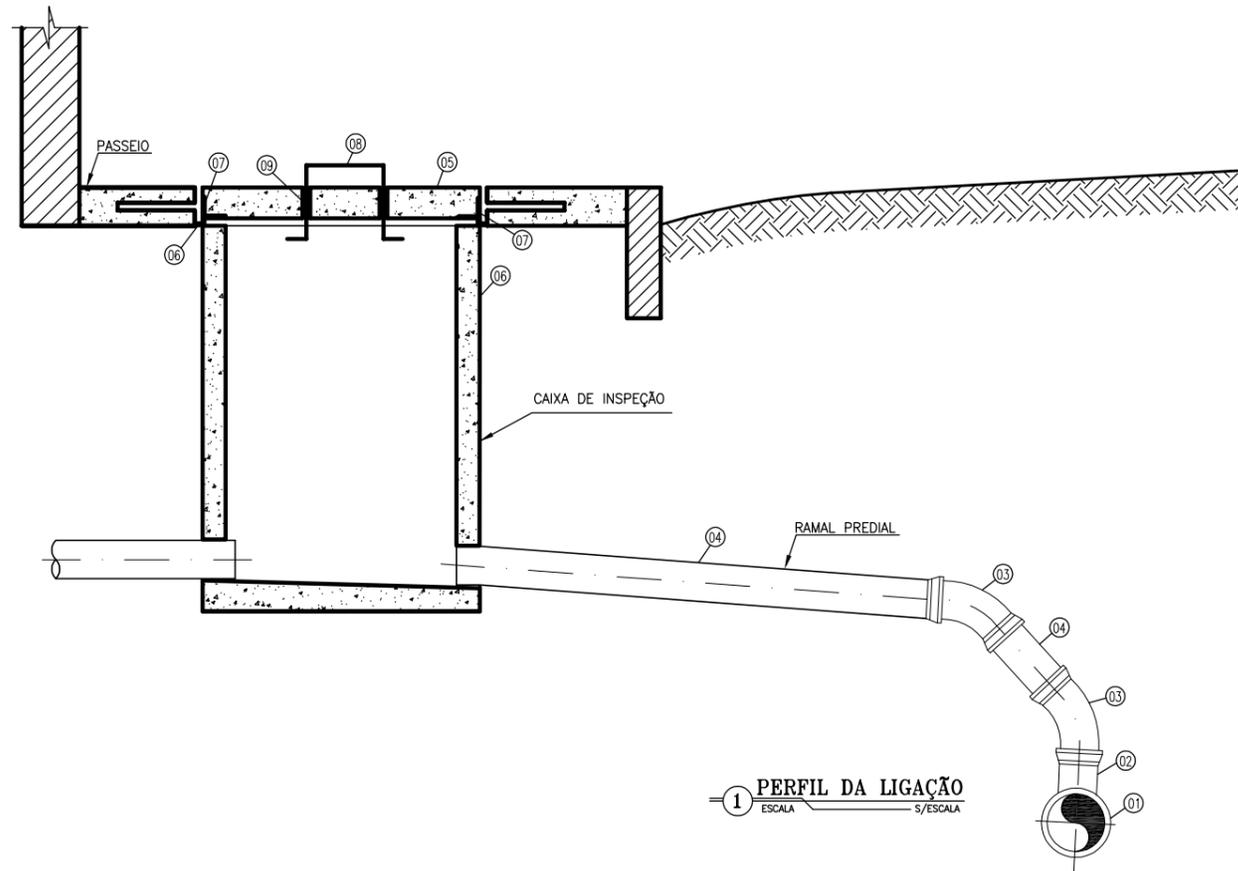
— $T_{x,f}$ é a taxa de contribuição linear final (L/s.m);

2.7. Ligações prediais

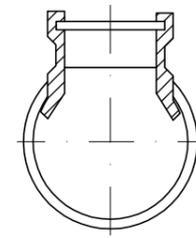
A ligação predial de esgoto é responsável por receber o esgoto gerado em uma residência através da instalação predial (conjunto de peças e acessórios internos da residência destinados a conduzir o esgoto até a ligação predial) e encaminhar o mesmo até a rede coletora de esgoto. É composta de:

- Caixa de inspeção – caixa em alvenaria, concreto armado ou em anéis de concreto localizada no passeio com a função de receber o esgoto de uma residência, através da instalação predial;
- Ramal predial – canalização, normalmente em PVC com diâmetro nominal (DN) de 100 mm, destinado a conduzir o esgoto da caixa de inspeção até o tubo da rede coletora, passando pelas peças especiais. Tsutiya & Sobrinho (1999) informam que para ramais prediais com DN 100 mm, deve-se utilizar declividade mínima de 0,020 m/m;
- Peças especiais – são peças e conexões destinadas a facilitar a entrada do esgoto do ramal predial na rede coletora. Entre as peças especiais podem estar curvas de 90°, curvas de 45°, tês, junções e selim.

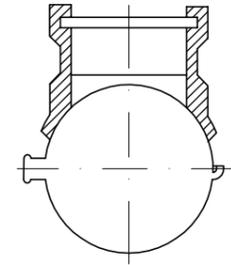
A **Figura 1** a seguir apresenta um esquema de uma ligação domiciliar projetada.



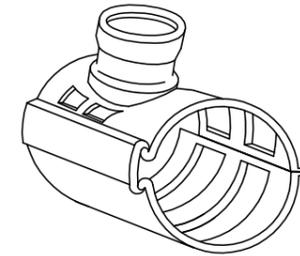
1 PERFIL DA LIGAÇÃO
ESCALA S/ESCALA



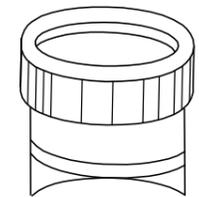
6 SELIM 90°-2
ESCALA S/ESCALA



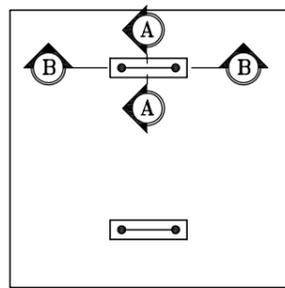
7 SELIM 90° VT.10-1
ESCALA S/ESCALA



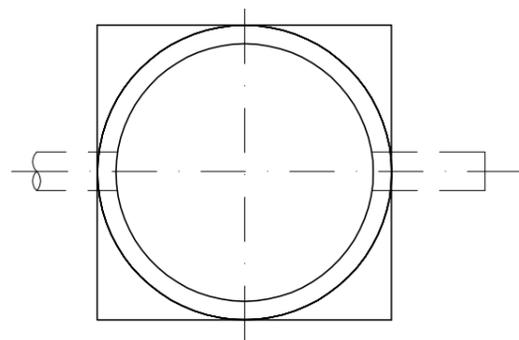
8 PERSPECTIVA - SELIM
ESCALA S/ESCALA



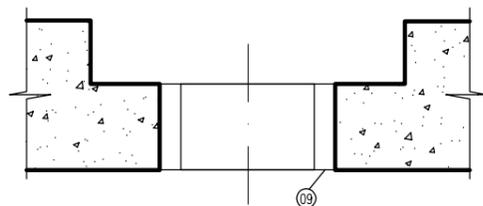
9 VISTA - SELIM
ESCALA S/ESCALA



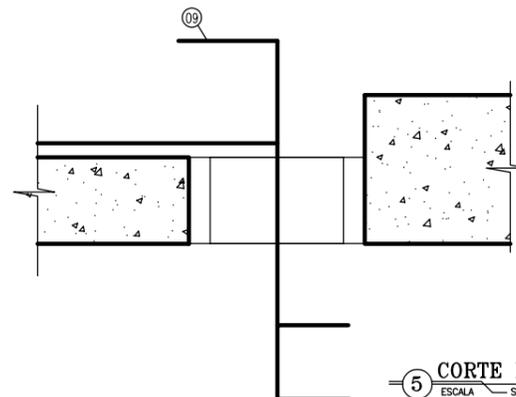
2 TAMPA DA CAIXA DE INSPEÇÃO PARA PASSEIO
ESCALA S/ESCALA



3 PLANTA CAIXA DA CALÇADA
ESCALA S/ESCALA



4 CORTE A-A
ESCALA S/ESCALA



5 CORTE B-B
ESCALA S/ESCALA

RELAÇÃO DAS PEÇAS

- 1 - TUBULAÇÃO DA REDE COLETORA (ØVARIÁVEL)
- 2 - SELIM 90° ELÁSTICO
- 3 - CURVA 45° VINILFORTEPB 100mm
- 4 - TUBO DE PVC RIGIDO VINILFORTE JE 100mm
- 5 - TAMPA PREMOLDADA DE CONCRETO
- 6 - TUBO DE CONCRETO PB 600mm CENTRIFUGADO
- 7 - CANTONEIRA DE FERRO 1"x1", ESPESSURA DE 1/8"
- 8 - Ø 5/8"
- 9 - CANO GALVANIZADO DE 3/4"
- 10 - CANTONEIRA DE FERRO 1"x1", ESPESSURA DE 1/8"

PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	01 - LIGAÇÃO PREDIAL DE ESGOTO	ESCALA:	INDICADA
PÁGINA:	52	DATA:	NOV/2011

Algumas casas as quais são previstas atendimento pela rede coletora de esgoto se localizam em cotas baixas ou distantes do eixo onde será locado o coletor. Assim sendo, atendendo a declividade mínima, a profundidade de chegada do ramal predial no coletor público pode ser maior que a profundidade do próprio coletor naquele ponto.

Esta situação é bastante comum, principalmente em comunidades rurais e pequenos distritos, localidades estas que estão crescendo bastante ultimamente e, necessitando, cada vez mais, de sistema de esgotamento sanitário.

Muitas vezes a solução adotada é a alteração das cotas de fundo da rede coletora na hora da execução da obra, visando atender as residências que se encontram nessas situações. Além de influir bastante tecnicamente, podendo chegar a profundidades não aconselhadas no final da rede, essa solução acarreta em grandes transtornos na obra e maiores gastos não previstos em projeto, podendo, assim, acarretar problemas na finalização da obra.

A melhor solução para essas situações é a previsão da possibilidade do atendimento das residências em cotas baixas ou em grandes distâncias do eixo do coletor ainda em fase de projeto, não causando grandes impactos financeiros a serem considerados pelo órgão financiador durante a execução da obra.

A previsão de atendimento das residências nessas situações geram além dos benefícios financeiros, benefícios técnicos como a menor necessidade de alteração do projeto durante a execução da obra, garantindo, assim, o atendimento a todos os parâmetros pré-estabelecidos em projeto, além de não interferir na cota final da rede coletora, onde poderá ser construída uma estação elevatória de esgoto ou uma estação de tratamento de esgoto.

2.8. Redes Coletoras de Esgoto

2.8.1. Materiais utilizados em tubos coletores de esgoto

Atualmente o material mais utilizado em redes coletoras de esgoto é o PVC, no entanto, de acordo com Tsutiya & Sobrinho (1999), de um modo geral, devem ser considerados alguns fatores para a escolha do material, como resistência a cargas externas, resistência à abrasão e ao ataque químico, facilidade de transporte, disponibilidade de diâmetros necessários, custo do material, custo de transporte e custo de assentamento.

a) Tubo cerâmico

Os tubos cerâmicos têm sido bastante utilizados em redes coletoras de esgoto desde a antiguidade. Nas ruínas da Babilônia foram encontrados vestígios de redes coletoras de esgoto em tubo cerâmico, o que mostra sua grande durabilidade.

Sua principal característica positiva é a resistência a ácidos, gases, areia e cascalho, o que aumenta a sua vida útil. No entanto, apesar dos pontos positivos, os tubos cerâmicos, por apresentarem paredes frágeis, apresentam maiores facilidades de serem danificados durante o seu transporte e assentamento.

Hoje em dia, os tubos cerâmicos podem ser encontrados em diâmetros nominais de 100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 375mm, 400mm, 450mm, 500mm e 600mm. Estes tubos possuem para o número n de Manning um valor igual a 0,013.

Figura 2 – Tubos cerâmicos



Fonte: <http://www.tubostambau.jeitoetalento.com/>

b) Tubo de fibrocimento

Os tubos de fibrocimento foram tubos bastante utilizados nos primeiros sistemas de esgotamento sanitário do país. Por os tubos não terem apresentado um bom desempenho, atualmente este tipo de tubulação não é mais utilizada no país.

Figura 3 – Tubos de fibrocimento



Fonte: <http://www.saint-gobain.com.br/versao2006/portugues/noBrasil.aspx>

c) Tubo de ferro fundido

Os tubos em ferro fundido são bastante comuns em linhas de recalque. Para sistemas com escoamento por gravidade, como é o caso das redes coletoras de esgoto, são mais utilizados em casos especiais como em travessias aéreas ou

travessias por rodovias, ferrovias, rios e outras travessias em métodos não destrutivos.

Os tubos de ferro fundido não são possuem um uso comum em redes de esgotamento sanitário devido a serem sensíveis a corrosão e ataques químicos causados pelas características do esgoto.

Estes tubos não apresentam problemas de danificação durante o transporte e assentamento, no entanto, devido ao seu grande peso, o assentamento deste tipo de tubulação é difícil de executar, sendo necessário a utilização de máquinas para auxílio da colocação do tubo na vala.

Estes tubos são fornecidos em diâmetros nominais de 80mm, 100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 450mm, 500mm, 600mm, 700mm, 800mm, 900mm, 1000mm, 1200mm, 1400mm, 1600mm, 1800mm e 2000mm. Estes tubos possuem para o número n de Manning um valor igual a 0,012.

Figura 4 – Tubos de ferro fundido



Fonte: <http://www.divulga-se.01br.com/?sis=988&opc=84&sec=Tubos%20Ferro%20Fundido&men=MENU-1>

d) Tubo de aço

Os tubos de aço são mais utilizados em casos especiais como em travessias por rodovias, ferrovias, rios e outras travessias em métodos não destrutivos. São utilizados, principalmente, como camisa para suportar a carga, e não para transportar o líquido. Sua principal característica é a resistência a choques.

Estes tubos são fornecidos em diâmetros nominais de 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 450mm, 500mm, 600mm, 700mm, 800mm, 900mm, 1000mm, 1100mm e 1200mm. Estes tubos possuem para o número n de Manning um valor igual a 0,011.

Figura 5 – Tubos de aço



Fonte: <http://www.steelpipe.com.pt/1-7-spiral-welded-steel-pipe.html>

e) Tubo de concreto

Os tubos de concreto para sistemas de esgotamento sanitário são bastante utilizados em redes coletoras quando há a necessidade de utilização de tubos com diâmetros maiores ou iguais a 400mm.

Os tubos de concreto são bastante resistentes a choques e a abrasão química, no entanto, são muito pesados, o que atrapalha bastante o assentamento da tubulação.

Os tubos de concreto para redes de esgoto podem ser em concreto simples ou em concreto armado. São disponíveis nos diâmetros de 400mm, 500mm, 600mm, 700mm, 800mm, 900mm, 1000mm, 1100mm, 1200mm, 1500mm, 1750mm e 2000mm. Estes tubos possuem para o número n de Manning um valor igual a 0,013.

Figura 6 – Tubos de concreto



Fonte: <http://www.acatubos.com.br/tubos-concreto-agua-pluvial-esgoto.html#sanitario>

f) Tubo de PVC

Os tubos de Policloreto de Vinila (PVC) são, atualmente, os mais utilizados em redes coletoras de esgoto. Além disso, por abranger uma ampla zona de utilidades, os tubos de PVC possuem tipos diferentes para cada função. O material utilizado para redes coletoras de esgoto é o PVC OCRE.

Os principais motivos que tornaram este material o mais utilizado em redes coletoras de esgoto são a sua eficiência hidráulica, devido ao seu baixo número de Manning, facilidade de execução, devido o seu baixo peso,

estanqueidade, devido ao sistema de juntas elásticas e o baixo preço do material. Os tubos de PVC OCRE devem ser utilizados enterrados, pois como qualquer outro tubo de PVC, ele é danificado pelo sol.

Os tubos de PVC para redes de esgoto são disponíveis nos diâmetros de 100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm e 400mm. Estes tubos possuem para o número n de Manning um valor igual a 0,010.

Figura 7 – Tubos de PVC



Fonte: Infra-Estrutura – Esgoto – Catálogo técnico – TIGRE. Em 25/09/2011

g) Tubo de RPVC

Os tubos de RPVC estão sendo utilizados a algum tempo em sistemas de esgotos sanitários, não tendo, ainda, muito tempo no comércio brasileiro. Estes tubos foram inseridos no mercado brasileiro em sistemas de esgoto para atender a demandas que necessitem de tubos hidraulicamente eficientes com grandes classes de rigidez.

Os tubos em RPVC são tubos compostos externamente por um polímero reforçado em fibra de vidro e internamente por PVC. Dessa forma, este tubo possui todas as características internas do PVC, garantido a eficiência hidráulica já conhecida no Brasil, e externas do PRFV, garantindo uma elevada rigidez dos tubos, podendo, assim, serem assentados em menores profundidades ou em locais com tráfego de caminhões bastante elevado.

Os tubos de RPVC para redes de esgoto são disponíveis nos diâmetros de 100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm e 500mm. Estes tubos possuem para o número n de Manning um valor igual a 0,010.

Figura 8 – Tubos de RPVC



Fonte: Tubos e Conexões em PRFV e RPVC – Catálogo de Produto – Petrofisa. Em 25/09/2011

h) Tubo de PRFV

Os tubos de PRFV estão sendo utilizados a algum tempo em sistemas de esgotos sanitários, não tendo, ainda, muito tempo no comércio brasileiro. Estes tubos foram inseridos no mercado brasileiro em sistemas de esgoto para atender a demandas que necessitem de tubos hidraulicamente eficientes com grandes classes

de rigidez e elevados diâmetros, estando no mercado para competir com o concreto e, atualmente, com o PEAD.

Os tubos em PRFV são tubos compostos por um poliéster reforçado em fibra de vidro. As principais matérias-primas utilizadas no processo de fabricação são basicamente: Resina de poliéster, Fibras de Vidros e Sílica. Cada um desses componentes tem propriedades físicas, características e funções diferentes na composição dos tubos, podendo, assim, serem assentados em menores profundidades ou em locais com tráfego de caminhões bastante elevado.

Os tubos de PRFV possuem características bastante eficientes para implantação em sistemas de esgoto. Este material é inerte aos principais agentes corrosivos, é resistente a abrasão e elevadas temperaturas, resistente ao desgaste do tempo e com elevada resistência mecânica.

Os tubos de PRFV para redes de esgoto são disponíveis nos diâmetros de 100mm, 150mm, 200mm, 250mm, 300mm, 350mm, 400mm, 500mm, 600mm, 700mm, 800mm, 900mm, 1000mm, 1100mm, 1200mm, 1300mm, 1400mm, 1500mm e 1600mm. Estes tubos possuem para o número n de Manning um valor igual a 0,009 e podem ser fabricados, também, com duplo anel de borracha, o que garante maior estanqueidade ao tubo.

Figura 9 – Tubos de PRFV



Fonte: Tubos e Conexões em PRFV e RPVC – Catálogo de Produto – Petrofisa. Em 25/09/2011

i) Tubo de PEAD

Os tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) estão entrando agora no mercado brasileiro para atender a demanda em redes coletoras de esgoto. Estes tubos foram inseridos no mercado brasileiro em sistemas de esgoto para atender a demandas que necessitem de tubos hidráulicamente eficientes e elevados diâmetros, estando no mercado para competir com o concreto e o PRFV.

Este tubo está sendo fabricado para redes coletoras de esgoto com sua parte externa corrugada, proporcionando, assim, uma maior resistência a cargas externas. A leveza deste tubo também proporciona uma vantagem elevada ao assentamento dos tubos, garantindo uma maior velocidade na instalação e, conseqüentemente, menor custo para a obra. É um tubo resistente à abrasão e quimicamente inerte. Além destas características, estes tubos possuem elevada eficiência hidráulica, devido ao seu baixo número de Manning, estanqueidade, devido ao sistema de juntas elásticas, baixo custo do material e elevada vida útil, podendo atingir até 75 anos, de acordo com teste realizados nos Estados Unidos.

Os tubos de PEAD para redes de esgoto são disponíveis nos diâmetros de 450mm, 600mm, 750mm, 900mm, 1050mm e 1200mm. Estes tubos possuem para o número n de Manning um valor igual a 0,009.

Figura 10 – Tubos de PEAD



Fonte: Catálogo Tigre-ADS – Linha de Produtos – Sistemas de Saneamento. Em 25/09/2011

2.8.2. Órgãos acessórios em redes coletoras de esgoto

De acordo com Nuvolari (2009), órgãos acessórios de redes coletoras de esgoto são dispositivos fixos desprovidos de equipamentos mecânicos. De acordo com Tsutiya & Sobrinho (1999), os órgãos acessórios devem ser utilizados em todos os pontos singulares da rede, como início de coletores, nas mudanças de direção, diâmetro, declividade e de material e no início de coletores. A distância máxima permitida entre os órgão acessórios da rede, de acordo com a NBR 9649, deve ser limitada pelo alcance dos equipamentos de desobstrução, geralmente são utilizados valores de 80m a 100m de distância. Os órgãos acessórios utilizados nas redes coletoras de esgoto são:

- Poços de visita (PV);
- Terminais de limpeza (TL);
- Tubos de inspeção e limpeza (TIL);
- Caixas de passagem (CP);
- Tubo de queda (Tq);
- Degrau (Dg).

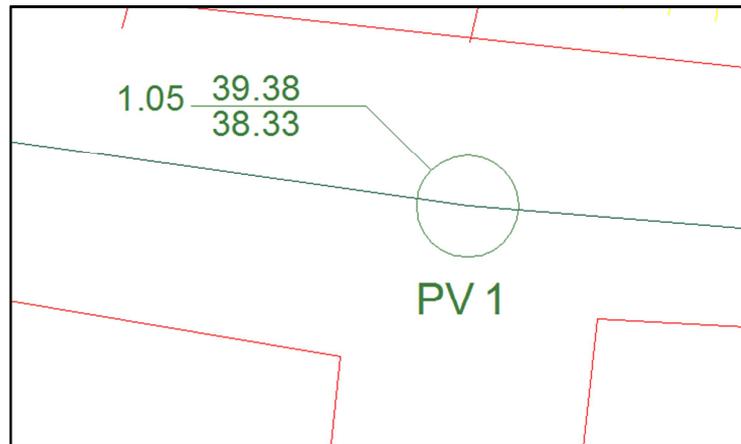
a) Poços de Visita (PV)

De acordo com a NBR 9649, os poços de visita são câmaras visitáveis através de abertura existente em sua parte superior, destinados à execução de trabalhos de manutenção na rede coletora de esgoto. Deve-se utilizar obrigatoriamente um poço de visita nos casos onde há:

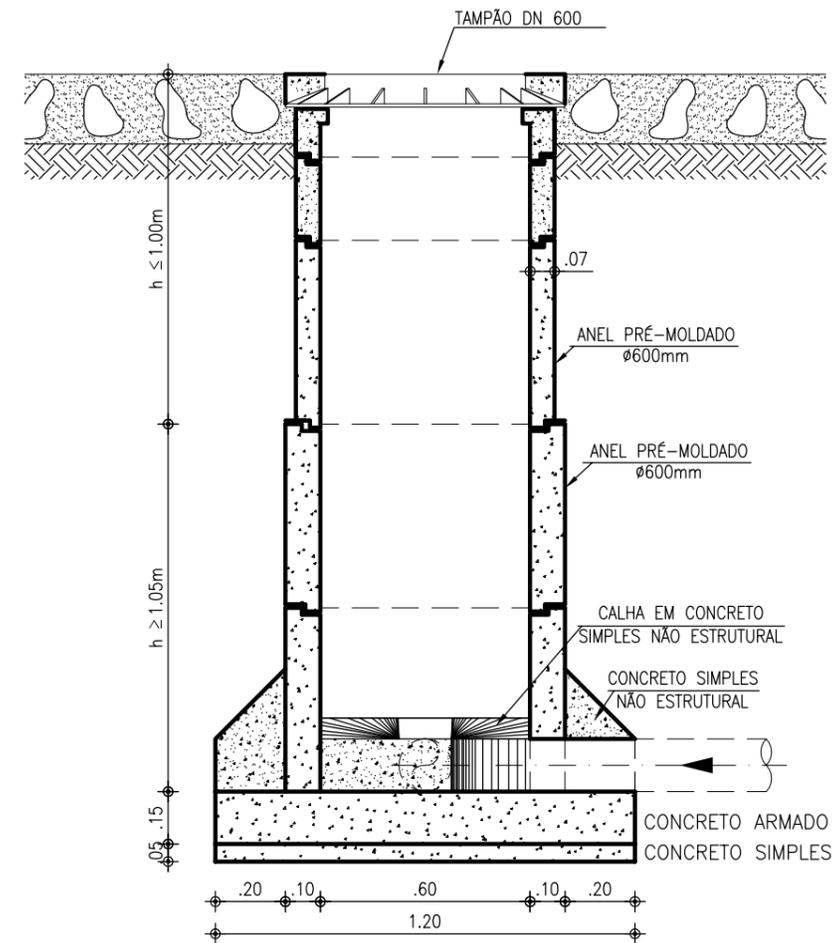
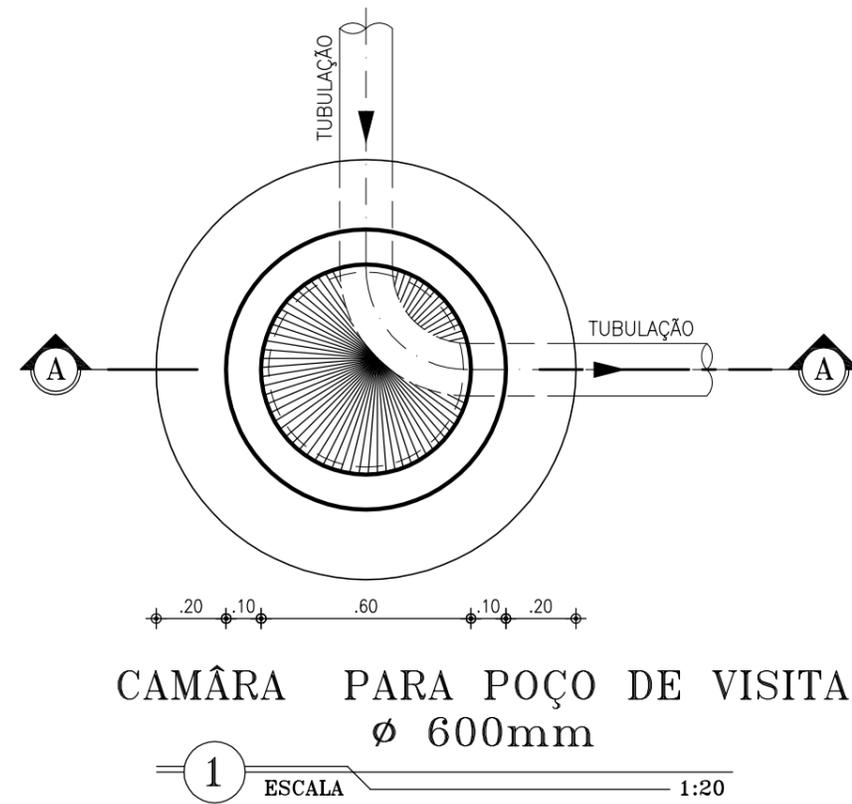
- Reunião de mais de dois trechos ao coletor;
- Reunião que exige tubo de queda;
- Extremidades de sifões invertidos e passagens forçadas;
- Profundidades maiores que 3,00 metros.

A **Figura 11** a seguir mostra a representação de um poço de visita em planta, traçado pelo UFC9. Os poços de visita podem ser vistos em diâmetros de 600mm, 1000mm ou 1200mm, de acordo com a necessidade e utilidade do poço, como podem ser vistos nas **Figura 12**, **Figura 13** e **Figura 14**, respectivamente.

Figura 11 – Representação de um PV no UFC9

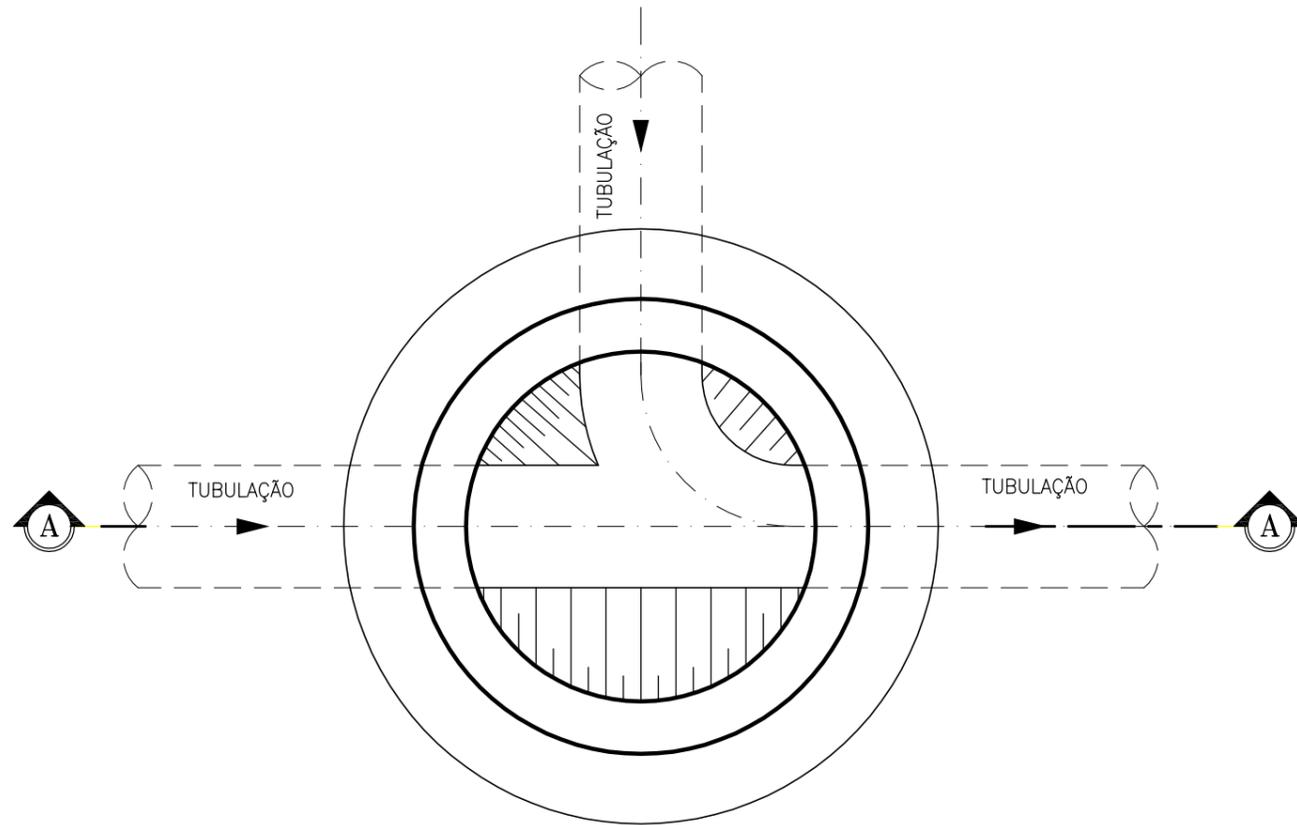


POÇO DE VISITA - ϕ 600mm



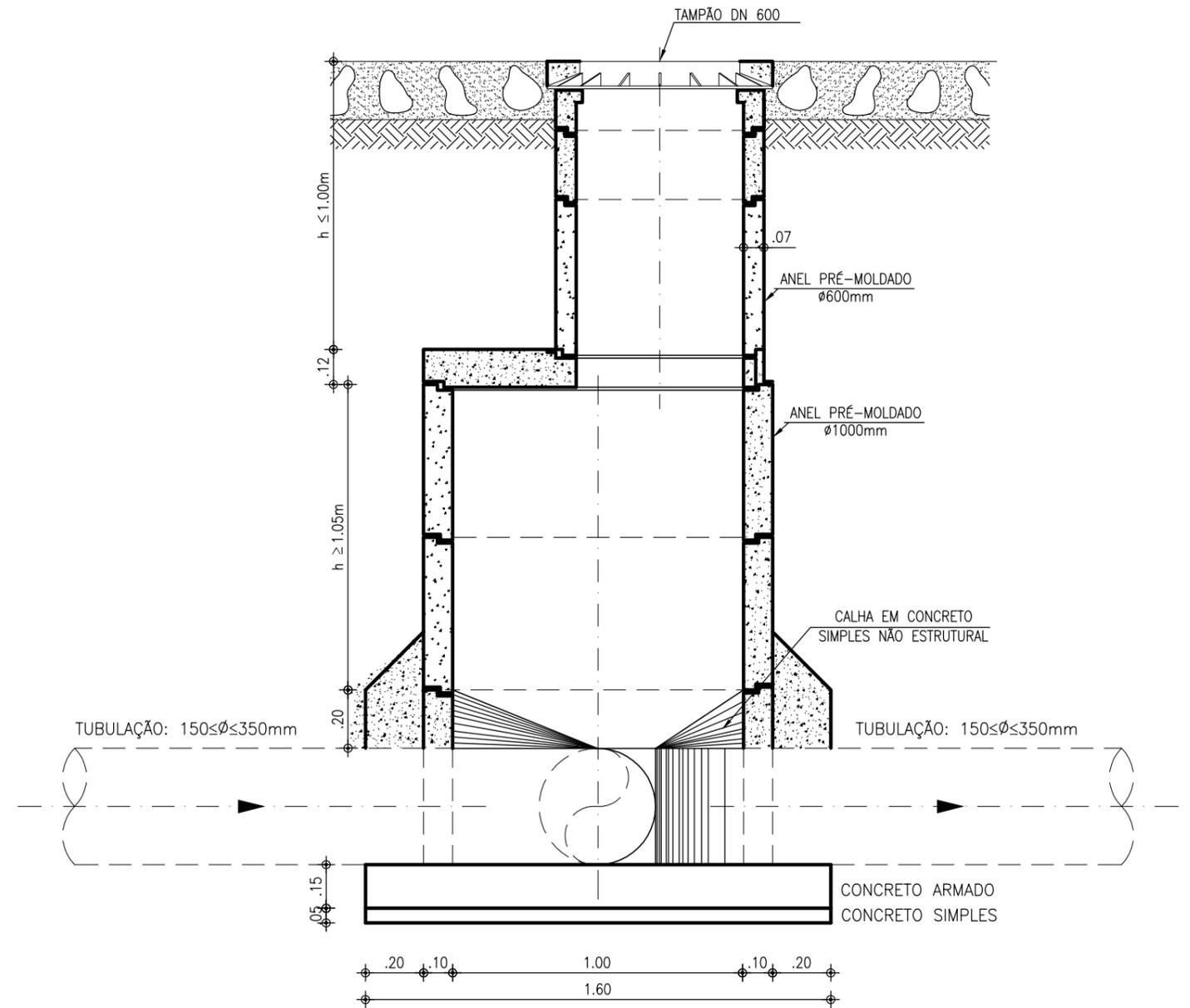
PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	12 - POÇO DE VISITA Ø600MM	ESCALA:	INDICADA
PÁGINA:	66	DATA:	NOV/2011

POÇO DE VISITA ϕ 1000mm



CAMÂRA PARA POÇO DE VISITA
 ϕ 1000mm

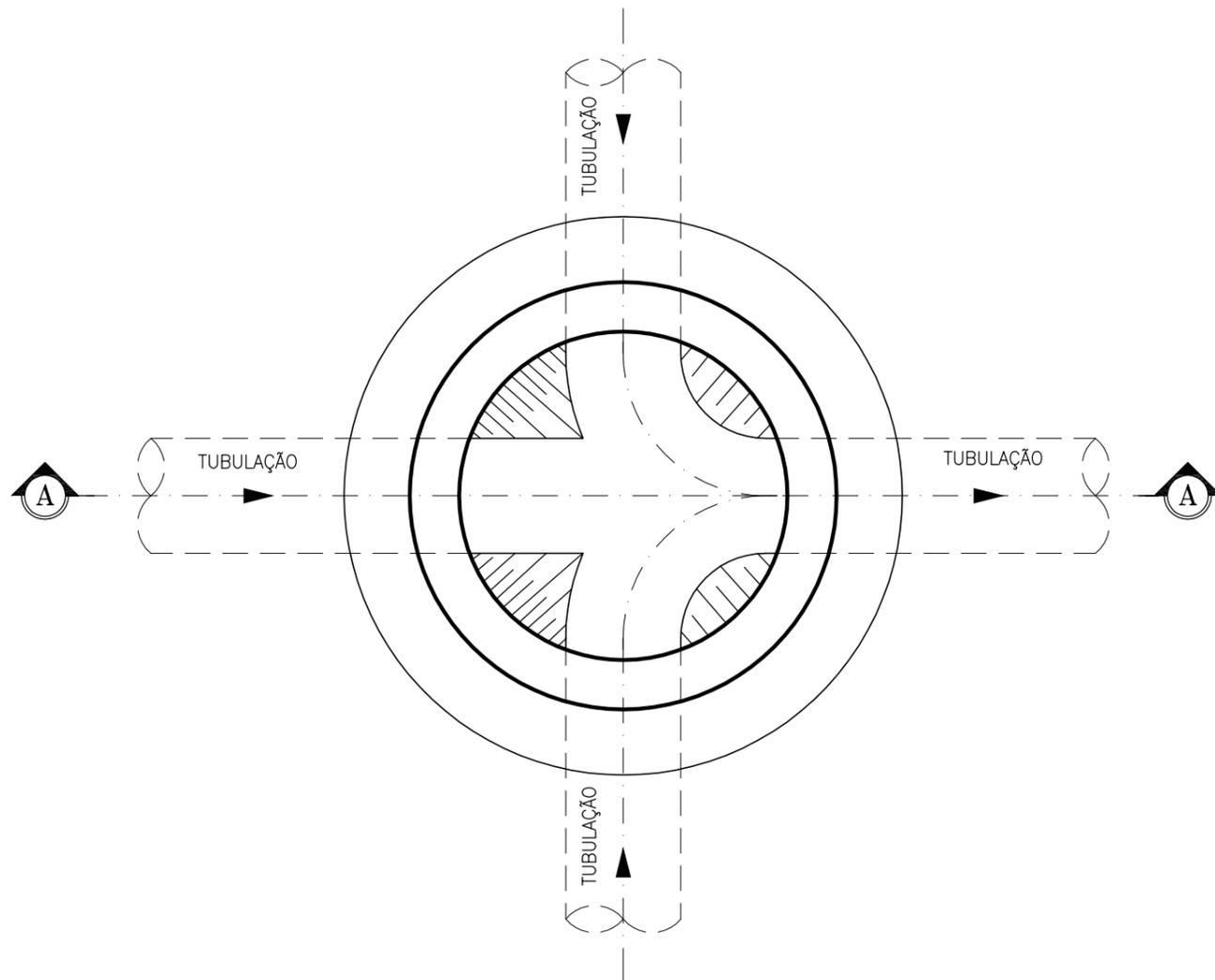
1 ESCALA 1:20



2 CORTE - AA
ESCALA 1:20

PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	13 - POÇO DE VISITA ϕ 1000MM	ESCALA:	INDICADA
PÁGINA:	67	DATA:	NOV/2011

POÇO DE VISITA ϕ 1200mm

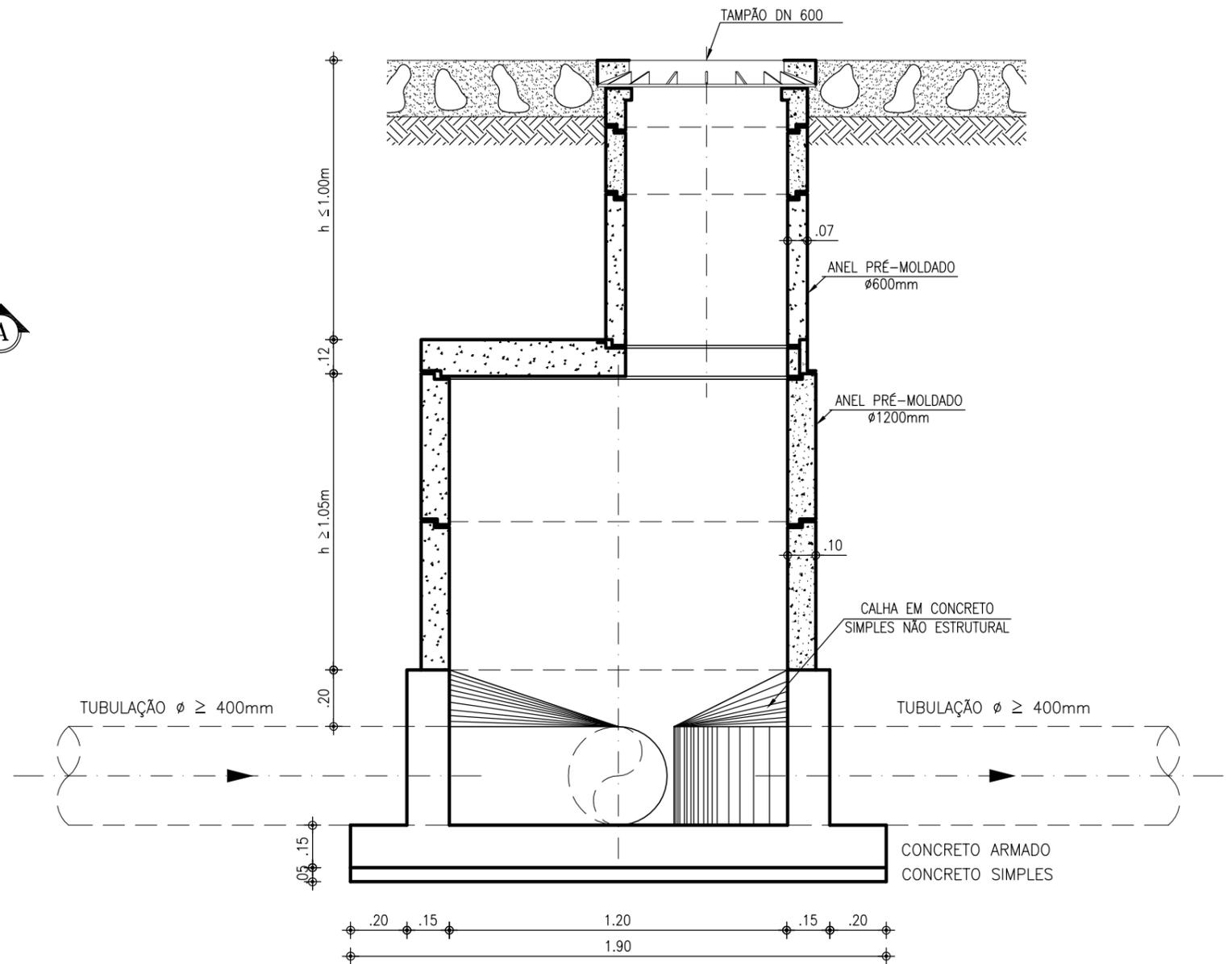


CAMÂRA PARA POÇO DE VISITA
 ϕ 1200mm

1

ESCALA

1:20



2 CORTE - AA
ESCALA 1:20

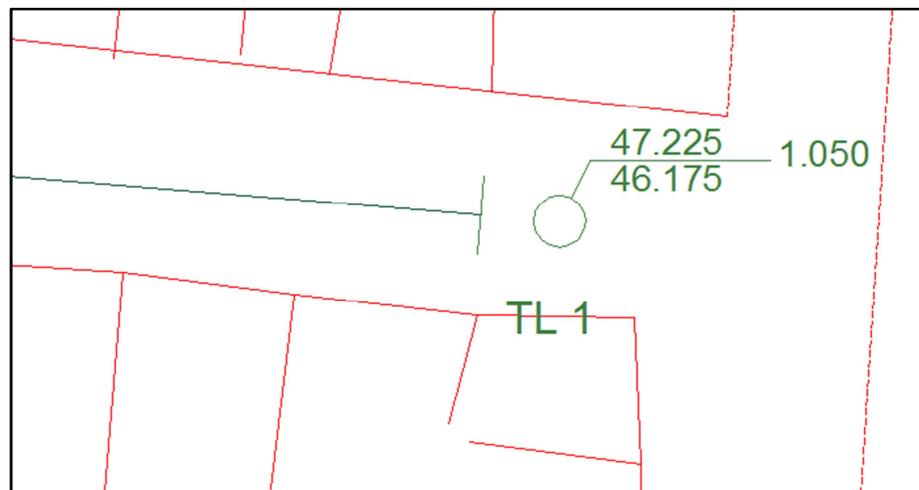
PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	14 - POÇO DE VISITA ϕ 1200MM	ESCALA:	INDICADA
PÁGINA:	68	DATA:	NOV/2011

b) Terminais de Limpeza (TL)

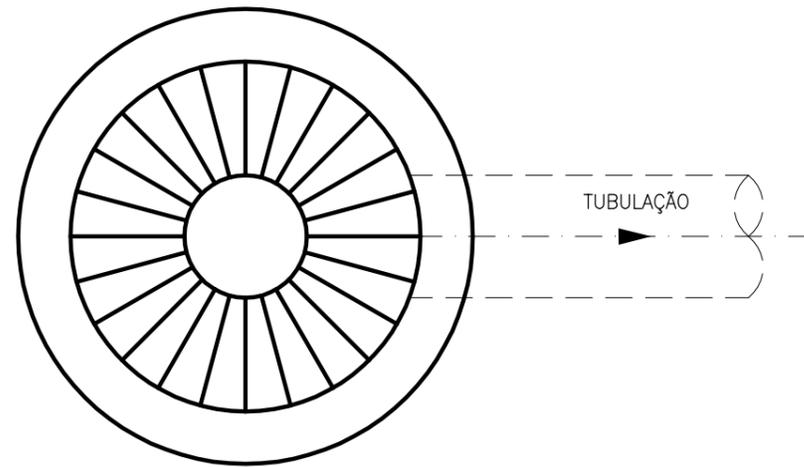
De acordo com a NBR 9649, os terminais de limpeza são dispositivos que permitem introdução de equipamentos de limpeza, localizados na cabeceira de qualquer coletor.

A **Figura 15** a seguir mostra a representação de um terminal de limpeza em planta, traçado pelo UFC9.

Figura 15 – Representação de um TL no UFC9



TERMINAL DE LIMPEZA

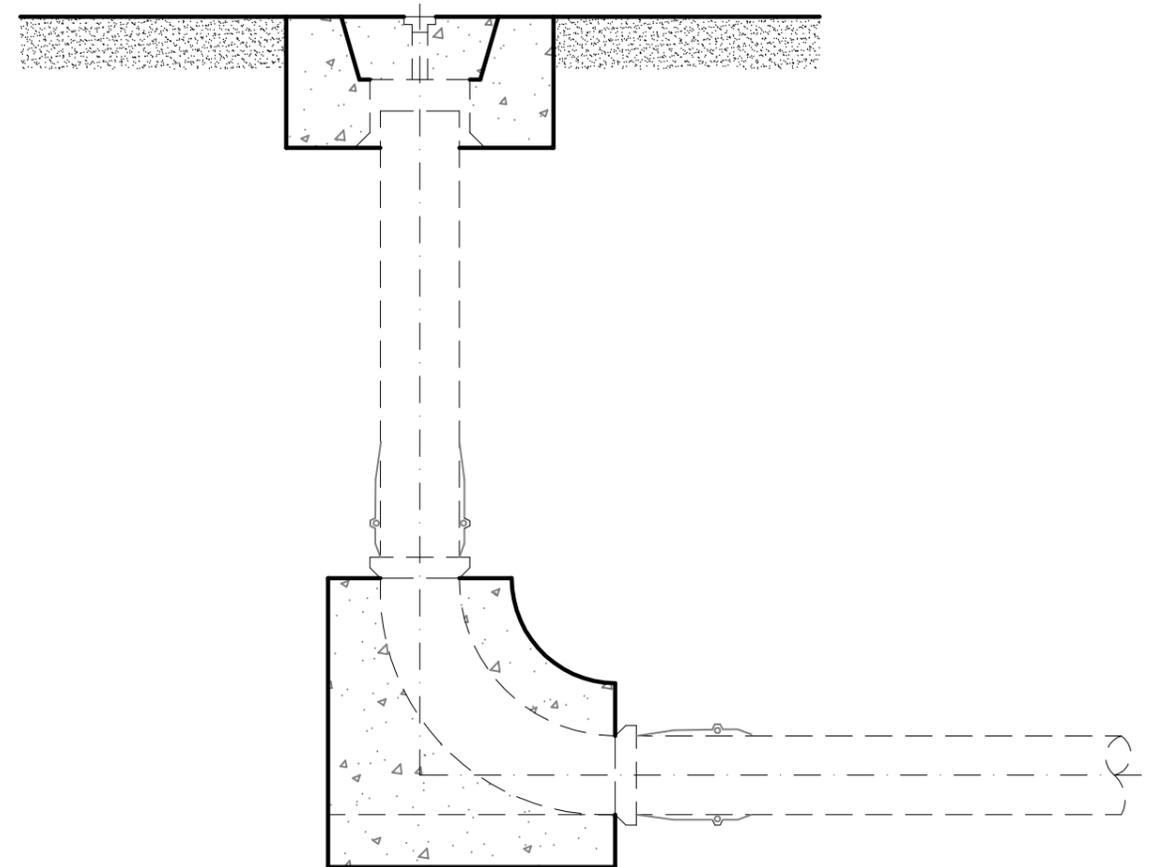


TERMINAL DE LIMPEZA –
PLANTA

1

ESCALA

S/ ESCALA



TERMINAL DE LIMPEZA –
CORTE

2

ESCALA

S/ ESCALA

PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	16 - TERMINAL DE LIMPEZA	ESCALA:	INDICADA
PÁGINA:	70	DATA:	NOV/2011

c) Tubos de Inspeção e Limpeza (TIL)

De acordo com a NBR 9649, os tubos de inspeção e limpeza são dispositivos não visitáveis que permitem inspeção e introdução de equipamentos de limpeza.

Pode-se utilizar um tubo de inspeção e limpeza (TIL) ao invés de um poço de visita nos casos onde há:

- Reunião de até dois trechos ao coletor;
- Degrau com altura inferior a 0,50 metro;
- Ligações prediais cujas contribuições podem acarretar problema de manutenção.

Figura 17 – Representação de um TIL no UFC9

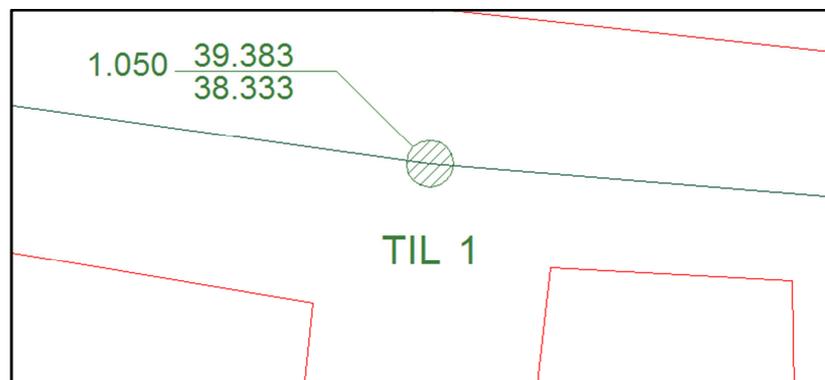


Figura 18 - TIL

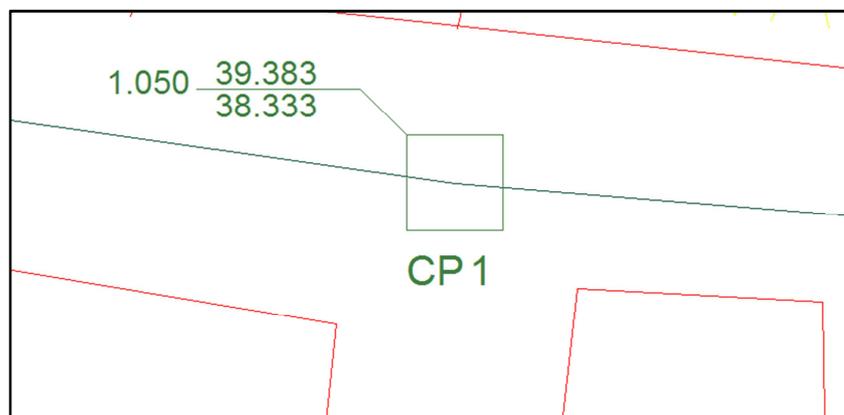


d) Caixas de Passagem (CP)

De acordo com a NBR 9649, as caixas de passagem são câmaras sem acesso localizadas em pontos singulares por necessidade construtiva.

Garantidas as condições de acesso de equipamento para limpeza do trecho a jusante, pode ser usada caixa de passagem (CP) em substituição a poço de visita (PV), nas mudanças de direção, declividade, material e diâmetro, quando possível a supressão de degrau.

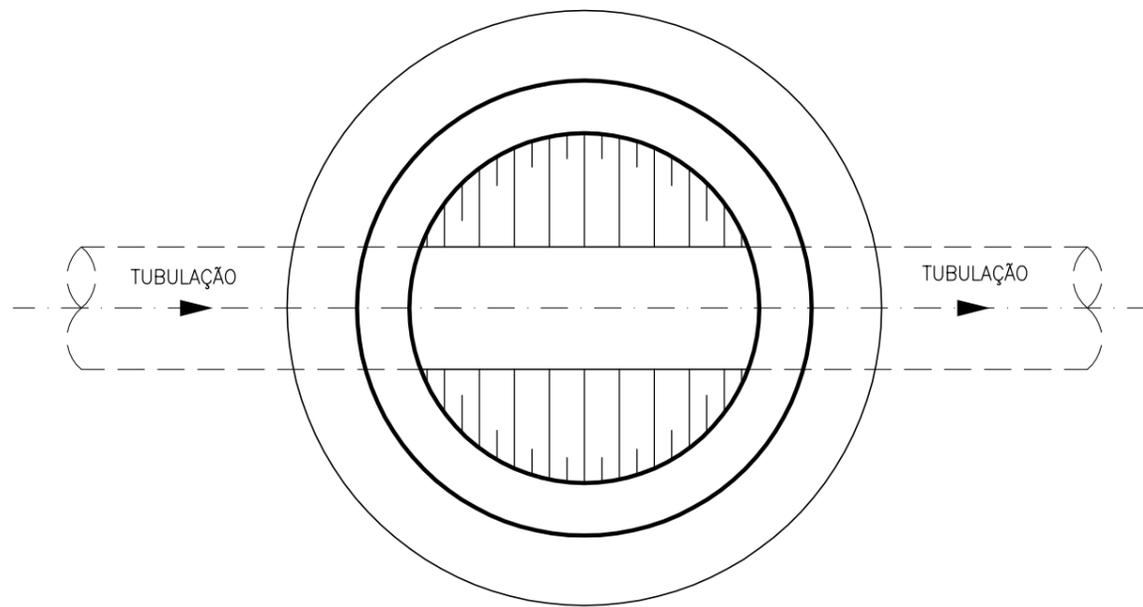
Figura 19 – Representação de uma CP no UFC9



e) Tubos de Queda (Tq)

De acordo com a NBR 9649, um tubo de queda é um dispositivo instalado no poço de visita (PV), ligando um coletor afluente ao fundo do poço. Este dispositivo deve ser instalado quando o coletor afluente apresentar degrau com altura maior ou igual a 0,50 m.

TUBO DE QUEDA

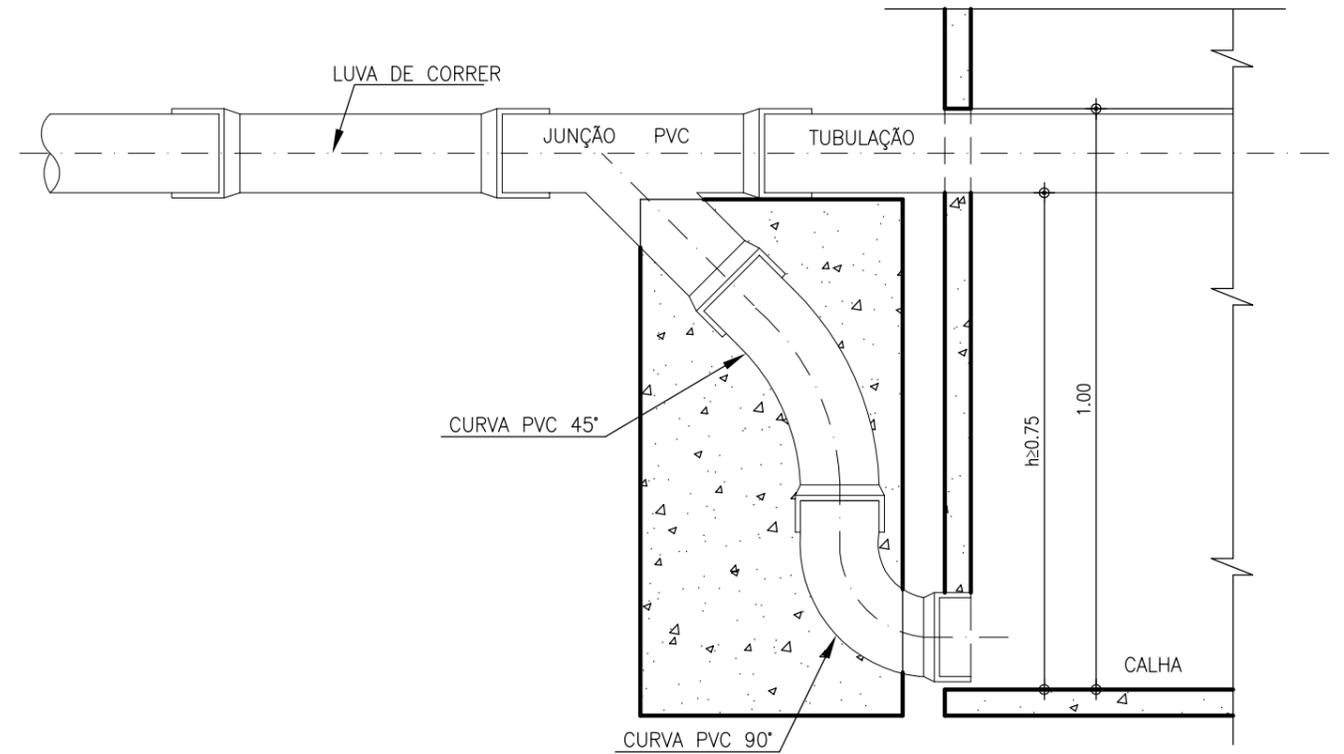


TUBO DE QUEDA – PLANTA

1

ESCALA

S/ ESCALA



TUBO DE QUEDA – CORTE

2

ESCALA

S/ ESCALA

PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	20 - DETALHE DO TUBO DE QUEDA	ESCALA:	INDICADA
PÁGINA:	73	DATA:	NOV/2011

f) Degraus (Dg)

Os degraus são elementos da rede coletora que indicam que o tubo coletor chega ao órgão acessório numa cota superior ao seu fundo. Quando a diferença de cotas entre o tubo de chegada e o tubo de saída do órgão acessório é superior a 0,50 m, instala-se um tubo de queda.

Os degraus são bastante utilizados no dimensionamento de redes coletoras de esgoto para evitar que ocorra o remanso.

2.8.3. Interferências e travessias em redes coletoras de esgoto

A instalação de redes coletoras de esgoto pode não ser simples. O ideal para um bom assentamento de tubos é que não haja interferências no seu traçado como tubos de drenagem ou outros tubos já existentes no momento do assentamento dos tubos de esgoto e que não haja travessias a serem construídas através de métodos não destrutivos como em rodovias bastante movimentadas, em trilhos de trem ou em rios.

Por este motivo, é importante sempre haver o levantamento de dados sobre o cadastro de tubulações, vias, rodovias, trilhos de trem, rios e outros elementos nas áreas de projeto do sistema de esgotamento sanitário, já que a declividade do trecho deve sempre ser obedecida na hora do assentamento do tubo.

Com os dados coletados, pode-se dimensionar a rede para atender as cotas necessárias para atravessar as interferências ou travessias previstas em projeto.

A **Figura 21** a seguir mostra a solução adotada na implantação do sistema de esgotamento sanitário do Porto das Dunas, no município de Aquiraz no estado do Ceará.

Figura 21 – Interferência encontrada na obra do Porto das Dunas



Na **Figura 21** podemos observar que o traçado do tubo de esgoto passou por dentro de uma manilha de concreto para drenagem da via local. Este problema foi encontrado devido à interferência não ter sido prevista em projeto. A solução adotada em campo foi a demolição de parte da manilha de concreto, permitindo, assim, a passagem do tubo de esgoto por dentro desta, a instalação de forma de madeira logo abaixo do tubo de esgoto, instalação de armadura de aço por cima do tubo de esgoto e a concretagem da manilha, ficando parte do tubo de PVC envolto por concreto.

Esta não é uma boa solução, nem do ponto de vista hidráulico e nem do ponto de vista ambiental, já que, dessa forma, a seção da manilha de concreto é diminuída, podendo causar alterações no sistema existente de drenagem e, além disso, a concretagem considerada não permitirá a retirada da forma de madeira da manilha, o que causará o apodrecimento da mesma dentro do sistema de drenagem, alterando as características da água e, com o tempo, a madeira cairá no sistema e será levada ao destino final da drenagem, além de poder barrar a manilha em algum ponto.

No entanto, apesar dos problemas hidráulicos e ambientais, por se tratar de um sistema de drenagem pequeno, contendo apenas a tubulação cortada e, não ser possível diminuir a cota do trecho de esgoto, a solução citada foi adotada.

2.8.4. Custos em redes coletoras de esgoto

De acordo com Tsutiya & Sobrinho (1999), em 1980, a SABESP realizou levantamento dos custos de implantação de redes de esgotamento sanitário, obtendo como maiores pesos no custo total da obra, respectivamente, os seguintes itens:

- Escoramento de valas;
- Poços de visita;
- Escavação de valas;
- Reaterro de valas;
- Reposição de pavimentos.

O item escoramento de valas possui um custo bastante elevado quando comparado aos outros itens do sistema. Dessa forma, durante a execução da obra, é comum os empreiteiros quererem realizar escavações de valas em taludes, considerando com que, dessa forma, não haja como existir assoreamento de terra na vala, não havendo motivo para escorar.

No entanto, ao escavar valas em taludes, valas que deveriam ter de 1,00m a 1,20m de largura passam a ter de 3,00m a 4,00m de largura, dependendo da profundidade de projeto, causando grandes impactos visuais, além de transtornos por interdição das vias.

A NBR 9814 recomenda que os taludes das escavações de profundidade superior a 1,50 m devem ser escorados com peças de madeira ou perfis metálicos, assegurando estabilidade de acordo com a natureza do solo. Entretanto, visando o lucro, as empreiteiras não costumam respeitar essa recomendação.

2.9. Hidráulica para Redes Coletoras de Esgoto

2.9.1. Tipo de escoamento

As redes coletoras de esgoto trabalham utilizando a energia gravitatoria, ou seja, escoam em forma de canais, ou seja, em superfície livre, sempre com a pressão atmosférica atuando no sistema.

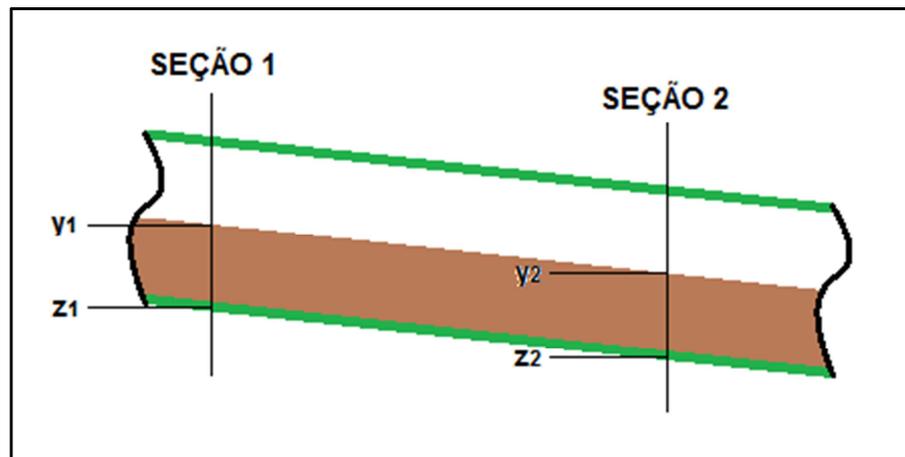
Para o cálculo dos trechos de esgotamento sanitário, é considerado que cada trecho funciona em regime permanente e uniforme.

De acordo com Porto (2006), o escoamento permanente é aquele em que as propriedades e características hidráulicas, em cada ponto do espaço, são invariantes no tempo e, o escoamento uniforme é aquele no qual o vetor velocidade, em módulo, direção e sentido, é idêntico em todos os pontos, em um instante qualquer.

2.9.2. Equação de Bernoulli

Para um escoamento permanente e uniforme podemos utilizar a Equação de Bernoulli para representar a energia em pontos distintos de um trecho, de acordo com a **Figura 22** a seguir:

Figura 22 – Indicação das seções em um trecho



A **Equação 15** a seguir mostra que a energia na seção 1 é igual a energia na seção 2 somado às perdas de carga encontradas entre 1 e 2.

$$y_1 + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_{12}$$

(15)

Onde:

- y_1 é a lâmina d'água na seção 1 [L];
- z_1 é a cota do terreno na seção 1 [L];
- V_1 é a velocidade na seção 1 [L];
- y_2 é a lâmina d'água na seção 2 [L];
- z_2 é a cota do terreno na seção 2 [L];
- V_2 é a velocidade na seção 2 [L]/[T];
- g é a aceleração da gravidade [L]/[T]²;
- ΔH_{12} é a perda de carga entre a seção 1 e a seção 2 [L].

2.9.3. Equação da continuidade

Conforme Mendonça (1987 apud Rodrigues 2006), se o líquido que escoar em um tubo é incompressível e a densidade desse fluido é constante, o volume do líquido que entra deve ser igual ao que sai, ou seja, a vazão em qualquer seção transversal do conduto é constante, como mostra a **Equação 16**.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \tag{16}$$

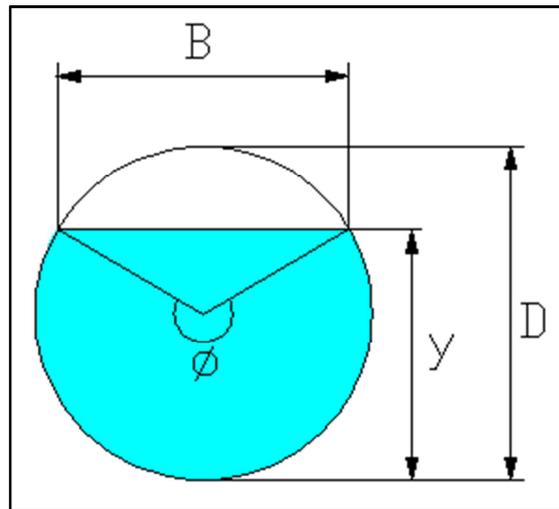
Onde:

- Q é a vazão no trecho [L]³/[T];
- A₁ é a área molhada da seção 1 [L]²;
- V₁ é a velocidade do escoamento na seção 1 [L]/[T];
- A₂ é a área molhada da seção 2 [L]²;
- V₂ é a velocidade do escoamento na seção 2 [L]/[T];

2.9.4. Geometria dos tubos de esgoto

Os tubos utilizados nos sistemas de esgotamento sanitário são tubos de seções circulares. De acordo com a **Figura 23** a seguir, são apresentados os principais elementos de um tubo coletor de esgoto de seção circular.

Figura 23 – Seção circular de um tubo de esgoto.



$$A = D^2 \frac{[\phi - \text{sen}(\phi)]}{8} \quad (17)$$

$$P = \frac{\phi D}{2} \quad (18)$$

$$R_H = \frac{D \left[1 - \frac{\text{sen}(\phi)}{\phi} \right]}{4} \quad (19)$$

$$y = D \frac{\left[1 - \frac{\text{cos}(\phi)}{2} \right]}{2} \quad (20)$$

$$\phi = 2 \arccos \left(1 - \frac{2y}{D} \right) \quad (21)$$

$$B = D \text{sen} \left(\frac{\phi}{2} \right) \quad (22)$$

Onde:

- A é área molhada da seção [L]²;
- D é o diâmetro do tubo [L];
- P é o perímetro molhado da seção [L];
- R_H é o raio hidráulico da seção [L];
- B é a largura da linha d'água da seção [L];
- y é a lâmina d'água da seção [L];
- \varnothing é o ângulo central da lâmina d'água [L].

2.9.5. Tensão trativa

De acordo com Tsutiya & Sobrinho (1999), a tensão trativa ou tensão de arraste é definida como uma tensão tangencial exercida sobre a parede do conduto pelo líquido em escoamento, ou seja, é a componente tangencial do peso do líquido sobre a unidade de área da parede do coletor e que atua sobre o material sedimentado, promovendo seu arraste.

$$\tau = \gamma R_H I$$

(23)

Onde:

- τ é a tensão trativa $[M]/[L][T]^2$;
- γ é o peso específico do líquido $[M]/[L]^2[T]^2$
- R_H é o raio hidráulico da seção $[L]$;
- I é a declividade do trecho.

De acordo com Nuvolari (2009), antes do conceito de tensão trativa, era usual adotar-se a relação de enchimento y/D igual a 0,50, ou seja, meia seção do tubo, e velocidade de 0,60 m/s. Dessa forma, a declividade considerada para cada diâmetro era de acordo com a **Tabela 1** mostrada a seguir:

Tabela 1 – Declividades mínimas consideradas antes do conceito de tensão trativa.

DN(mm)	I (m/m)	DN(mm)	I (m/m)
150	0,0070	500	0,0015
200	0,0050	600	0,0010
250	0,0035	700	0,0008
300	0,0025	800	0,0006
350	0,0023	900	0,0005
400	0,0020	1000	0,0005
450	0,0018	1200	0,0005

Fonte: Nuvolari (2009)

2.9.6. Número de Froude e energia específica

Segundo Porto (2006), o número de Froude é um adimensional muito utilizado em estudos de canais, definido como a raiz quadrada da relação entre a força de inércia e a força de gravidade.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gH_m}} \quad (24)$$

Onde:

- Fr é o número de Froude;
- g é a aceleração da gravidade [L]/[T]²;
- V é a velocidade média na seção [L]/[T];
- H_m é a altura hidráulica da seção[L].

De acordo com Porto (2006), em 1912, Bakmeteff introduziu o conceito de energia específica como sendo a energia disponível em uma seção, tomando como plano de referência um plano horizontal passando pelo fundo do canal, naquela seção. Em outras palavras, a energia específica é a distância vertical entre o fundo do canal e a linha de energia, ou seja, é a soma da altura da lâmina d'água com a energia cinética.

$$E = y + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (25)$$

Onde:

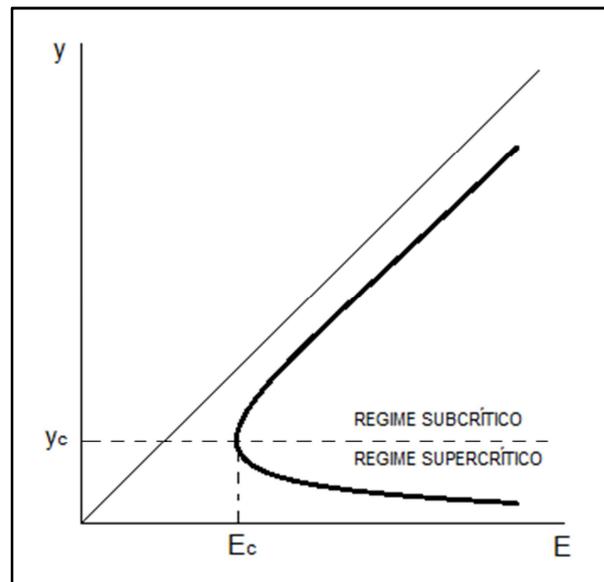
- E é a energia específica [L];
- y é a altura da lâmina d'água [L];
- α é um adimensional que de acordo com dados experimentais (Porto, 2006) varia de 1,03 a 1,36.

O número de Froude é relacionado com a energia específica para classificar os escoamentos livres em três tipos, de acordo com o resultado da **Equação 26** e como mostra a **Figura 24** a seguir:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - Fr^2$$

(26)

Figura 24 – Equação da energia



A análise dos resultados diz que os três tipos de escoamento podem ser definidos como:

- Escoamento subcrítico ou fluvial: ocorre quando a variação da energia específica na seção em relação à lâmina d'água é maior que zero, ou seja, $Fr < 1$;
- Escoamento supercrítico ou torrencial: ocorre quando a variação da energia específica na seção em relação à lâmina d'água é menor que zero, ou seja, $Fr > 1$;
- Escoamento crítico: ocorre quando a variação da energia específica na seção em relação à lâmina d'água é igual a zero, ou seja, $Fr = 1$

2.9.7. Equações de Chézy e Manning

De acordo com Tsutiya & Sobrinho (1999), as fórmulas estabelecidas para o escoamento de condutos livres baseiam-se na própria expressão de Chézy.

$$V = C\sqrt{R_H I} \quad (27)$$

Onde:

- V é a velocidade média do escoamento [L]/[T];
- C é o coeficiente de Chézy;

O coeficiente C de Chézy é empírico e, há formulações para sua dedução que dependem de vários parâmetros como parede do tubo e até declividade.

Segundo Tsutiya & Sobrinho (1999), Manning, em 1980, obteve uma expressão para o coeficiente de Chézy que depende da rugosidade da parede do tubo e do raio hidráulico.

$$C = \frac{R_H^{1/6}}{n} \quad (28)$$

Onde:

- n é o coeficiente de rugosidade de Manning [T]/[L]^{1/3};

Assim sendo, a expressão mais utilizada para o cálculo de canais livres é a equação de Manning apresentada a seguir:

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} I^{1/2}$$

(29)

O número de Manning n é considerado para cada material como já citado. A **Tabela 2** a seguir mostra um resumo dos coeficientes de Manning para cada material:

Tabela 2 – Coeficientes de Manning de acordo com os materiais considerados.

Material dos condutos	n de Mannig [T]/[L]^{1/3}
Cerâmica	0,013
Cimento amianto	0,011
Ferro fundido	0,012
Aço	0,011
Concreto	0,013
PVC	0,010
PRFV	0,009
PEAD	0,009

2.10. Critérios e Considerações para o Dimensionamento de Redes Coletoras de Esgoto

2.10.1. Parâmetros físicos do esgoto

De acordo com Nuvolari (2009), o esgoto doméstico é um líquido cuja composição é de, aproximadamente:

- 99,87% de água;
- 0,04% de sólidos sedimentáveis;
- 0,02% de sólidos não sedimentáveis;
- 0,07% de substâncias dissolvidas.

Por ser composto de água em sua maioria, suas propriedades físicas consideradas em projeto são as mesmas da água, sendo considerado nos cálculos que o líquido que escoar nas redes coletoras de esgoto é água, e suas principais características para a temperatura de 20°C são:

- Massa específica: $998,23 \text{ [M]/[L]^3}$;
- Peso específico: $9.782,654 \text{ [M]/[L]^2[T]^2}$;
- Módulo de elasticidade: $2.107 \cdot 10^3 \text{ [M]/[L]^2[T]^2}$;
- Viscosidade dinâmica: $1,007 \text{ [M]/[L]^2[T]^2} \cdot [T] \cdot 10^{-3}$;
- Viscosidade cinemática: $1,009 \text{ [L]^2/[T]} \cdot 10^{-6}$;
- Tensão de vapor: $2.337,7 \text{ [M]/[L]^2[T]^2}$.

2.10.2. Vazão mínima considerada

De acordo com as normas NBR 9649 e NBR 14486, recomenda-se como o menor valor de vazão 1,5 L/s a ser considerada em qualquer trecho. Este valor de vazão é equivalente a uma descarga hidráulica.

2.10.3. Número de Manning

As normas NBR 9649 e NBR 12207 recomendam que os trechos de rede coletora e de interceptores devem ser calculados para o número de Manning de $0,013 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, independente do material utilizado, e que, para coeficiente de Manning diferente de $0,013 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, os valores de tensão trativa média e declividade mínima a adotar devem ser justificados.

Já a NBR 14486 diz que, sendo utilizado o PVC para toda a rede coletora, pode-se utilizar o coeficiente de Manning igual a $0,010 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, e que, para coeficiente de Manning diferente de $n = 0,010$, os valores da tensão trativa média e da declividade mínima a adotar devem ser justificados.

2.10.4. Diâmetro mínimo

A NBR 9649 recomenda que o menor diâmetro considerado na rede não seja inferior a 100mm. É aconselhado que o menor diâmetro considerado na rede seja de 150mm.

2.10.5. Recobrimento mínimo

De acordo com a NBR 14486, o recobrimento mínimo admissível é de 0,90 m para coletor assentado no leito da via de tráfego, ou de 0,65 m para coletor assentado no passeio.

2.10.6. Tensão trativa mínima

De acordo com a NBR 9649, cada trecho da rede coletora deve ser verificado pelo critério de tensão trativa média de valor mínimo 1,0 Pa, calculada para vazão de início de plano, para coeficiente de Manning $n = 0,013 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

Já a NBR 14486 permite que sejam aceitos que a rede coletora em PVC atenda ao critério da tensão trativa com valor mínimo de 0,6 Pa, calculada para vazão de início de plano, para coeficiente de Manning $n = 0,010 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

Para interceptores, de acordo com a NBR 12207, a tensão trativa mínima deve ser 1,5 Pa, calculada para vazão de início de plano, para coeficiente de Manning $n = 0,013 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$.

2.10.7. Declividade mínima

Para atender ao critério da tensão trativa, é necessário considerar uma declividade mínima que atenda ao valor desejado de tensão em trecho que transporta a vazão mínima.

As **Equação 30**, **Equação 31** e **Equação 32**, apresentam a expressão para o cálculo da declividade mínima para: redes de esgoto com n de Manning igual a 0,013, de acordo a norma NBR 9649; redes de esgoto em PVC com n de Manning

igual a 0,010, de acordo a norma NBR 14486; e interceptores de esgoto com n de Manning igual a 0,013, de acordo a norma NBR 12207, respectivamente.

$$I_{\min} = 0,0055 Q_i^{-0,47} \quad (30)$$

$$I_{\min} = 0,0035 Q_i^{-0,47} \quad (31)$$

$$I_{\min} = 0,00035 Q_i^{-0,47} \quad (32)$$

Onde:

— I_{\min} é a declividade mínima a ser adotada no trecho;

— Q_i é a vazão de início de plano (L/s).

2.10.8. Declividade máxima

De acordo com a NBR 9649, a máxima declividade admissível é aquela para a qual se tenha uma velocidade para final de plano igual a 5 m/s. Tsutiya & Sobrinho (1999) apresentam a expressão aproximada para essa declividade, considerando n de Manning igual a 0,013.

$$I_{\max} = 4,65Q_f^{-0,67} \quad (33)$$

Onde:

- I_{\max} é a declividade máxima permitida no trecho;
- Q_f é a vazão de final de plano (L/s).

2.10.9. Lâmina d'água máxima permitida

De acordo com a NBR 9649, as lâminas d'água devem ser sempre calculadas admitindo o escoamento em regime uniforme e permanente, sendo o seu valor máximo, para vazão de final de plano, igual ou inferior a 75% do diâmetro do coletor.

Seguindo as diretrizes da mesma norma, quando a velocidade final for superior à velocidade crítica, a maior lâmina admissível deve ser 50% do diâmetro do coletor, assegurando-se a ventilação do trecho.

Para ser realizada tal conferência, a velocidade crítica deve ser calculada para todos os trechos da rede de acordo com a **Equação 34** a seguir:

$$V_c = 6\sqrt{g R_H}$$

(34)

Onde:

— V_c é a velocidade crítica no trecho (m/s);

2.10.10. Controle de remanso

Segundo a NBR 9649, sempre que a cota do nível d'água na saída de qualquer PV ou TIL está acima de qualquer das cotas dos níveis d'água de entrada, deve ser verificada a influência do remanso no trecho de montante, devendo ser analisada a necessidade da instalação de degrau ou não.

3. Metodologia

3.1. Descrição geral

A necessidade da diminuição do tempo de execução e da melhoria da qualidade técnica e de apresentação das atividades de engenharia, de um modo geral, nos dias atuais faz com que sejam, cada vez mais, utilizados programas computacionais para o desenvolvimento e acompanhamento dessas atividades.

Na elaboração de projetos de redes de esgotamento sanitário não ocorre diferente, há sempre a busca por softwares e outras tecnologias que possam auxiliar no desenvolvimento deste tipo de projeto.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi a elaboração de um software, denominado UFC9, capaz de auxiliar no desenvolvimento de projetos de esgotamento sanitário através do traçado, perfis de coletores, dimensionamento e orçamento de redes coletoras de esgoto. O diferencial deste software é que ele é de simples manuseio e oferece demandas mais complexas como atendimento de casas em cotas baixas e o cálculo para o não cruzamento da rede com obstáculos.

Atualmente, o software mais utilizado para a elaboração de projetos de engenharia é o AutoCAD, devido sua forte atuação na parte gráfica. Dessa forma, este software foi escolhido para ser a base do UFC9, ou seja, o UFC9 é um aplicativo do AutoCAD que utiliza seu ambiente para execução de suas funções.

O programa UFC9 faz parte do sistema UFC desenvolvido no Laboratório de Hidráulica Computacional (LAHC) da Universidade Federal do Ceará.

O UFC9 foi desenvolvido nas linguagens de programação AutoLISP, VBA (Visual Basic for Applications) e VB (Visual Basic), sendo as duas primeiras linguagens internas ao AutoCAD, utilizadas para a elaboração dos elementos gráficos do programa e cálculos mais simples, enquanto que a terceira linguagem de

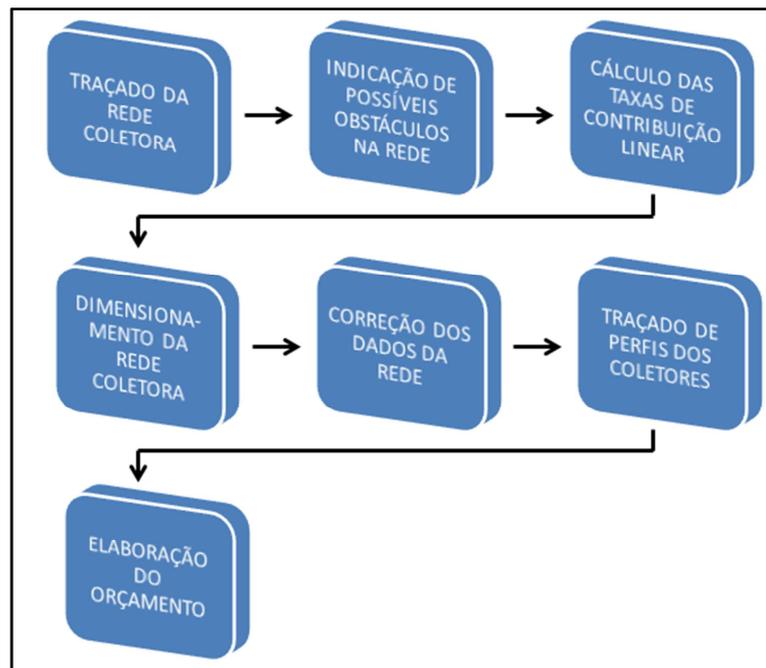
programação citada foi utilizada para a elaboração da planilha de dimensionamento hidráulico e a planilha orçamentária da rede.

Segundo Kramer (1995), o AutoLISP, que tem sua origem a partir da linguagem de programação conhecida como LISP, permite aos seus usuários a possibilidade de personalizar o programa AutoCAD com o objetivo de atender as suas necessidades específicas, para usar melhorias desenvolvidas por terceiros, a fim de possibilitar o desenvolvimento próprio e a posterior comercialização. Com isso, usuários sem experiência em programação descobriram ser possível escrever facilmente algumas linhas de códigos que automatizavam as operações tediosas e repetitivas do AutoCAD.

A grande vantagem da utilização da linguagem de programação VBA foi a sua facilidade na elaboração de caixas de diálogo, o que auxilia no entrosamento do usuário com o software.

O processo de elaboração de projetos com a utilização do software inicia-se com o traçado da rede coletora, como mostra a **Figura 25** a seguir:

Figura 25 – Esquema do método de utilização do UFC9.



O software UFC9 utiliza o programa de cotas, programado em AutoLISP, para o cálculo das cotas de terreno encontradas nas curvas de nível. Com um arruamento composto de curvas de nível, o programa de cotas é capaz de interpolar as cotas de terreno capturadas automaticamente das curvas de nível com grande precisão, sem a necessidade da inserção manual das cotas, como é bastante comum nos softwares disponíveis no mercado.

Os softwares mais utilizados são: o Cesg e o SanCAD.

O Cesg foi desenvolvido pela FCTH – Fundação Centro Tecnológica de Hidráulica para Tubos e Conexões Tigre Ltda. Esse software trabalha em um ambiente próprio, ou seja, fora do ambiente AutoCAD, isso dificulta a edição dos seus desenhos após a exportação para o AutoCAD. Assim como o UFC9, este programa captura as cotas de terreno através das curvas de nível.

O SanCAD, Sistema Gráfico para Projetos de Redes Coletoras de Esgotos Sanitários - desenvolvido pela SANEGRAPH, é um aplicativo gráfico que roda em conjunto com o AutoCAD. Este software oferece recursos gráficos de fácil visualização, fazendo com que o projeto tenha uma boa apresentação, no entanto, o manuseio da sua planilha de cálculo não é realizado de maneira simplificada, o que pode gerar erros de cálculo.

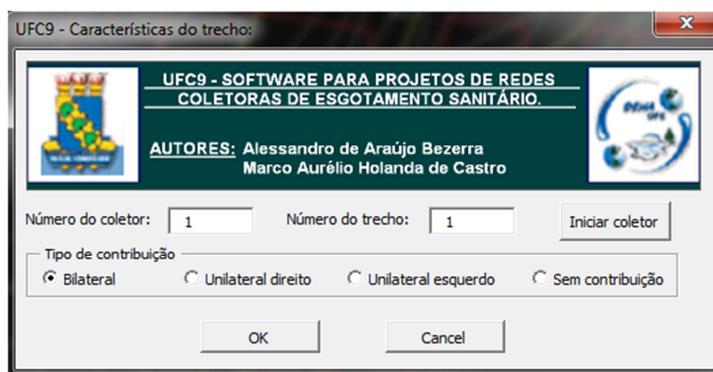
Ambos programas permitem ao usuário a inserção manual de dados referentes a obstáculos e atendimento crítico, entretanto, o programa UFC9 é capaz de considerar e realizar o procedimento de cálculo automaticamente.

3.2. Traçado da rede coletora

O primeiro passo da elaboração do software foi a pesquisa para inserção dos tubos coletores de esgoto no software, considerando sempre os materiais, diâmetros e apresentações usuais de projeto.

A programação para a inserção dos tubos de rede coletora foi uma mistura de AutoLISP e VBA, ficando o VBA responsável pela caixa de diálogo amigável de interação com o usuário.

Figura 26 – Inserção de tubo coletor de esgoto no UFC9.



A rede coletora não é composta apenas de tubos, a metodologia utilizada para as singularidades foi semelhante à dos tubos. As singularidades disponíveis no UFC9 são poços de visita (PV), terminais de limpeza (TL), caixas de passagem (CP) e tubos de inspeção e limpeza (TIL), estes divididos em TIL radial (TR) e TIL condominial (TC).

O software permite ao usuário durante o traçado da rede coletora a possibilidade de traçar várias bacias em um único projeto, além de ser permitido considerar várias zonas de demanda, ou seja, coeficientes e populações diferentes para a contribuição em cada trecho. É possível ao usuário considerar zonas de demanda diferentes em uma mesma bacia de contribuição.

3.3. Atendimento crítico de casas em cotas baixas

Uma das principais funções deste software é a capacidade de considerar o atendimento crítico em casas situadas em cotas baixas. O procedimento consiste em calcular as cotas de terreno paralelas aos trechos da rede coletora, distantes valores definidos pelo usuário, e encontrar a cota mais crítica em relação ao tubo da rede paralelo a ela. Com a cota encontrada, é calculada a cota de chegada do tubo de ligação na rede coletora, considerando profundidade da caixa de inspeção e declividade do tubo de ligação definidas pelo usuário.

As linhas paralelas aos tubos da rede representam as unidades habitacionais que receberão as ligações domiciliares. As **Equações 35 e 36** a seguir mostram o cálculo da cota de chegada do tubo de ligação domiciliar na rede coletora:

$$C_{FL} = CT_L - P_{CL} \quad (35)$$

$$C_L = C_{FL} - I_L L_L \quad (36)$$

Onde:

— C_{FL} é a cota de fundo da caixa de ligação [L];

— CT_L é a cota do terreno da caixa de ligação [L];

— P_{CL} é a profundidade da caixa de ligação [L];

— I_L é a declividade do tubo de ligação;

— L_L é a extensão do tubo de ligação [L];

— C_L é a cota de chegada do tubo de ligação na rede coletora [L].

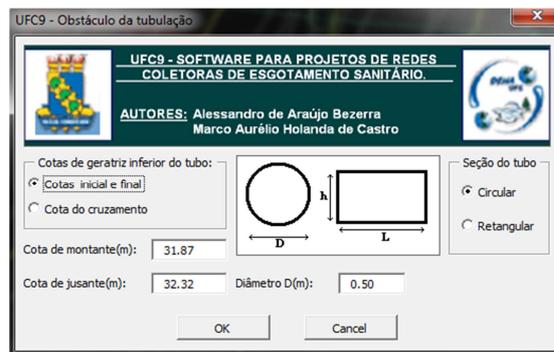
Com a cota crítica de chegada do tubo de ligação na rede coletora em cada trecho, durante o dimensionamento da rede coletora, é analisada a possibilidade de atender àquela ligação domiciliar de acordo com uma profundidade máxima pré-estabelecida, podendo a rede ser aprofundada ou não para tal fim.

3.4. Obstáculo na rede coletora

Durante a elaboração do projeto da rede coletora de esgoto devem-se cadastrar todos os elementos que possam obstruir a passagem dos tubos da rede. Dessa forma, outras tubulações como tubos de água, tubos de drenagem, bueiros circulares ou retangulares podem ser encontrados.

Essa situação deve ser contornada. O programa UFC9 permite que o usuário indique o obstáculo localizando o seu traçado e inserindo suas cotas como mostra a **Figura 27** a seguir:

Figura 27 – Inserção de obstáculo na rede.



Com os dados informados é possível transpor o obstáculo por cima ou por baixo, deixando sempre um valor de folga definido pelo usuário.

3.5. Edições e definições de padrões

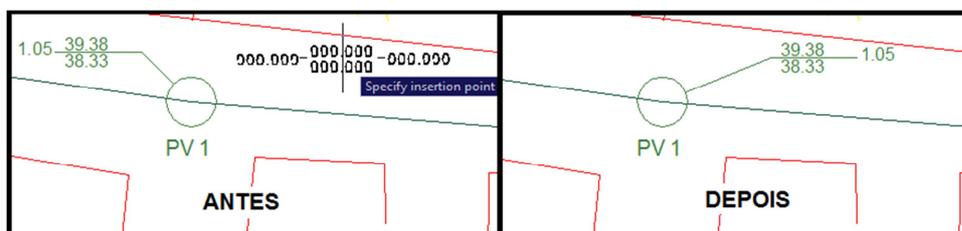
Hoje em dia está sendo exigido, cada vez mais, que a apresentação dos projetos esteja bastante organizada e de fácil e rápida visualização dos elementos do sistema. Pensando dessa forma é que, para a alteração de qualquer elemento de um sistema projetado pelo UFC9, não é necessária a modificação manual do elemento, as funções de edição do programa permitem que essa alteração ocorra automaticamente, evitando, assim, que nesse processo possa ocorrer qualquer alteração na padronização dos elementos do programa.

As funções de edição permitem ao usuário alterar nos trechos dos coletores alguns dados como material utilizado, diâmetro mínimo, recobrimento adotado, tipo de contribuição, distância da linha de atendimento crítico ao trecho, dados de quantitativos entre outros.

As modificações nos trechos já inseridos podem ser facilmente realizadas através das caixas de diálogo bastante amigáveis e fáceis de utilizar programadas em VBA.

Uma função importante na edição do programa é a movimentação das legendas de poços de visita e outras singularidades, garantindo, assim, a possibilidade de uma melhor organização do projeto.

Figura 28 – Movimentação da legenda do PV.



Apesar da grande facilidade de edição dos elementos do software, todos os dados podem ser pré-definidos através da função de Default do programa. Essa função pode definir padrões para o traçado da rede coletora, funções gerais de

visualização, variáveis para cálculo e dimensionamento e informações necessárias para o cálculo de quantitativos e elaboração de orçamentos.

3.6. Cálculo das taxas de contribuição linear

Conhecendo os dados de população para início e final de plano, consumo per capita de água, coeficiente de retorno, coeficientes máximos horário e diário de consumo de água e taxa de infiltração no solo, pode-se calcular as taxas de contribuição linear efetivas para início e final de plano, como mostrado no item 2.6 deste trabalho.

Uma implantação importante deste trabalho foi a possibilidade de traçar a rede considerando, além de bacias diferentes, zonas de demandas diferentes, o que proporciona a capacidade de o projetista considerar a contribuição de zonas com elevados índices de consumo de água e baixos índices de consumo de água, conseqüentemente, com elevados e baixos índices de contribuição de esgoto, respectivamente, em um único projeto, mesmo que estes grupos com diferentes contribuições encontrem-se na mesma bacia de contribuição.

Assim sendo, o software proporciona a possibilidade de calcular diferentes taxas de contribuição linear efetivas de acordo com a zona de demanda pertencente, sendo necessário a informação de todos os dados para cada zona de demanda.

O cálculo das taxas de contribuição linear foram programados na linguagem VBA, possibilitando, assim, melhor visualização dos parâmetros e resultados por parte do usuário projetista.

Figura 29 – Cálculo das taxas de contribuição linear com o UFC9.

UFC9 - Taxas de Contribuição Linear

UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.

AUTORES: Alessandro de Araújo Bezerra
Marco Aurélio Holanda de Castro

Dados para cálculo da rede:

Zona de demanda: 1

População inicial: 200

População Final: 400

Per Capita (l/hab.dia): 150

Coefficiente K1: 1.2

Coefficiente K2: 1.5

Coefficiente de retorno (%): 80

Taxa de infiltração (L/s.m): 0.002

Extensão virtual (m): 152.6

Coefficientes horários de consumo de água:

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

Calcular Gravar coeficientes da zona no .txt

Resultados por zona:

Zona 1: Tx,i (L/s.m): 0.00275 Tx,f (L/s.m): 0.00655	Zona 3: Tx,i (L/s.m): Tx,f (L/s.m):	Zona 5: Tx,i (L/s.m): Tx,f (L/s.m):
Zona 2: Tx,i (L/s.m): Tx,f (L/s.m):	Zona 4: Tx,i (L/s.m): Tx,f (L/s.m):	Zona 6: Tx,i (L/s.m): Tx,f (L/s.m):

Resultados Totais:

Vazão de infiltração(L/s): 0.31 Vazão inicial total(L/s): 0.73 Vazão final total(L/s): 1.31

OK Cancelar

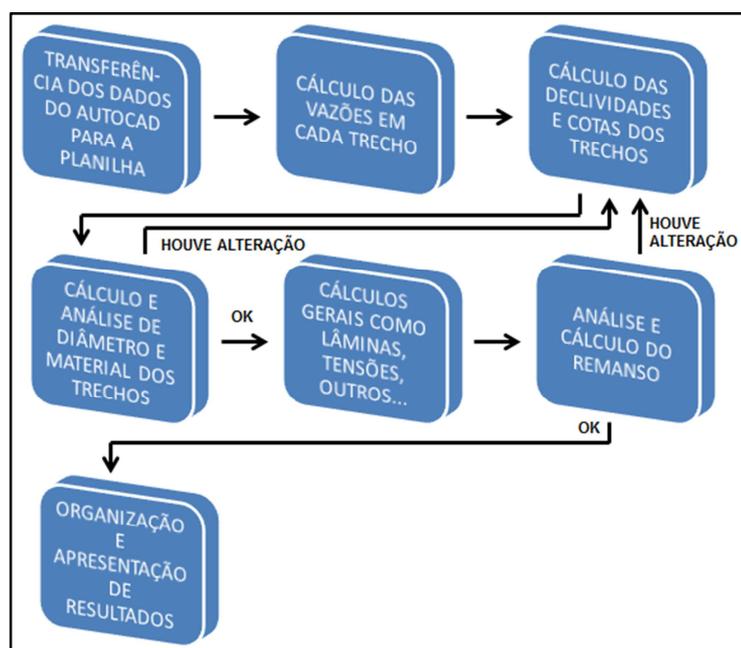
3.7. Dimensionamento da rede coletora

3.7.1. Descrição geral da planilha de dimensionamento

Depois de traçada a rede coletora e calculadas as taxas de contribuição linear, o próximo passo é o dimensionamento da rede coletora. Para tal, foi utilizado neste trabalho a linguagem de programação VB (Visual Basic).

A **Figura 30** apresenta a metodologia seguida no processo de dimensionamento da rede coletora, desde a transferência de dados até a apresentação dos resultados.

Figura 30 – Esquema do método de dimensionamento do UFC9.



3.7.2. Transferência de dados do AutoCAD para a planilha de dimensionamento do UFC9

Depois de traçada, a rede coletora é um desenho no formato padrão do AutoCAD. Assim sendo, a transferência dos dados é realizada dentro do AutoCAD com a utilização da linguagem AutoLISP.

A transferência ocorre com a criação de um arquivo de texto denominado “entplan.ufc9” que possui todos os dados necessários gerados dentro do AutoCAD através do programa UFC9. Alguns dos dados encontrados no arquivo são: taxas de contribuição linear, profundidade máxima permitida para atender as casas em cotas críticas, dados dos trechos informando singularidades de montante e jusante, zona de demanda, diâmetro, extensão, tipo de contribuição, cotas de terreno e coletor de montante e jusante, entre outros.

Com os dados no arquivo de texto, a planilha de dimensionamento é iniciada e através do comando de leitura do arquivo de texto, capta as informações e organiza para início dos cálculos.

3.7.3. Cálculo das vazões em cada trecho da rede coletora

Com os dados de taxas de contribuição linear e extensão de cada trecho, calcula-se a vazão individual de cada trecho, como mostram as **Equações 37 e 38** a seguir:

$$Q_{Ii,T} = T_{x,i} L_T \quad (37)$$

$$Q_{Fi,T} = T_{x,f} L_T \quad (38)$$

Onde:

- $Q_{li,T}$ é a vazão inicial individual do trecho (L/s);
- $T_{x,i}$ é a taxa de contribuição linear inicial (L/s.m);
- L_T é a extensão do trecho (m);
- $Q_{fi,T}$ é a vazão final individual do trecho (L/s);
- $T_{x,f}$ é a taxa de contribuição linear final (L/s.m).

Com as vazões individuais de cada trecho, é calculado o percurso dos trechos desde as pontas secas até o ponto final da rede ou até o encontro de outro coletor, podendo, assim, encontrar as vazões reais de cada trecho.

3.7.4. Cálculo das declividades e cotas em cada trecho da rede coletora

Com as vazões que passam em cada trecho definidas, o próximo passo é o cálculo das declividades dos trechos. As equações utilizadas para o cálculo das declividades mínimas, atendendo o critério da tensão trativa de 1,0 Pa, para os vários coeficientes de Manning estão apresentadas na **Tabela 3** a seguir:

Tabela 3 – Declividades mínimas de acordo com os coeficientes de Manning para 1,0 Pa.

Coeficiente de Manning [m^{-1/3}s]	Declividade mínima (m/m)
0,009	$I = 0,0065 Q^{-0,49}$
0,010	$I = 0,0061 Q^{-0,49}$
0,011	$I = 0,0058 Q^{-0,49}$
0,012	$I = 0,0056 Q^{-0,48}$
0,013	$I = 0,0055 Q^{-0,47}$
0,014	$I = 0,0051 Q^{-0,47}$
0,015	$I = 0,0049 Q^{-0,47}$
0,016	$I = 0,0048 Q^{-0,47}$

Fonte: Tsutiya & Sobrinho (1999)

No caso de interceptores, para atender o critério da tensão trativa de 1,5 Pa, as equações utilizadas para o cálculo das declividades mínimas para os vários coeficientes de Manning estão apresentadas na **Tabela 4** a seguir

Tabela 4 – Declividades mínimas de acordo com os coeficientes de Manning para 1,5 Pa.

Coeficiente de Manning [$m^{-1/3}s$]	Declividade mínima (m/m)
0,009	$I = 0,00041 Q^{-0,48}$
0,010	$I = 0,00039 Q^{-0,48}$
0,011	$I = 0,00037 Q^{-0,48}$
0,012	$I = 0,00036 Q^{-0,48}$
0,013	$I = 0,00035 Q^{-0,47}$
0,014	$I = 0,00033 Q^{-0,47}$
0,015	$I = 0,00032 Q^{-0,47}$
0,016	$I = 0,00031 Q^{-0,47}$

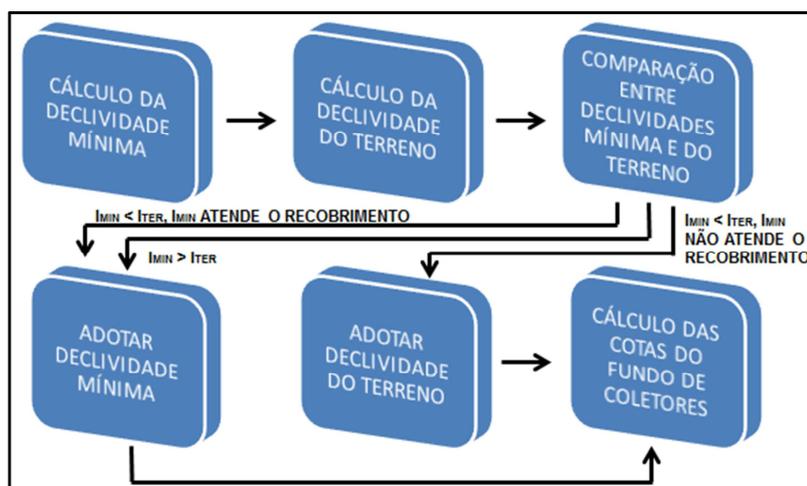
Fonte: Tsutiya & Sobrinho (1999)

As normas NBR 9649 e NBR 12207 sugerem que seja utilizado o coeficiente de Manning de $0,013 m^{-1/3}s$ para as redes coletoras de esgoto e interceptores de esgoto, no entanto, dizem que a necessidade de utilizar outro coeficiente pode ser justificada, e o UFC9 permite a utilização destes, caso seja a vontade do projetista.

Para o cálculo da declividade mínima considerando redes coletoras em PVC e tensão trativa de 0,6 Pa de acordo com o que recomenda a norma NBR 14486, o software utiliza a **Equação 31** já apresentada neste trabalho.

Apesar de haver os cálculos para encontrar as declividades mínimas em cada trecho, nem sempre deve-se considerar tal declividade, pode-se considerar declividade maior dependendo das condições da topografia. O procedimento para definir a declividade a ser utilizada está apresentado na **Figura 31**.

Figura 31 – Esquema do método de escolha de declividade do UFC9.



De acordo com a **Figura 31**, quando a declividade do terreno é maior que a declividade mínima, a declividade a adotar depende de a profundidade do tubo atender à profundidade de recobrimento pré-estabelecida antes do traçado de cada trecho.

Para o caso citado, adotar a declividade mínima, quando esta atende ao recobrimento mínimo, faz com que a rede fique mais rasa, gerando uma grande economia com escavação neste trecho e nos seguintes.

Quando é considerado o atendimento crítico, através da cálculo da cota da chegada do tubo de ligação no tubo da rede coletora, considerando a cota do terreno da casa crítica, a profundidade da caixa de inspeção e a declividade do tubo de ligação, é calculada a cota crítica do coletor e, posteriormente, a declividade crítica capaz de atender a casa crítica.

Seguindo com o dimensionamento, ao considerar o atendimento crítico, se a declividade crítica for maior do que a mínima, esta passa a ser considerada como declividade mínima, caso contrário, a casa crítica já é atendida sem que seja necessário nenhuma modificação no dimensionamento.

3.7.5. Cálculo e análise do diâmetro e material em cada trecho da rede coletora

Para o cálculo dos diâmetros dos trechos foram utilizadas as equações encontradas em Recesa (2008). As **Equações 39** e **40** a seguir apresentam o cálculo dos diâmetros para escoamentos supercríticos, ou seja, lâmina d'água de 50%, e escoamentos subcríticos, ou seja, lâmina d'água de 75%, respectivamente.

$$D_{50} = \left[6,44n \left(\frac{Q_F}{\sqrt{I}} \right) \right]^{0,375} \quad (39)$$

$$D_{75} = \left[3,52n \left(\frac{Q_F}{\sqrt{I}} \right) \right]^{0,375} \quad (40)$$

Onde:

— D_{50} é o diâmetro para a lâmina d'água de 50% [L];

— D_{75} é o diâmetro para a lâmina d'água de 75% [L];

Após o cálculo para cada trecho, é considerado o diâmetro comercial imediatamente superior ao calculado, sendo comparado ao já pré-estabelecido para o trecho durante o traçado.

Havendo mudança de diâmetro, existe a comparação do material utilizado na tubulação do trecho, verificando a existência do diâmetro calculado para tubos do mesmo material pré-estabelecido.

O software utiliza sempre o sentido PVC → concreto para os seus tubos, por serem de maior utilização no mercado.

3.7.6. Cálculos gerais em cada trecho da rede coletora

O primeiro passo para a elaboração dos cálculos necessários ao dimensionamento é o cálculo para encontrar o ângulo central \emptyset de cada trecho, como mostrado na **Figura 23** deste trabalho. Para este processo, foi utilizado o procedimento apresentado em Tsutiya & Sobrinho (1999).

Rodrigues (2006) resume o procedimento de cálculo do ângulo central de cada trecho informando que o cálculo procede-se através da resolução através de método iterativo, já que não é possível encontrar o valor de \emptyset , da **Equação 41** a seguir:

$$f(\emptyset) = \frac{[\emptyset - \text{sen}(\emptyset)]^{5/3} D^{8/3} I^{1/2}}{\emptyset^{2/3} 2^{13/3}} - Q n \quad (41)$$

Onde:

— $f(\emptyset)$ é a função dependente do ângulo central;

Com o valor do ângulo central, calcula-se área molhada (**Equação 17**), perímetro molhado (**Equação 18**), raio hidráulico (**Equação 19**), lâminas d'água (**Equação 20**), velocidades de início e final de plano (**Equação 16**), velocidade crítica (**Equação 34**) e tensão trativa (**Equação 23**).

3.7.7. Análise e cálculo do remanso em cada trecho da rede coletora

A última fase do dimensionamento é a análise e cálculo do remanso em cada trecho. Sempre que a cota do nível d'água na saída de qualquer PV ou TIL está acima de qualquer das cotas dos níveis d'água de entrada, executa-se o cálculo do remanso.

O cálculo do remanso limita-se a rebaixar o tubo de saída da singularidade um valor igual ou superior (valor dependente do degrau mínimo) à diferença entre as cotas de lâmina d'água dos tubos de saída e de chegada, quando esta existe, em uma determinada singularidade.

Havendo o remanso, o procedimento de cálculo retorna ao início com a nova configuração, como mostrado na **Figura 30**.

3.8. Correção dos dados da rede coletora

Após o processo de dimensionamento da rede coletora inicia-se o processo de alterar os dados mostrados no desenho através do traçado pelos valores calculados depois de dimensionados.

O processo de correção dos dados inicia-se dentro da planilha de dimensionamento, através da criação de um arquivo de texto contendo os parâmetros da rede coletora dimensionados. Assim, como toda a planilha, o arquivo de texto é gerado através da linguagem de programação Visual Basic.

Com o arquivo de texto gerado, volta-se a utilizar o AutoCAD, e, através da linguagem de programação VBA interna ao AutoCAD, ocorre a correção dos parâmetros da rede através da alteração dos dados do desenho traçado pelos dados do dimensionamento. Este procedimento é automático, não havendo trabalhos onerosos para o usuário.

3.9. Geração do perfil dos coletores

O procedimento de criação do perfil dos coletores é realizado através da linguagem de programação AutoLISP. Com os recursos desta linguagem e utilização do programa de cotas, já comentado anteriormente, o software calcula as cotas de terreno dos trechos, podendo estas serem calculadas de PV a PV, de 1 em 1 metro ou até de 5 em 5 metros, de acordo com o pré-estabelecido. Com as cotas de terreno, cotas de fundo dos coletores, declividades e outros parâmetros calculados no dimensionamento, é criado um arquivo de texto com extensão “.scr” contendo todas as informações necessárias para o desenho do perfil do coletor.

Um arquivo com extensão “.scr” é um arquivo reconhecido pelo AutoCAD e é denominado Script. De acordo com o guia de ajuda do AutoCAD, um arquivo Script é um arquivo de texto que possui um comando do AutoCAD em cada uma de suas linhas.

Com todos os comandos necessários para a geração do perfil escritos em um Script, através da linguagem VBA, é inicializada uma nova janela de trabalho do AutoCAD e iniciado o comando Script, desenhando o perfil do coletor desejado.

Com o comando perfil do coletor é possível visualizar casas não atendidas (atendimento crítico) e obstáculos existentes no coletor.

3.10. Quantitativo e orçamento

3.10.1. Transferência de dados do AutoCAD para a planilha orçamentária do UFC9 – Cálculo dos quantitativos

Depois de concluída a parte de desenho e dimensionamento do projeto de uma rede coletora de esgoto com a utilização do UFC9, inicia-se o processo de elaboração do orçamento do projeto.

O primeiro passo, e normalmente o mais trabalhoso, é o levantamento de quantitativos da rede. Com a utilização do UFC9, através da linguagem de programação AutoLISP, este passo é realizado automaticamente.

O procedimento se resume em calcular automaticamente os itens a seguir:

- Cadastro de rede coletora;
- Locação e nivelamento de rede de esgoto;
- Elementos de sinalização de trânsito e segurança como sinalizações de advertências e passadiços;
- Movimento de terra com escavação, reaterro, nivelamento e apiloamento de fundo de valas;
- Escoramento de valas;
- Rebaixamento de lençol freático;
- Poços de visita e tampões;
- Assentamento de tubulações;

- Ligações domiciliares;
- Fornecimento de materiais.

Nesta primeira etapa, estas quantidades são obtidas isoladamente para cada trecho e transferidas para um arquivo de texto denominado “Orçamento.ufc9”.

Elementos como cadastro, locação e assentamento, possuem como quantidade individual a extensão do trecho. Elementos de sinalização e segurança são quantificados através da multiplicação entre coeficientes e a extensão do trecho.

Quando as cotas de coletores se encontram abaixo do nível d’água pré-estabelecido, é considerado o rebaixamento de lençol freático.

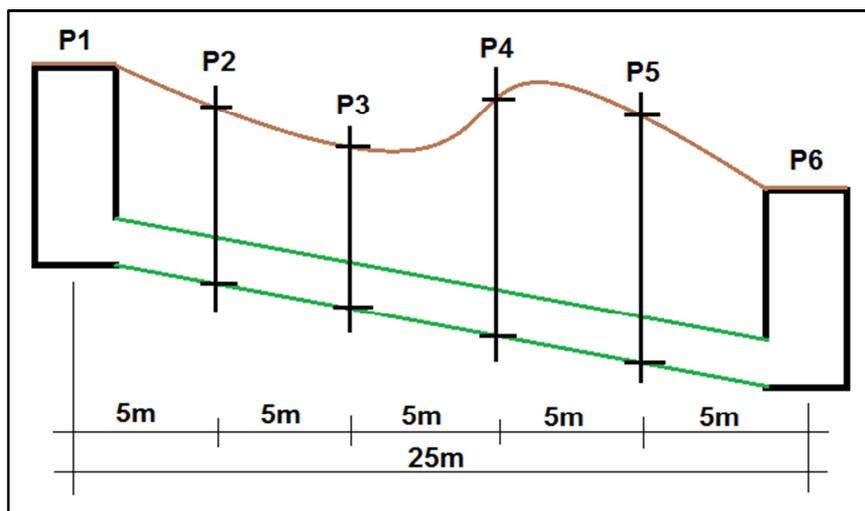
Para poços de visita são apenas quantificados o número destes existentes na rede.

No Default do software são informadas as quantidades de ligação domiciliares a cada 100 metros, sendo de fácil obtenção do número de ligações a cada trecho através de regra de três considerando a extensão do trecho.

No fornecimento de materiais são utilizadas as extensões de tubos de mesmo material e diâmetro e multiplicadas por um coeficiente de perdas de material informado pelo usuário.

Para o cálculo do movimento de terra, o software permite ao usuário escolher o espaçamento de cálculo do quantitativo. Este espaçamento é a distância entre os pontos em que a cota do terreno será calculada para ser comparada com a profundidade de escavação de cada trecho, podendo esta precisão ser a cada 1 metro, 2 metros, 3 metros, 4 metros, 5 metros ou apenas onde houver singularidades. A **Figura 32** a seguir mostra um exemplo dos pontos onde haverá cota calculada considerando a precisão a cada 5 metros.

Figura 32 – Exemplo do procedimento do cálculo de cotas a cada 5 metros.



Pode-se perceber que para o caso da Figura 32 apresentada, as profundidades em P4 e P5 são bem maiores que em P1 e P6 e que em P3 é menor que P1 e P6. Dessa forma, considerando um espaçamento de cálculo de cotas a cada 5 metros, evidencia-se um resultado bem mais detalhado do que um levantamento realizado de PV a PV.

Dessa forma, considerando a cota de terreno média entre dois pontos de cotas calculadas, a cota do tubo no ponto médio calculada através da **Equação 42**, pode-se calcular a profundidade média entre dois pontos de cota de terreno calculada através da **Equação 43**.

$$C_{\text{Tubo}} = CCM - I D_{\text{PM}} \quad (42)$$

Onde:

- C_{Tubo} é a cota do tubo no ponto médio entre dois pontos de cotas de terreno calculadas [L];
- D_{PM} é a distância do ponto de montante do trecho até o ponto médio entre dois pontos de cotas de terreno calculadas [L];
- CCM é a cota do coletor de montante do trecho [L];

$$P_M = (CT_M - C_{Tubo}) \quad (43)$$

Onde:

- P_M é a profundidade média entre dois pontos de cotas de terreno calculadas [L];
- CT_M é a cota de terreno média entre dois pontos de cotas de terreno calculadas [L].

Com as profundidades médias, a extensão do espaçamento utilizado e a largura da vala, pré-estabelecida pelo usuário, calcula-se o volume de terra através do somatório de todos os volumes médios entre pontos de cotas calculadas em todo o trecho, como mostra a **Equação 44**.

$$V_{esc} = \sum_{i=0}^x P_M L_{vala} L_{PM} \quad (44)$$

Onde:

- L_{vala} é a largura da vala do trecho [L];
- L_{PM} é a extensão da precisão utilizada [L];
- V_{esc} é o volume escavado do trecho [L]³;
- x é o número de vezes que o procedimento ocorre, depende da extensão do trecho e da precisão.

De acordo com a profundidade média encontrada, divide-se a escavação em até 2 metros, de 2 a 4 metros, e assim por diante.

O bota-fora considerado para cada trecho é o volume do tubo assentado, ficando o restante do material escavado para ser quantificado como reaterro. Para nivelamento e apiloamento de fundo de valas, é considerado o produto entre a extensão do trecho e a largura da vala.

O escoramento, assim como a escavação, é dividida em até 2 metros, até 3 metros, e assim por diante, de acordo com a profundidade média encontrada. O seu cálculo é o somatório do produto entre a profundidade média, contanto que esta seja superior a mínima estabelecida para escorar, e a extensão utilizada para precisão em todo o trecho.

3.10.2. Organização dos dados quantificados – Elaboração do orçamento

Com os dados quantificados por trecho e inseridos no arquivo de texto “Orçamento.ufc9”, é inicializado o programa criado em Visual Basic para elaboração e apresentação do orçamento da rede coletora traçada utilizando o UFC9.

A função voltada para quantitativos deste programa é a junção dos mesmos tipos de dados de cada trecho e somá-los, a fim de obter o quantitativo global da rede coletora.

Os preços unitários são obtidos e salvos em arquivos de texto de acordo com a tabela que o projetista pretende utilizar, o software UFC9 vem como padrão a tabela da SEINFRA versão 017.

Com os quantitativos e preços unitários, são calculados os preços totais de cada item até chegar ao preço total da rede. Vale salientar que este orçamento não deve ser considerado como orçamento final de projeto, devendo o projetista analisar e adicionar itens que lhe for conveniente.

Além do cálculo do orçamento dentro do programa, este também possibilita a transferência dos dados para o software Excel, facilitando a edição do orçamento final do projeto.

3.11. Comparação entre o dimensionamento de uma rede coletora considerando atendimento crítico e não considerando o atendimento crítico

Para efeito de comparação, foi realizado um estudo através do traçado, dimensionamento e orçamento de uma rede de pequeno porte de um conjunto habitacional.

Foi traçada a rede com a utilização do UFC9 e dimensionada duas vezes, a primeira não considerando o atendimento crítico e a segunda considerando o atendimento crítico.

4. Resultados e discussões

4.1. Descrição geral do programa UFC9

O programa apresentado neste trabalho agrega rapidez, facilidade de utilização e qualidade técnica na elaboração de projetos de redes coletoras de esgotamento sanitário. O software UFC9 é uma ferramenta que disponibiliza elementos gráficos (utilizados no desenho) e de cálculo (para dimensionamento) da rede. Além disso, o programa também é capaz de gerar quantitativo e orçamento da rede coletora.

Quanto aos objetos gráficos, o programa permite o traçado da tubulação da rede e de acessórios como: terminal de limpeza, poço de visita (PV), terminal de inspeção e limpeza, caixa de passagem, TIL radial, TIL condominial e indicativo de ponta seca. Além disso, possui funções para fazer a representação de um obstáculo na rede, para traçar o perfil da rede, para inserir todos os PVs da rede automaticamente ou inserir um PV internamente a um trecho já traçado.

Para auxiliar na utilização, o software também possui funções de edição, renumeração automática de trechos e singularidades, localização e uma função para apagar elementos inseridos.

Em relação ao dimensionamento da rede, o programa possui funções secundárias que auxiliam o recurso gerador da planilha de cálculo. Uma parte dessas funções está presente no default e a outra em uma função específica para o cálculo de contribuição linear. Os dados gerados por essas funções associado ao cálculo realizado pela planilha de cálculo são responsáveis pelo dimensionamento da rede efetuado com a utilização do programa UFC9.

Finalmente, têm-se a função geradora da planilha de quantitativos e orçamento. Os dados de entrada para essa rotina encontram-se no default e internos à própria função responsável pela planilha.

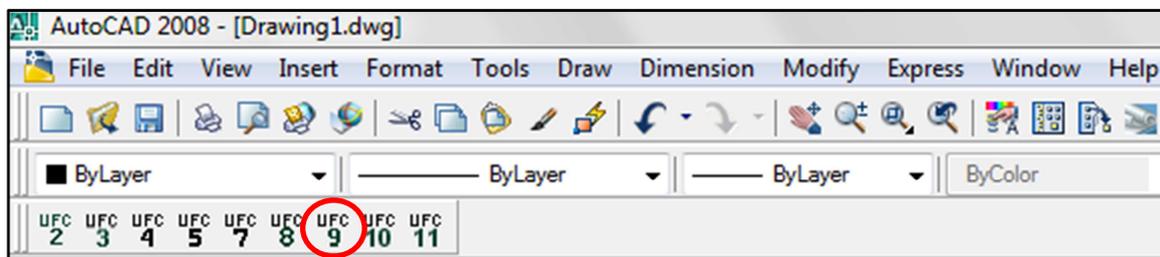
Adiante todas as funções do programa serão apresentadas com seus respectivos detalhes.

O programa funciona no ambiente do AutoCAD. Após a instalação, um novo ícone, denominado iniciar seção, é inserido dentro da caixa de ferramentas do AutoCAD. Ele é o responsável por carregar as ferramentas contidas no menu do UFC9. Esse ícone está representado abaixo na **Figura 33**:

Figura 33 – Elemento iniciar seção.



Figura 34 – Elemento iniciar seção em destaque no ambiente AutoCAD.



Como observado na **Figura 34**, o UFC9 faz parte do pacote UFC que corresponde ao conjunto de ferramentas destinadas ao auxílio de projetos de água, esgoto e drenagem urbana. Por isso, ao instalar o programa, está instalando os demais programas visualizados na figura.

As funções do programa estão expostas na **Figura 35** a seguir:

Figura 35 – Quadro de funções dos elementos do programa.

	Iniciar seção: carrega a palheta de ferramentas do programa
	Tubo da rede: traça a tubulação da rede de esgoto
	TL: Insere um terminal de limpeza (TL)
	PV: Insere um poço de visita (PV)
	TIL: Insere um terminal de inspeção e limpeza (TIL)
	CP: Insere uma caixa de passagem (CP)
	TR: Insere um Til Radial (TR)
	TC: Insere um Til condominial (TC)
	Ponta seca: cria uma ponta seca
	PVA: Insere automaticamente todos os PVs na rede
	PV: Insere um PV internamente a outro
	Obstáculo: Insere um obstáculo na rede
	Taxas de contribuição linear: faz o cálculo de taxas e vazões
	Planilha de cálculo: realiza o dimensionamento da rede
	Perfil: traça o perfil do coletor indicado
	Default: define os padrões a serem utilizados pelo programa
	Edit: edita tubos e singularidades
	Edit Linha: edita linha de atendimento crítico
	Renumerar tubo: renumera tubos coletores após traçados
	Renumerar: renumera todas as singularidades após traçadas
	Localizador: localiza elementos presentes na rede
	Borracha: apaga elementos traçados pelo programa
	Legenda: oculta ou mostra as legendas
	Refaz rede: refaz a rede após o dimensionamento
	Quantitativos: quantifica a rede e gera o orçamento
	Vassoura: limpa todos os blocos do UFC9

4.2. Traçado da rede coletora

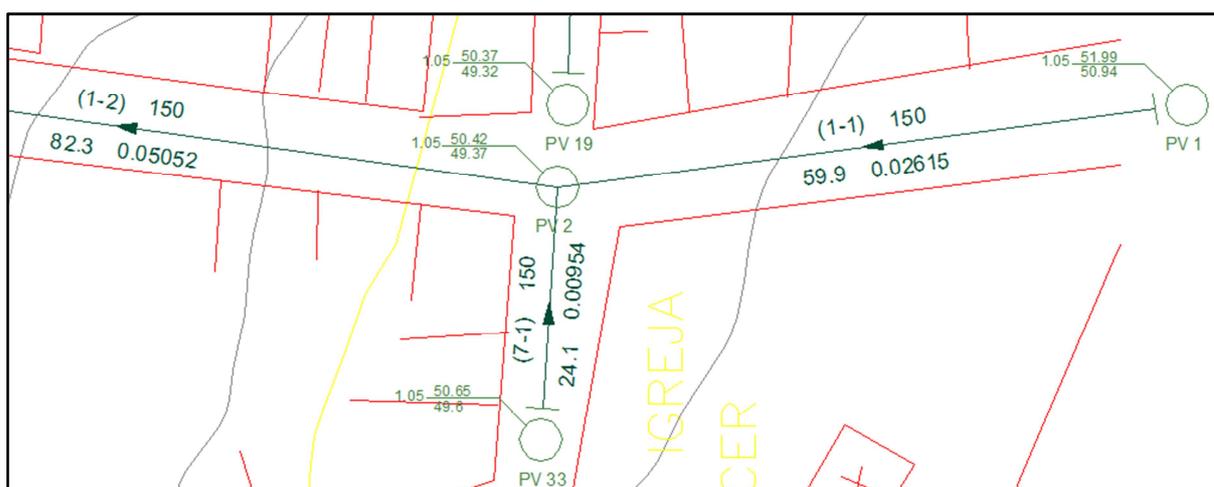
Para a utilização do software, a rede coletora deve sempre ser traçada no sentido do fluxo desejado. Esta pode ser considerada principal, condominial, interceptor ou existente.

Para apresentação do projeto, nos trechos podem aparecer dados como identificação do trecho, material, diâmetro, extensão e declividade. Estes parâmetros podem estar formatados como de desejo do usuário ou simplesmente todos ou alguns deles não aparecerem.

Na apresentação das singularidades aparecem os dados de cota do terreno, cota de fundo e profundidade, dados esses essenciais para a execução da obra. Uma singularidade pode estar acompanhada de uma ponta seca ou não. A ponta seca representa que o trecho é um início de coletor, ou seja, não recebe contribuição anterior.

A **Figura 36** a seguir apresenta uma parte de uma rede coletora traçada com o UFC9.

Figura 36 – Parte de rede coletora traçada com o UFC9.



4.3. Atendimento crítico de casas em cotas baixas

Como dito anteriormente, a rede coletora traçada com o UFC9 pode ser dimensionada desprezando o critério de atendimento crítico, como é comum de se visualizar na maioria dos softwares, ou considerando o atendimento crítico.

O atendimento crítico pode ser atendido até uma profundidade máxima estabelecida pelo usuário, o que significa que a rede não ficará demasiadamente profunda se a opção for considerar o atendimento crítico.

Caso haja casos em que o atendimento crítico não seja atendido, os pontos críticos de cada trecho que não fez o atendimento é apresentado em planta e em perfil, como mostrado nas **Figuras 37 e 38**.

Figura 37 – Detalhe em planta da casa não atendida.

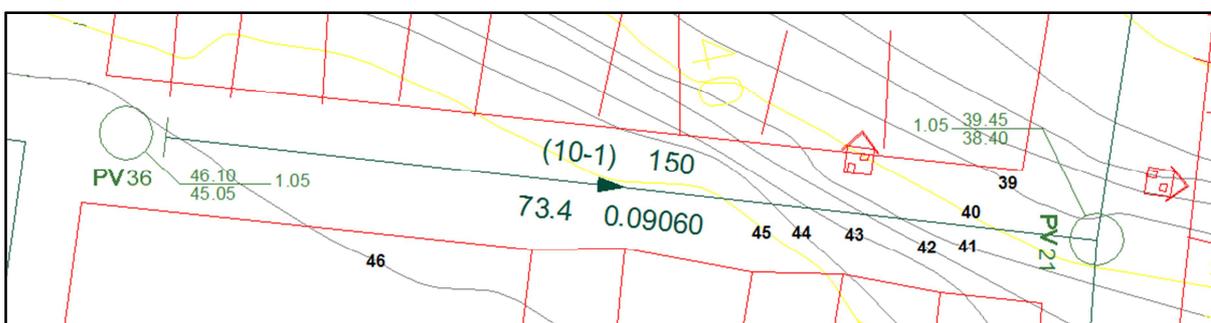
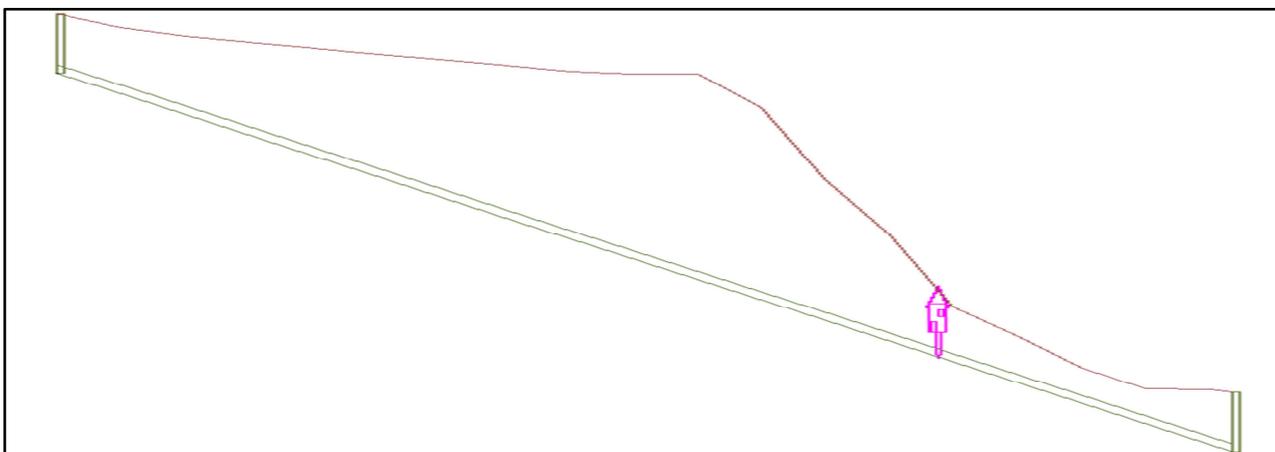


Figura 38 – Detalhe em perfil da casa não atendida.



A **Figura 37** mostra que a casa situa-se entre as cotas de terreno 41 e 40, enquanto que a parte da rede perpendicular a casa, provável local de ligação, está situado entre as cotas de terreno 42 e 43, ou seja, o terreno onde está situado o tubo encontra-se mais elevado que o terreno onde encontra-se a casa a ser atendida.

A **Figura 38** deixa ainda mais clara a situação. Mostra que a casa encontra-se abaixo do terreno do tubo e que, acrescentando a caixa de inspeção e o tubo de ligação, este último chega abaixo da geratriz inferior do tubo da rede, enquanto que deveria chegar acima da geratriz superior.

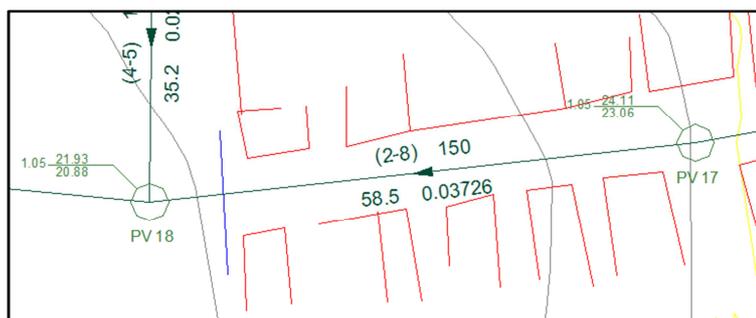
Este tipo de apresentação do resultado da casa não atendida torna mais fácil a análise do projetista, a fim de fazer com que o mesmo decida se o projeto deverá sofrer alteração para atender a casa indicada.

4.4. Obstáculo na rede coletora

Os obstáculos existentes na rede coletora de esgoto podem ser apresentados em planta e em perfil através do UFC9. Os obstáculos apresentados podem ser em formas de tubulações de seções circulares ou retangulares.

A **Figura 39** mostra um obstáculo (linha azul) representado em planta em uma rede coletora traçada com a utilização do UFC9.

Figura 39 – Representação de um obstáculo em planta.



Não havendo o devido dimensionamento para passar pelo obstáculo, em perfil observa-se como ficaria o tubo em relação ao obstáculo encontrado, como mostra a **Figura 40**. Já na **Figura 41**, é apresentado a tubulação da rede coletora passando por baixo do obstáculo através do procedimento de dimensionamento do UFC9.

Figura 40 – Representação de um obstáculo barrando o tubo em perfil.

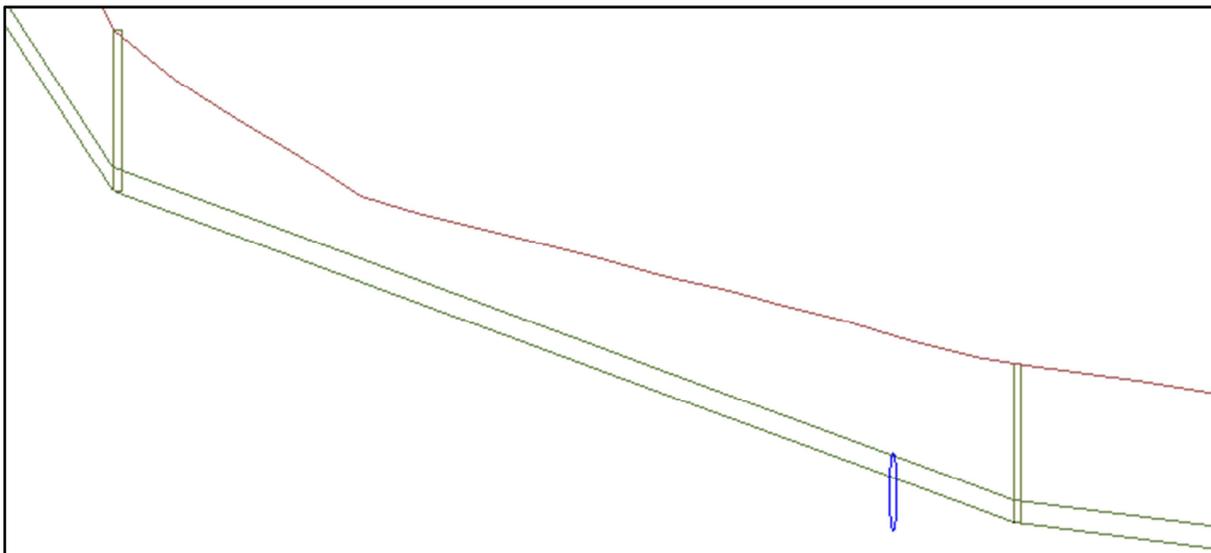
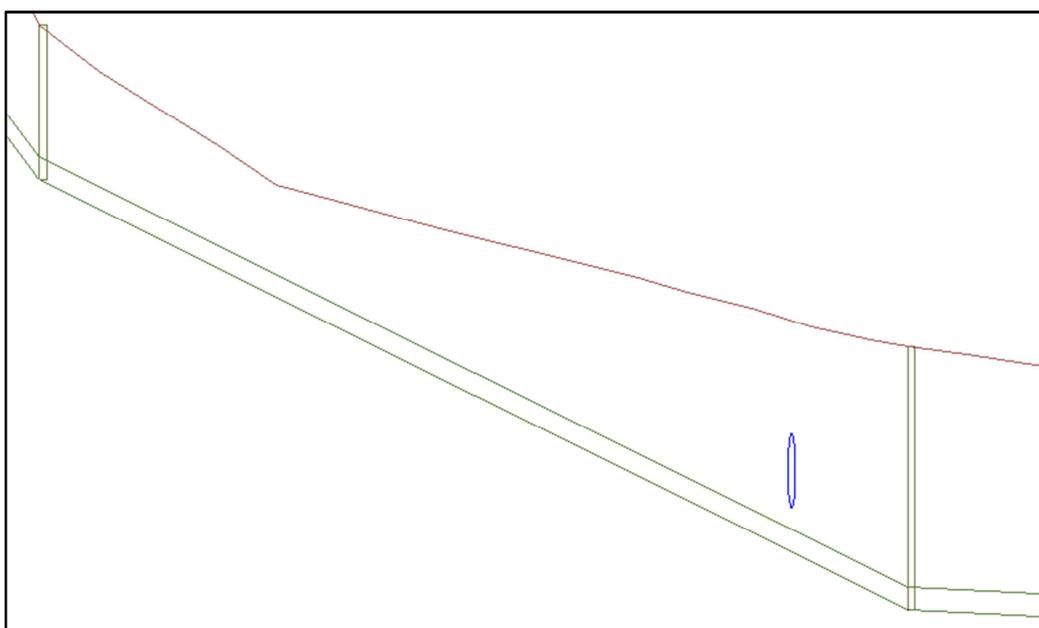


Figura 41 – Representação de um obstáculo sendo ultrapassado pelo tubo em perfil.



Este tipo de apresentação de resultados mostrando o obstáculo permite ao projetista analisar a viabilidade de passar pelo obstáculo ou não, podendo

considerar a possibilidade de não atender a rua onde existe o obstáculo dependendo da profundidade alcançada.

4.5. Edições e definições de padrões

Para o devido processo de traçado, dimensionamento e levantamento de quantitativos, deve-se definir os padrões iniciais do software através da função de Default do software.

O Default do software UFC9 é composto por 4 abas que definem parâmetros sobre:

- Dados da rede;
- Parâmetros gerais;
- Elementos de cálculo;
- Elementos de quantitativos.

Cada aba possui parâmetros necessários para o traçado, dimensionamento ou apresentação dos dados de que se trata. As abas são apresentadas nas **Figuras 42 e 43**.

Figura 42 – Default – abas rede e geral.

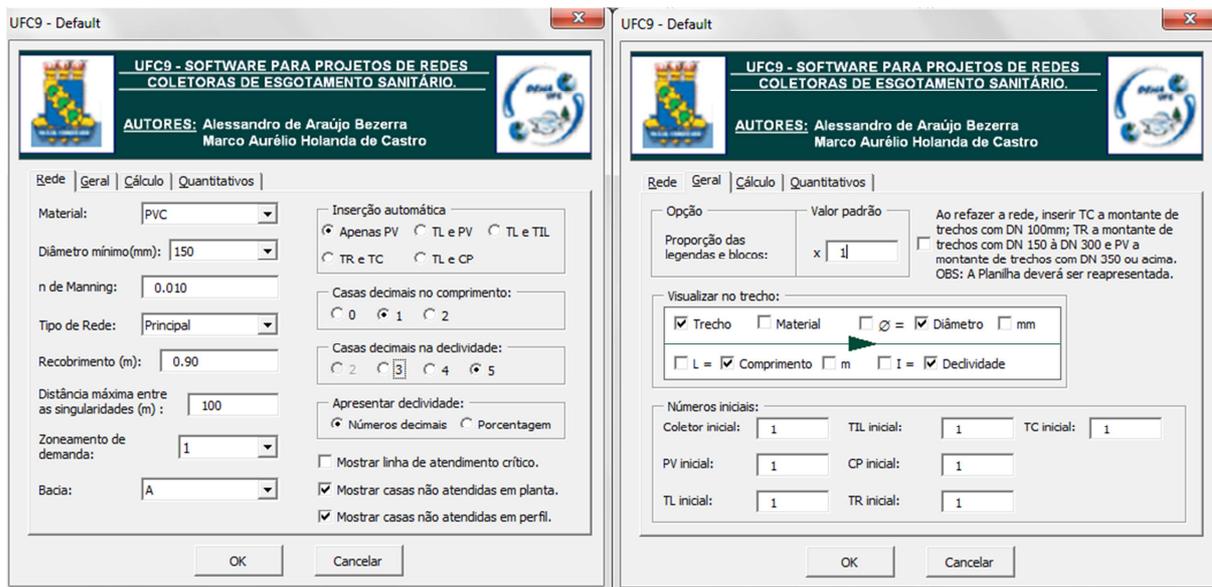
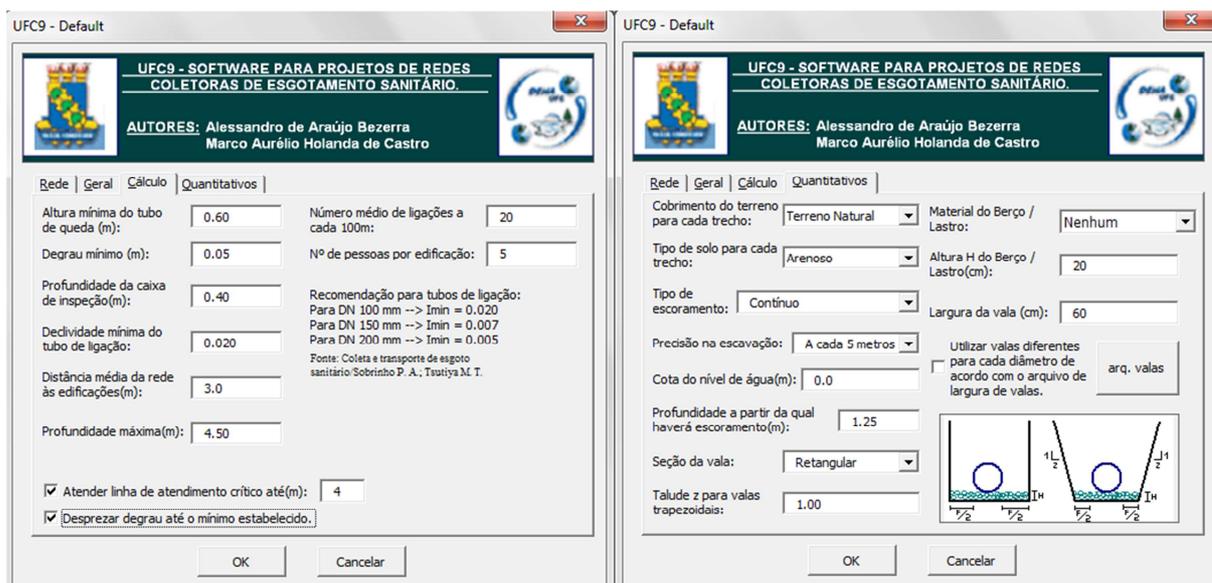


Figura 43 – Default – abas cálculo e quantitativos.



Os padrões iniciais devem ser alterados antes de traçar o trecho o qual se deseja que possua as características indicadas. Para modificar as características de um trecho já inserido no desenho deve-se utilizar a função Editar do software. A **Figura 44** a seguir apresenta a caixa de diálogo utilizada para editar o tubo do UFC9.

Figura 44 – Editar um trecho.

UFC9 - Editar tubulação

UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.

AUTORES: Alessandro de Araújo Bezerra
Marco Aurélio Holanda de Castro

Número do Coletor: Nº de residências:

Número do Trecho: Cobrimento do terreno:

Material: Tipo de solo:

Diâmetro mínimo(mm): Tipo de escoramento:

n de Manning: Profundidade a partir da qual haverá escoramento(m):

Tipo de Rede: Seção da vala:

Recobrimento: Talude z para valas trapezoidais:

Zoneamento de demanda: Material do Berço / Lastro:

Bacia: Altura H do Berço / Lastro(cm):

Profundidade da caixa de inspeção(m): Folga mínima da vala (F em "cm"):

Declividade mínima do tubo de ligação: Escala das Legendas:

Trecho inalterável pela planilha

Visualizar no trecho:

Trecho Material \varnothing = Diâmetro mm

L = Comprimento m I = Declividade

4.6. Cálculo das taxas de contribuição linear

Os resultados calculados no comando de cálculo das taxas de contribuição linear podem ser calculados para as várias zonas de demanda, ficando armazenados os resultados a ser utilizados pelos trechos correspondentes.

A caixa de cálculo das taxas de contribuição linear só permite o cálculo de zonas de demanda existentes, não devendo o usuário se preocupar em ter feito o cálculo em zonas não existentes.

Os resultados para vazões de contribuição populacional e vazões de infiltração são apresentados isoladamente, permitindo a conferência de forma mais apropriada para o projetista.

4.7. Dimensionamento da rede coletora

A rede coletora ao entrar na planilha de dimensionamento é automaticamente calculada, podendo o usuário visualizar os resultados em uma planilha amigável, como mostram as **Figuras 45 e 46**.

Figura 45 – Planilha de dimensionamento – Parte 1.

BACIA	Z. DEMANDA	TRECHO	SING. MON.	SING. JUS.	CTM (m)	CTJ (m)	CCM (m)	CCJ (m)	PROF. MON(m)	PROF. JUS(m)	COMPRIM. (m)
A	1	(1-1)	PV1	PV2	92.22	91.45	91.17	90.40	1.05	1.05	51.80
A	1	(1-2)	PV2	PV3	91.45	89.97	90.40	88.92	1.05	1.05	66.50
A	1	(1-3)	PV3	PV4	89.97	89.31	88.92	88.26	1.05	1.05	34.80
A	1	(1-4)	PV4	PV5	89.31	89.28	88.26	88.15	1.05	1.13	21.60
A	1	(1-5)	PV5	PV6	89.28	88.54	87.56	87.34	1.72	1.20	43.70
A	1	(1-6)	PV6	PV7	88.54	87.62	87.34	86.57	1.20	1.05	59.40
A	1	(1-7)	PV7	PV8	87.62	87.46	86.57	86.33	1.05	1.13	48.30
A	1	(1-8)	PV8	PV9	87.46	88.37	86.33	86.16	1.13	2.21	33.10
A	1	(1-9)	PV9	PV10	88.37	86.25	86.16	85.20	2.21	1.05	45.60
A	1	(1-10)	PV10	Fim	86.25	85.37	85.20	84.32	1.05	1.05	42.10
A	1	(2-1)	PV11	PV12	91.62	90.26	90.57	89.21	1.05	1.05	51.20
A	1	(2-2)	PV12	PV5	90.26	89.28	88.54	87.56	1.72	1.72	45.30
A	1	(3-1)	PV13	PV14	91.24	89.26	90.19	88.21	1.05	1.05	42.50
A	1	(3-2)	PV14	PV6	89.26	88.54	88.21	87.49	1.05	1.05	50.20
A	1	(4-1)	PV15	PV7	89.72	87.62	88.67	86.57	1.05	1.05	51.50

Figura 46 – Planilha de dimensionamento – Parte 2.

UFCE9 - Planilha de Cálculos de Redes Coletoras de Esgotamento Sanitário

Planilha

DEFAULT UFCE9 HIDE

DECLIV.(m/m)	MATERIAL	DN(mm)	Q INI (l/s)	Q FIN (l/s)	VEL. INI (m/s)	VEL. FIN (m/s)	VEL CRÍT(m/s)	LÂMINA INI(%)	LÂMINA FIN(%)	T.TRAT. (Pa)	OBS.
0.01486	PVC	150	0.17	0.25	0.76	0.76	2.34	17	17	2.3	
0.02226	PVC	150	0.39	0.56	0.88	0.88	2.24	15	15	3.2	
0.01897	PVC	150	0.46	0.63	0.83	0.83	2.28	16	16	2.8	
0.00500	PVC	150	0.50	0.68	0.52	0.52	2.64	22	22	1.0	DG 0.59
0.00500	PVC	150	1.04	1.49	0.52	0.52	2.64	22	22	1.0	
0.01299	PVC	150	1.58	2.31	0.74	0.82	2.61	18	22	2.1	
0.00500	PVC	150	1.92	2.79	0.56	0.62	3.02	25	30	1.1	
0.00500	PVC	150	2.03	2.95	0.56	0.63	3.06	26	31	1.1	
0.02112	PVC	150	2.12	3.04	0.95	1.06	2.63	18	22	3.5	
0.02090	PVC	150	2.20	3.12	0.96	1.06	2.65	19	22	3.6	
0.02656	PVC	150	0.24	0.39	0.93	0.93	2.20	15	15	3.6	TQ 0.67
0.02163	PVC	150	0.45	0.73	0.87	0.87	2.25	15	15	3.1	
0.04659	PVC	150	0.20	0.32	1.13	1.13	2.06	13	13	5.6	
0.01434	PVC	150	0.43	0.70	0.75	0.75	2.35	17	17	2.2	DG 0.15
0.04078	PVC	150	0.24	0.39	1.08	1.08	2.09	13	13	5.1	

A planilha foi dividida em duas figuras para melhor visualização dos parâmetros apresentados. A planilha de cálculo, além de realizar os cálculos automaticamente, permite ao usuário realizar qualquer alteração no dimensionamento manualmente, por esse motivo há diferença de cores nas células da planilha, sendo as células verdes impossíveis de alterar e as células brancas as que podem possuir seus valores alterados, sendo os outros parâmetros calculados automaticamente.

Os quatro botões existentes na planilha são responsáveis por:

- Definir padrões de dimensionamento (**Figura 47**);
- Transferir os resultados calculados para o desenho no AutoCAD;
- Transferir os resultados para uma planilha Excel;
- Ocultar ou apresentar parâmetros na planilha (**Figura 48**).

Figura 47 – Definir padrões de dimensionamento.

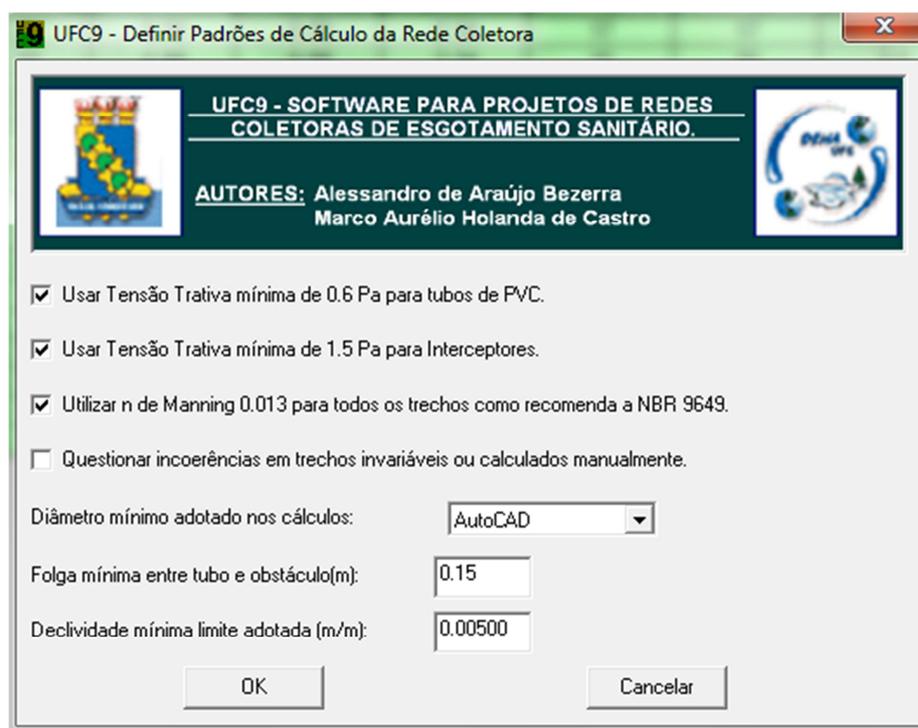
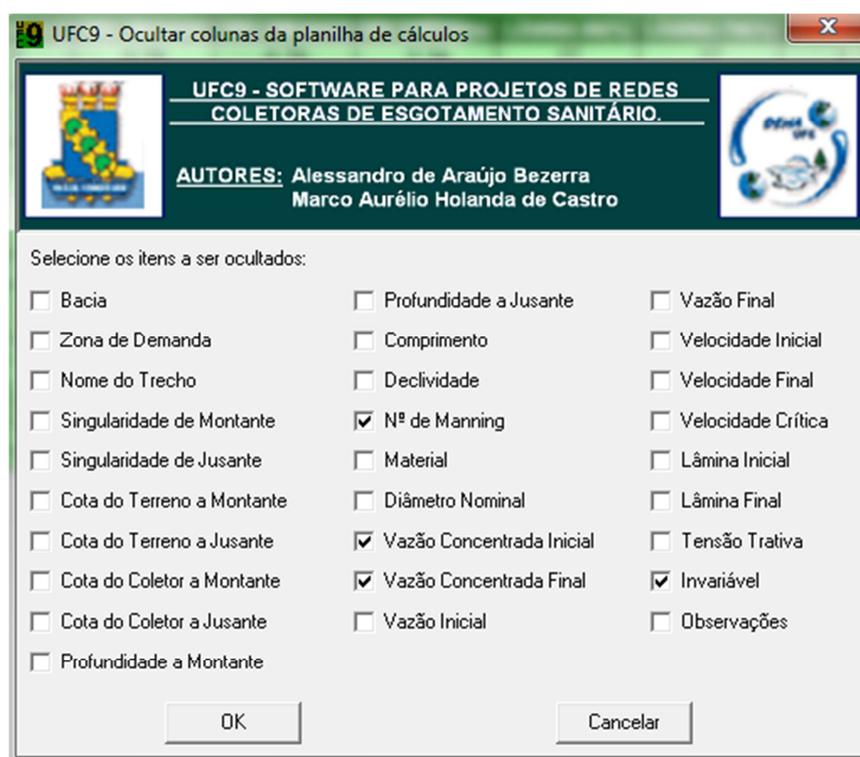


Figura 48 – Ocultar ou apresentar parâmetros na planilha.

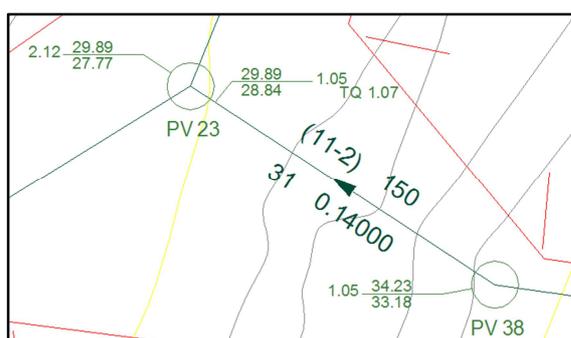


4.8. Correção dos dados da rede coletora

Com os parâmetros da rede coletora de esgoto devidamente dimensionados, a rede é refeita automaticamente, sendo substituídos nos trechos dados como material, declividade e diâmetro. Nas singularidades são alterados valores de profundidades, cotas de coletor e, quando necessário, são apresentados valores de tubos de queda ou degraus.

Quando um trecho chega a um PV com cota de fundo do tubo diferente da cota de fundo do PV, é inserido uma linha de chamada informando os dados de chegada do trecho, como mostra a **Figura 49**.

Figura 49 – Chegada do trecho (11-2) no PV 23.



4.9. Geração do perfil dos coletores

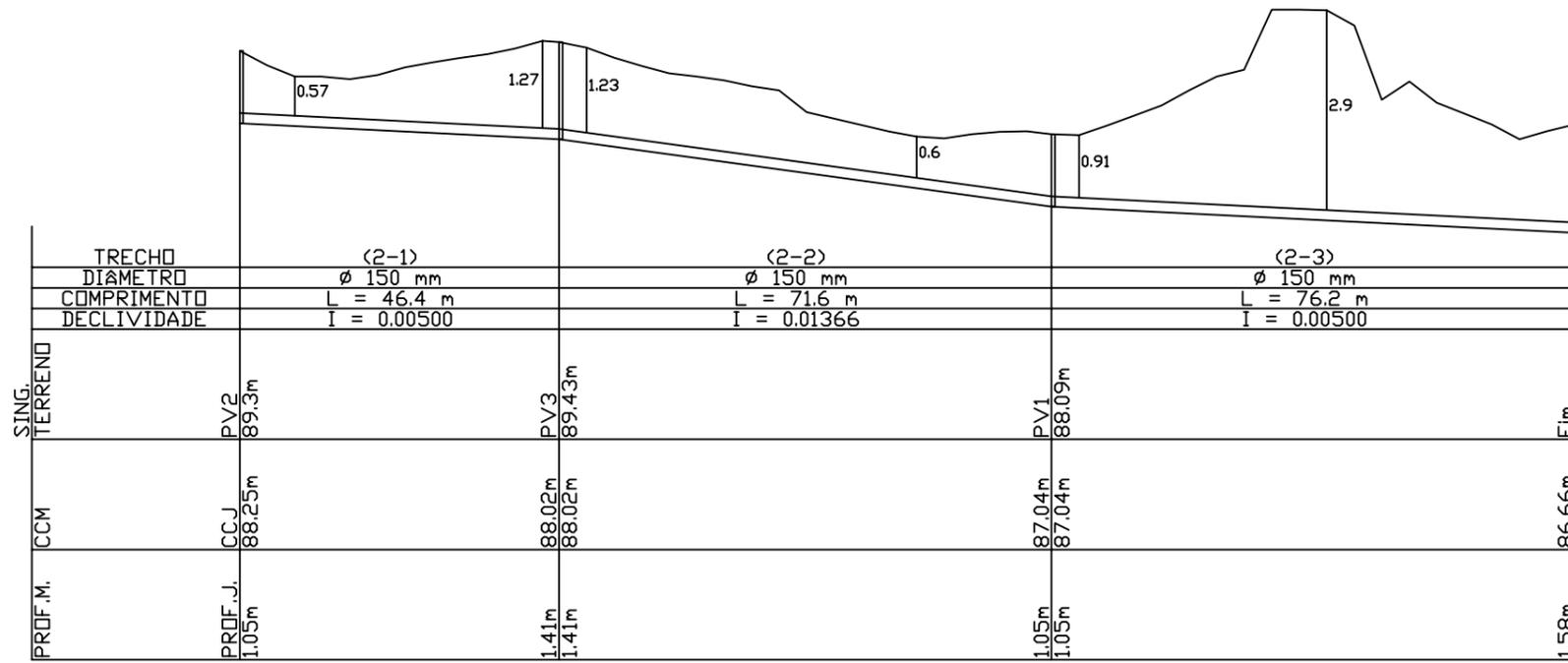
Como mostrado anteriormente, o perfil dos coletores é uma ótima ferramenta para analisar o projeto, principalmente no que diz respeito ao atendimento crítico e ao cruzamento de obstáculos.

Além disso, o desenho do perfil do terreno já é elaborado com a utilização do UFC9 pronto para plotagem, evitando, assim, edições de desenhos que oneram o trabalho.

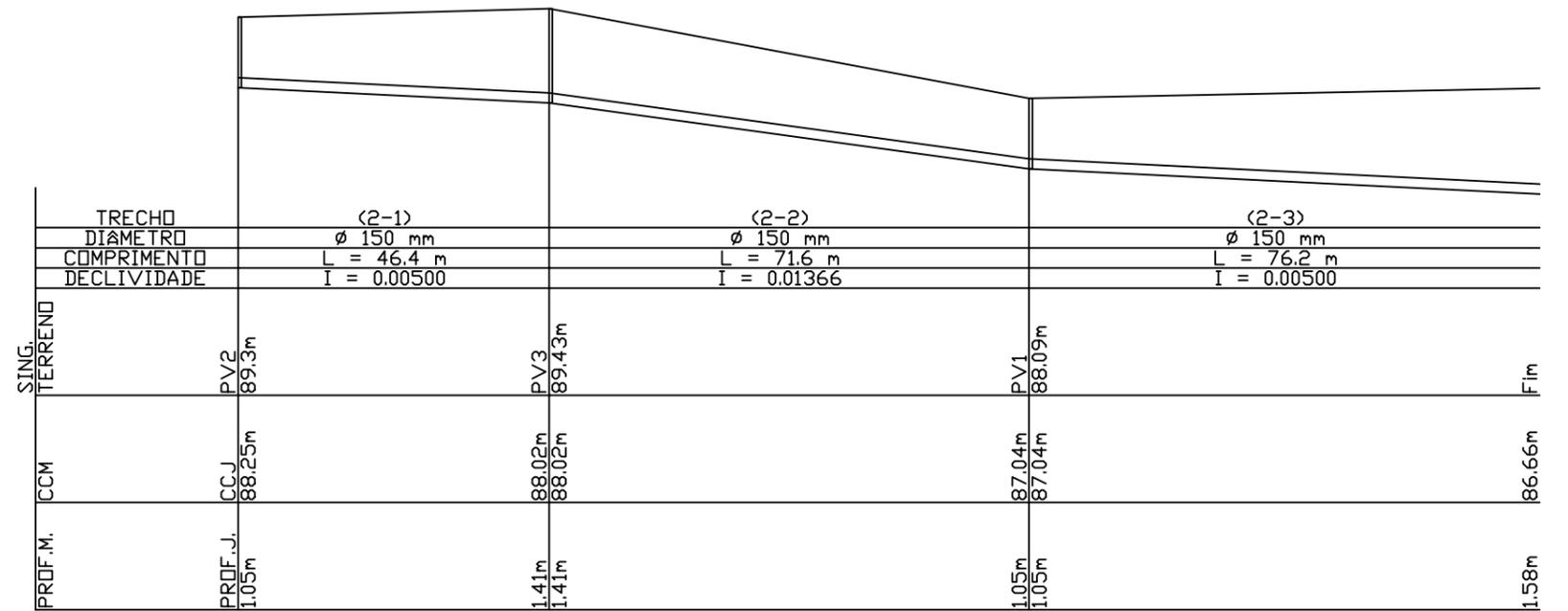
Um perfil traçado com cotas de terreno calculadas a cada 5 metros ou menos apresenta indicações de profundidades máximas e mínimas a cada trecho, facilitando a visualização de buracos ou morros no traçado dos trechos, como podemos observar na **Figura 50**.

Um perfil de coletor traçado com a utilização do UFC9 informa para cada trecho:

- Identificação;
- Diâmetro;
- Comprimento;
- Declividade;
- Identificação das singularidades de montante e jusante;
- Identificação das cotas de terreno de montante e jusante;
- Identificação das cotas de coletor de montante e jusante;
- Profundidades de montante e jusante.



1 PERFIL COM COTA A CADA 5 METROS
 ESCALA H: 1/1000 V: 1/100



2 PERFIL COM COTA A CADA PV
 ESCALA H: 1/1000 V: 1/100

PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	50 - COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE PERFIS DE COLETORES	ESCALA:	INDICADA
PÁGINA:	132	DATA:	NOV/2011

4.10. Quantitativo e orçamento

O quantitativo realizado e o orçamento gerado com a utilização do UFC9 são apresentados de forma amigável através de uma planilha de formato padrão utilizado para apresentação de orçamentos.

A **Figura 51** a seguir mostra a planilha orçamentária do UFC9.

Figura 51 – Orçamento gerado com o UFC9.

UFC9 - Orçamento da rede de esgoto!					
Orçamento					
UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO			TABELA: SEINFRA-CE TABELA 17 BDI(%) SERVIÇOS: 24 MATERIAIS: 10		
CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UN.	CUSTO TOTAL
	REDE COLETORA				293880.81
	SERVIÇOS				189157
	CADASTRO				
C0584	CADASTRO DE REDE DE ESGOTO/EMISSÁRIO/DRENAGEM (MEIO MAGNÉTICO)	m	2801.60	1.19	3333.90
	LOCAÇÃO				
C2876	LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DE REDE DE ESGOTO/EMISSÁRIO/DRENAGEM	m	2801.60	2.12	5939.39
	TRÂNSITO E SEGURANÇA				
C2892	PASSADIÇOS COM PRANCHAS DE MADEIRA	m²	140.08	24.70	3459.98
C2949	SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO NOTURNA	m	1400.80	1.43	2003.14
C2950	SINALIZAÇÃO EM TAPUME COM INDICATIVO DE FLUXO	m	14.01	4.28	59.96
C2947	SINALIZAÇÃO DE ADVERTÊNCIA	un	9.34	10.18	95.08
	MOVIMENTO DE TERRA				
C1267	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 2M	m³	1833.54	2.16	3960.45
C2920	REATERRO C/ COMPACTAÇÃO MECÂNICA E CONTROLE DO MATERIAL DA VALA	m³	1784.03	11.27	20106.02
C2989	ESPALHAMENTO MECÂNICO DE SOLO EM BOTA FORA	m²	49.51	1.35	66.84
C3319	NIVELAMENTO DE FUNDO DE VALAS	m²	1680.96	2.73	4589.02
C0095	APILOAMENTO DE PISO OU FUNDO DE VALAS C/MAÇO DE 30 A 60 KG	m²	1680.96	11.63	19549.56
	ESCORAMENTO				
C2798	ESCORAMENTO CONTÍNUO COM CHAPA COMPENSADA DE 12mm	m²	513.22	9.80	5029.56
	POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)				
C2908	POÇO DE VISITA C/ANÉIS DE CONCRETO - PROF. ATÉ 1.50m - D=1000mm	un	44.00	924.10	40660.40
C2310	TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO P/ POÇO DE VISITA DE DIAM.=1 M	un	44.00	514.00	22616.00
	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
C0283	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC JE DN 150mm	m	2801.60	2.31	6471.70
C0581	CADASTRO DE LIGAÇÃO	un	582.00	1.93	1123.26
C0611	CAIXA DE INSPEÇÃO EM ALVENARIA P/LIGAÇÃO CONDOMINIAL DI= (40X40)cm	un	582.00	86.07	50092.74
	MATERIAIS				104723.81
	FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO/CONEXÕES				
I6524	TUBO PVC DEFoFo DÚCTIL JÊI 1MPa DN 150 (NBR-7665-07/03/07)	m	2941.68	35.60	104723.81

Autores: Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo06@hotmail.com
 Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Os percentuais especificados no BDI para serviços e materiais podem ser alterados na própria planilha orçamentária do software, sendo o orçamento recalculado automaticamente.

O botão Default da planilha permite ao usuário editar preços ou alterar componentes de serviço, além de permitir ao projetista a inserção de outra tabela de

dados orçamentários como os itens e preços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, por exemplo.

4.11. Comparação entre o dimensionamento de uma rede coletora considerando atendimento crítico e não considerando o atendimento crítico

Para efeito de comparação de resultados, o software UFC9 foi testado comparando a mesma rede coletora considerando o atendimento crítico e não considerando o atendimento crítico.

Foi traçado 836,4 metros de rede coletora em PVC com diâmetro nominal de 150mm com a inserção de 15 poços de visita (PV).

A seguir serão apresentados alguns resultados considerando e não considerando o atendimento crítico.

Resumo dos resultados da rede coletora não considerando o atendimento crítico:

- Profundidades encontradas: 1,05; 1,60; 1,95 e 2,33 m;
- Profundidade máxima alcançada: 2,33 m;
- Quantidade total de escavação: 542,71 m³;
- Quantidade total de reaterro: 527,93 m³;
- Quantitativo de área escorada: 637,56 m²;
- Custo total sugerido pelo UFC9: R\$ 95.123,09.

Resumo dos resultados da rede coletora considerando o atendimento crítico:

- Profundidades encontradas: 1,05; 1,11; 1,33; 1,60; 1,73; 1,95 e 2,33 m;
- Profundidade máxima alcançada: 2,33 m;
- Quantidade total de escavação: 576,58 m³;
- Quantidade total de reaterro: 561,81 m³;
- Quantitativo de área escorada: 783,29 m²;
- Custo total sugerido pelo UFC9: R\$ 97.006,27.

Como podemos observar nos resultados apresentados, a diferença financeira entre atender ou não as casas se encontram na região do atendimento crítico para a rede considerada, é estimada em R\$ 1.883,18 (mil oitocentos e oitenta e três reais e dezoito centavos), o que equivale a 1,98%, considerando o custo sem o atendimento crítico, e a 1,94%, considerando o custo com o atendimento crítico.

Analisando-se as quantidades em cada tipo de atendimento, é possível perceber que essa diferença de custo ocorre devido ao aumento nas quantidades de escavação, reaterro e escoramento, o que já era esperado, já que o atendimento crítico gera aumento de profundidades.

Analisando-se as planilhas de cálculo e as plantas com os resultados, observa-se que os trechos (1-2) e (2-2) sofreram alteração de profundidades de jusante, o que mostra que eles foram aprofundados para garantir o atendimento crítico, o que também já era esperado, já que estes foram os trechos mostrados em planta cujo atendimento crítico não foi considerado.

O **Apêndice A** apresenta os resultados para a rede calculada sem considerar o atendimento crítico e o **Apêndice B** apresenta os resultados da rede considerando o atendimento crítico.

5. Conclusões

Neste trabalho foi desenvolvido um software, denominado UFC9, capaz de auxiliar de modo eficaz no desenvolvimento de projetos de esgotamento sanitário no que diz respeito a traçado, dimensionamento, quantitativos e orçamentos de redes coletoras de esgoto sanitário.

Para a elaboração deste software foram utilizadas as linguagens de programação AutoLISP, VBA (Visual Basic for Applications) e Visual Basic. A utilização destas linguagens permitiu de forma satisfatória a programação do software, além da intercomunicação entre elas.

A utilização do software possibilita a consideração de recobrimentos mínimos diferentes para cada trecho do projeto, podendo no mesmo projeto ser traçados trechos em vias públicas e em áreas de passeios. Os trechos também podem possuir diferentes taxas de contribuição linear e diferentes parâmetros de cálculo, ou seja, existe a possibilidade da consideração de regiões com diferentes densidades populacionais ou diferentes consumos per capita em uma mesma rede coletora.

A possibilidade de se projetar diferentes bacias de uma vez só, ou seja, mesmo desenho, dimensionamento e orçamento, facilita na análise dos resultados, além de diminuir o trabalho de salvar as redes em arquivos diferentes e depois juntá-las. Além disso, como as bacias estão no mesmo arquivo, não há a necessidade de se preocupar com numerações repetidas, já que a numeração automática do UFC9 não permite identificações de trechos e singularidades repetidas em um mesmo projeto.

A consideração do critério de atendimento crítico, permite ao projetista evitar transtornos e confusões durante a execução da obra. Normalmente, uma casa não atendida durante a execução da obra faz com que o morador procure o órgão responsável pela obra para resolver este problema. Muitas vezes a objeção do

morador é atendida, o que gera uma necessidade de reformulação do projeto, deixando o projetista original sob várias críticas.

A praticidade e velocidade da utilização do software UFC9 torna sua utilização viável para os projetistas da área de saneamento. O cálculo automático e bastante preciso dos quantitativos da rede coletora, possibilitando o cálculo de cotas de terreno em pontos entre singularidades, torna os seus resultados mais próximos da realidade. Isso não ocorre com os softwares disponíveis no mercado, cujo cálculo de cotas de terreno só acontecem nas singularidades.

No que diz respeito a traçado e dimensionamento, o UFC9 atende as recomendações da normas estabelecidas pela ABNT para redes coletoras de esgotamento sanitário.

6. Bibliografia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-9649 – *Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-12207 – *Projeto de interceptores de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-12208 – *Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-12209 – *Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-9814 – *Execução de rede coletora de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ALMEIDA, R. A. *LISP para AutoCAD*. 2ª. ed. Florianópolis: Visual Books, 2000. 192 p.

AutoCAD 2008 Help – User's Guide

Esgotamento Sanitário: Projeto e construção de sistemas de esgotamento sanitário: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Salvador: ReCESA, 2008. 183p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009. 941p.

KRAMER, B.; GIBB, J. *AutoCAD VBA Programming*. United States Of America: Miller Freeman Books, 1999. 366 p.

KRAMER, W. Programando em AutoLISP. São Paulo: Makron Books, 1995. 274 p.

MATSUMOTO, E. Y. *AutoLISP Linguagem de Programação do AutoCAD*. São Paulo: Editora Érica Ltda., 1998. 149 p.

Manual de saneamento. 3ª ed. rev. 1ª reimpressão – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

NUVOLARI, A. Esgoto sanitário – coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. Editora Edgard Blücher LTDA: 3ª reimpressão. São Paulo: FATEC, CEETEPS, FAT, 2009. 520p.

PERRY, G. *Aprenda em 21 dias Visual Basic 6*. Rio de Janeiro: Campus, 1999. 844 p.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica. 4ª ed. São Carlos: EESC/USP, 2006. 519p.

RODRIGUES, G. P. W. *Computação Gráfica e Modelagem Computacional Aplicadas ao Traçado e Dimensionamento Hidráulico de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário*, 2006.

ROSSMAN, L.; DICKINSON, R.; SCHADE, T.; CHAN, C.; SULLIVAN, D.; BURGESS, E. *Storm Water Management Model User's Manual, Version 5.0*. Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory Cincinnati, 2008.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. Universidade de São Paulo. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 1ª. Ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária, 1999. 547p.

<http://www.tubostambau.jeitoetalento.com/> - acessado em 13/09/2011

<http://www.parapuan.com.br/> - acessado em 13/09/2011

<http://www.saint-gobain.com.br> - acessado em 13/09/2011

<http://www.saint-gobain-canalizacao.com.br> - acessado em 13/09/2011

<http://www.divulga-se.01br.com/?sis=988&opc=84&sec=Tubos%20Ferro%20Fundido&men=MENU-1> -
acessado em 13/09/2011

<http://www.steelpipe.com.pt/1-7-spiral-welded-steel-pipe.html> - acessado
em 13/09/2011

<http://www.acatubos.com.br/tubos-concreto-agua-pluvial-esgoto.html#sanitario> - acessado em 13/09/2011

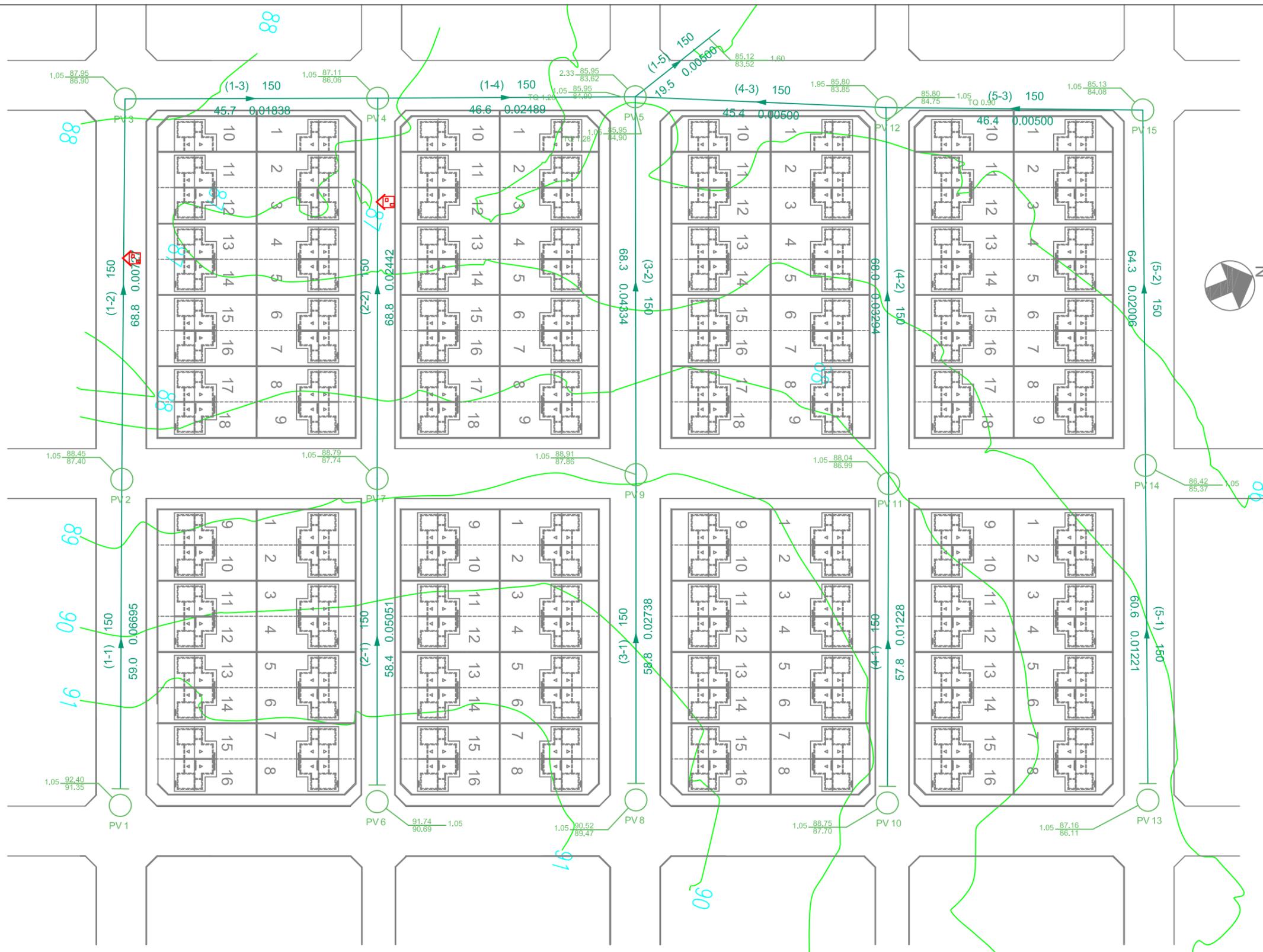
<http://www.fcth.br/tigre/> - acessado em 05/01/2012

Infra-Estrutura – Esgoto – Catálogo técnico – TIGRE. Em 25/09/2011

Tubos e Conexões em PRFV e RPVC – Catálogo de Produto – Petrofisa.
Em 25/09/2011

Catálogo Tigre-ADS – Linha de Produtos – Sistemas de Saneamento. Em
25/09/2011

**APÊNDICE A – RESULTADOS PARA A REDE
CALCULADA SEM CONSIDERAR O ATENDIMENTO
CRÍTICO**



PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	APÊNDICE A - REDE NÃO CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO	ESCALA:	1/750
PÁGINA:	142	DATA:	NOV/2011

DIMENSIONAMENTO GERADO PELO UFC9 - NÃO CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO

UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

TRECHO	Z. DEMANDA	BACIA	SING. MON.	SING. JUS.	CTM (m)	CTJ (m)	CCM (m)	CCJ (m)	PROF. MON(m)	PROF. JUS(m)	COMPRIM.(m)	DECLIV.(m/m)
(1-1)	1	A	PV1	PV2	92,40	88,45	91,35	87,40	1,05	1,05	59,00	0,06695
(1-2)	1	A	PV2	PV3	88,45	87,95	87,40	86,90	1,05	1,05	68,80	0,00727
(1-3)	1	A	PV3	PV4	87,95	87,11	86,90	86,06	1,05	1,05	45,70	0,01838
(1-4)	1	A	PV4	PV5	87,11	85,95	86,06	84,90	1,05	1,05	46,60	0,02489
(1-5)	1	A	PV5	Fim	85,95	85,12	83,62	83,52	2,33	1,60	19,50	0,00500
(2-1)	1	A	PV6	PV7	91,74	88,79	90,69	87,74	1,05	1,05	58,40	0,05051
(2-2)	1	A	PV7	PV4	88,79	87,11	87,74	86,06	1,05	1,05	68,80	0,02442
(3-1)	1	A	PV8	PV9	90,52	88,91	89,47	87,86	1,05	1,05	58,80	0,02738
(3-2)	1	A	PV9	PV5	88,91	85,95	87,86	84,90	1,05	1,05	68,30	0,04334
(4-1)	1	A	PV10	PV11	88,75	88,04	87,70	86,99	1,05	1,05	57,80	0,01228
(4-2)	1	A	PV11	PV12	88,04	85,80	86,99	84,75	1,05	1,05	68,00	0,03294
(4-3)	1	A	PV12	PV5	85,80	85,95	83,85	83,62	1,95	2,33	45,40	0,00500
(5-1)	1	A	PV13	PV14	87,16	86,42	86,11	85,37	1,05	1,05	60,60	0,01221
(5-2)	1	A	PV14	PV15	86,42	85,13	85,37	84,08	1,05	1,05	64,30	0,02006
(5-3)	1	A	PV15	PV12	85,13	85,80	84,08	83,85	1,05	1,95	46,40	0,00500

Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia

Departamento de Hidráulica e Ambiental - Laboratório de Hidráulica Computacional

Campus do Pici - Bloco 713 - CEP: 60451-970

Tel/Fax: [85] 3366.9589

Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Programador: [Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo86@hotmail.com]

DIMENSIONAMENTO GERADO PELO UFC9 - NÃO CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO

UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

TRECHO	MANNING	MATERIAL	DN(mm)	Q CONC INI(l/s)	Q CONC FIN(l/s)	Q INI (l/s)	Q FIN (l/s)	VEL. INI (m/s)	VEL. FIN (m/s)	VEL CRÍT(m/s)
(1-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,22	0,30	1,07	1,07	2,10
(1-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,47	0,64	0,49	0,49	2,69
(1-3)	0,010	PVC	150	0	0	0,64	0,87	0,68	0,68	2,42
(1-4)	0,010	PVC	150	0	0	1,29	1,75	0,76	0,79	2,43
(1-5)	0,010	PVC	150	0	0	3,09	4,22	0,53	0,57	3,47
(2-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,22	0,29	0,97	0,97	2,17
(2-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,47	0,64	0,75	0,75	2,35
(3-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,22	0,30	0,78	0,78	2,32
(3-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,47	0,64	0,92	0,92	2,20
(4-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,21	0,29	0,59	0,59	2,54
(4-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,47	0,63	0,84	0,84	2,27
(4-3)	0,010	PVC	150	0	0	1,27	1,73	0,43	0,45	2,88
(5-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,22	0,31	0,59	0,59	2,54
(5-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,46	0,63	0,70	0,70	2,40
(5-3)	0,010	PVC	150	0	0	0,63	0,86	0,43	0,43	2,80

Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia

Departamento de Hidráulica e Ambiental - Laboratório de Hidráulica Computacional

Campus do Pici - Bloco 713 - CEP: 60451-970

Tel/Fax: [85] 3366.9589

Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Programador: [Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo86@hotmail.com]

DIMENSIONAMENTO GERADO PELO UFC9 - NÃO CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO

UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

TRECHO	LÂMINA INI(%)	LÂMINA FIN(%)	T.TRAT. (Pa)	INVARIÁVEL	OBS.
(1-1)	13	13	8,4	NÃO	
(1-2)	23	23	1,5	NÃO	
(1-3)	18	18	3,1	NÃO	
(1-4)	17	18	3,9	NÃO	TQ 1.28
(1-5)	37	43	1,5	NÃO	
(2-1)	14	14	6,7	NÃO	
(2-2)	17	17	3,8	NÃO	
(3-1)	17	17	4,2	NÃO	
(3-2)	15	15	6,0	NÃO	TQ 1.28
(4-1)	20	20	2,2	NÃO	
(4-2)	16	16	4,8	NÃO	TQ 0.90
(4-3)	25	27	1,1	NÃO	
(5-1)	20	20	2,2	NÃO	
(5-2)	18	18	3,3	NÃO	
(5-3)	25	25	1,1	NÃO	

Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia

Departamento de Hidráulica e Ambiental - Laboratório de Hidráulica Computacional

Campus do Pici - Bloco 713 - CEP: 60451-970

Tel/Fax: [85] 3366.9589

Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Programador: [Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo86@hotmail.com]

ORÇAMENTO GERADO PELO UFC9 - NÃO CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO

UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
 DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
 LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL
 UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

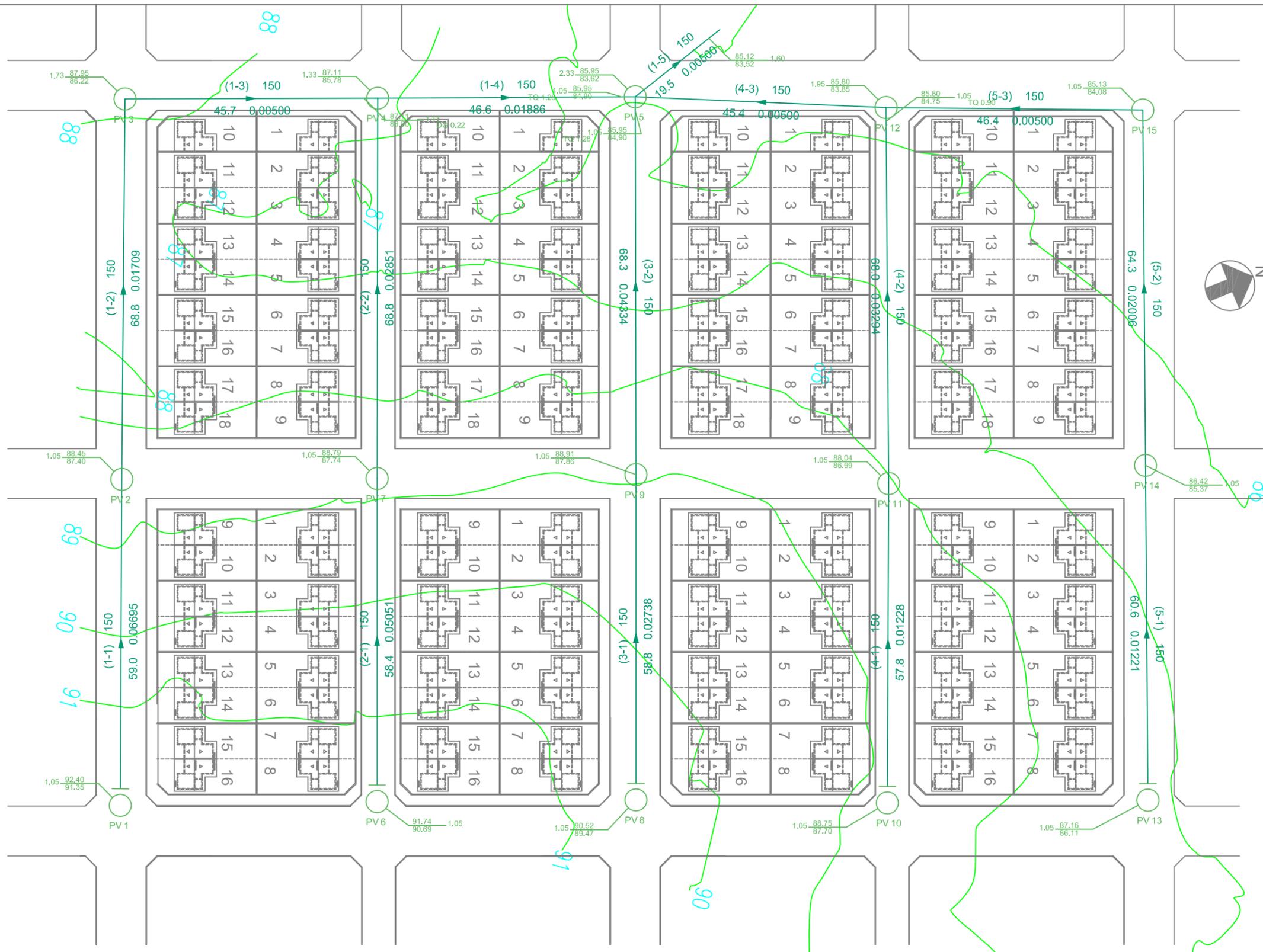
TABELA: SEINFRA-CE TABELA 17
 BDI(%)
 SERVIÇOS: 24
 MATERIAIS: 10

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UN.	CUSTO TOTAL
	REDE COLETORA				95.123,09
	SERVIÇOS				63.858,46
	CADASTRO				
C0584	CADASTRO DE REDE DE ESGOTO/EMISSÁRIO/DRENAGEM (MEIO MAGNÉTICO)	m	836,4	1,19	995,32
	LOCAÇÃO				
C2876	LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DE REDE DE ESGOTO/EMISSÁRIO/DRENAGEM	m	836,4	2,12	1.773,17
	TRÂNSITO E SEGURANÇA				
C2892	PASSADIÇOS COM PRANCHAS DE MADEIRA	m ²	41,82	24,7	1.032,95
C2949	SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO NOTURNA	m	418,2	1,43	598,03
C2950	SINALIZAÇÃO EM TAPUME COM INDICATIVO DE FLUXO	m	4,18	4,28	17,89
C2947	SINALIZAÇÃO DE ADVERTÊNCIA	un	2,79	10,18	28,40
	MOVIMENTO DE TERRA				
C1267	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 2M	m ³	540,7	2,16	1.167,91
C1268	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 4M	m ³	2,01	2,48	4,98
C2920	REATERRO C/ COMPACTAÇÃO MECÂNICA E CONTROLE DO MATERIAL DA VALA	m ³	527,93	11,27	5.949,77
C2989	ESPALHAMENTO MECÂNICO DE SOLO EM BOTA FORA	m ³	14,78	1,35	19,95
C3319	NIVELAMENTO DE FUNDO DE VALAS	m ²	501,84	2,73	1.370,02
C0095	APILOAMENTO DE PISO OU FUNDO DE VALAS C/MAÇO DE 30 A 60 KG	m ²	501,84	11,63	5.836,40
	ESCORAMENTO				
C2798	ESCORAMENTO CONTÍNUO COM CHAPA COMPENSADA DE 12mm	m ²	637,56	9,8	6.248,09
	POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)				
C2908	POÇO DE VISITA C/ANÉIS DE CONCRETO - PROF. ATÉ 1.50m - D=1000mm	un	15	924,1	13.861,50
C2310	TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO P/ POÇO DE VISITA DE DIAM=1 M	un	15	514	7.710,00
	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
C0283	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC JE DN 150mm	m	836,4	2,31	1.932,08
C0581	CADASTRO DE LIGAÇÃO	un	174	1,93	335,82
C0611	CAIXA DE INSPEÇÃO EM ALVENARIA P/LIGAÇÃO CONDOMINIAL DI= (40X40)cm	un	174	86,07	14.976,18
	MATERIAIS				31.264,63
	FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO/CONEXÕES				
I6524	TUBO PVC DEFoFo DÚCTIL JEI 1MPa DN 150 (NBR-7665-07/03/07)	m	878,22	35,6	31.264,63

Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Programador: [Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo86@hotmail.com]

**APÊNDICE B – RESULTADOS PARA A REDE
CALCULADA CONSIDERANDO O ATENDIMENTO
CRÍTICO**



PROJETO:	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO O CRITÉRIO DE ATENDIMENTO CRÍTICO.		
ALUNO:	ALESSANDRO DE ARAÚJO BEZERRA		
ORIENTADOR:	MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO		
FIGURA:	APÊNDICE B - REDE CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO	ESCALA:	1/750
PÁGINA:	148	DATA:	NOV/2011

DIMENSIONAMENTO GERADO PELO UFC9 - CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO

UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

TRECHO	Z. DEMANDA	BACIA	SING. MON.	SING. JUS.	CTM (m)	CTJ (m)	CCM (m)	CCJ (m)	PROF. MON(m)	PROF. JUS(m)	COMPRIM.(m)	DECLIV.(m/m)
(1-1)	1	A	PV1	PV2	92,40	88,45	91,35	87,40	1,05	1,05	59,00	0,06695
(1-2)	1	A	PV2	PV3	88,45	87,95	87,40	86,22	1,05	1,73	68,80	0,01709
(1-3)	1	A	PV3	PV4	87,95	87,11	86,22	86,00	1,73	1,11	45,70	0,00500
(1-4)	1	A	PV4	PV5	87,11	85,95	85,78	84,90	1,33	1,05	46,60	0,01886
(1-5)	1	A	PV5	Fim	85,95	85,12	83,62	83,52	2,33	1,60	19,50	0,00500
(2-1)	1	A	PV6	PV7	91,74	88,79	90,69	87,74	1,05	1,05	58,40	0,05051
(2-2)	1	A	PV7	PV4	88,79	87,11	87,74	85,78	1,05	1,33	68,80	0,02851
(3-1)	1	A	PV8	PV9	90,52	88,91	89,47	87,86	1,05	1,05	58,80	0,02738
(3-2)	1	A	PV9	PV5	88,91	85,95	87,86	84,90	1,05	1,05	68,30	0,04334
(4-1)	1	A	PV10	PV11	88,75	88,04	87,70	86,99	1,05	1,05	57,80	0,01228
(4-2)	1	A	PV11	PV12	88,04	85,80	86,99	84,75	1,05	1,05	68,00	0,03294
(4-3)	1	A	PV12	PV5	85,80	85,95	83,85	83,62	1,95	2,33	45,40	0,00500
(5-1)	1	A	PV13	PV14	87,16	86,42	86,11	85,37	1,05	1,05	60,60	0,01221
(5-2)	1	A	PV14	PV15	86,42	85,13	85,37	84,08	1,05	1,05	64,30	0,02006
(5-3)	1	A	PV15	PV12	85,13	85,80	84,08	83,85	1,05	1,95	46,40	0,00500

Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia

Departamento de Hidráulica e Ambiental - Laboratório de Hidráulica Computacional

Campus do Pici - Bloco 713 - CEP: 60451-970

Tel/Fax: [85] 3366.9589

Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Programador: [Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo86@hotmail.com]

DIMENSIONAMENTO GERADO PELO UFC9 - CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO

UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

TRECHO	MANNING	MATERIAL	DN(mm)	Q CONC INI(l/s)	Q CONC FIN(l/s)	Q INI (l/s)	Q FIN (l/s)	VEL. INI (m/s)	VEL. FIN (m/s)	VEL CRÍT(m/s)
(1-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,22	0,30	1,07	1,07	2,10
(1-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,47	0,64	0,66	0,66	2,44
(1-3)	0,010	PVC	150	0	0	0,64	0,87	0,43	0,43	2,80
(1-4)	0,010	PVC	150	0	0	1,29	1,75	0,69	0,72	2,50
(1-5)	0,010	PVC	150	0	0	3,09	4,22	0,53	0,57	3,47
(2-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,22	0,29	0,97	0,97	2,17
(2-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,47	0,64	0,79	0,79	2,31
(3-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,22	0,30	0,78	0,78	2,32
(3-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,47	0,64	0,92	0,92	2,20
(4-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,21	0,29	0,59	0,59	2,54
(4-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,47	0,63	0,84	0,84	2,27
(4-3)	0,010	PVC	150	0	0	1,27	1,73	0,43	0,45	2,88
(5-1)	0,010	PVC	150	0	0	0,22	0,31	0,59	0,59	2,54
(5-2)	0,010	PVC	150	0	0	0,46	0,63	0,70	0,70	2,40
(5-3)	0,010	PVC	150	0	0	0,63	0,86	0,43	0,43	2,80

Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia

Departamento de Hidráulica e Ambiental - Laboratório de Hidráulica Computacional

Campus do Pici - Bloco 713 - CEP: 60451-970

Tel/Fax: [85] 3366.9589

Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Programador: [Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo86@hotmail.com]

DIMENSIONAMENTO GERADO PELO UFC9 - CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO

UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL

UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

TRECHO	LÂMINA INI(%)	LÂMINA FIN(%)	T.TRAT. (Pa)	INVARIÁVEL	OBS.
(1-1)	13	13	8,4	NÃO	
(1-2)	19	19	2,9	NÃO	
(1-3)	25	25	1,1	NÃO	DG 0.22
(1-4)	18	20	3,1	NÃO	TQ 1.28
(1-5)	37	43	1,5	NÃO	
(2-1)	14	14	6,7	NÃO	
(2-2)	16	16	4,3	NÃO	
(3-1)	17	17	4,2	NÃO	
(3-2)	15	15	6,0	NÃO	TQ 1.28
(4-1)	20	20	2,2	NÃO	
(4-2)	16	16	4,8	NÃO	TQ 0.90
(4-3)	25	27	1,1	NÃO	
(5-1)	20	20	2,2	NÃO	
(5-2)	18	18	3,3	NÃO	
(5-3)	25	25	1,1	NÃO	

Universidade Federal do Ceará - Centro de Tecnologia

Departamento de Hidráulica e Ambiental - Laboratório de Hidráulica Computacional

Campus do Pici - Bloco 713 - CEP: 60451-970

Tel/Fax: [85] 3366.9589

Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Programador: [Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo86@hotmail.com]

ORÇAMENTO GERADO PELO UFC9 - CONSIDERANDO O ATENDIMENTO CRÍTICO

UFC - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
 DEHA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
 LAHC - LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL
 UFC9 - SOFTWARE PARA PROJETOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

TABELA: SEINFRA-CE TABELA 17
 BDI(%)
 SERVIÇOS: 24
 MATERIAIS: 10

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNIDADE	QUANTIDADE	CUSTO UN.	CUSTO TOTAL
	REDE COLETORA				97.006,27
	SERVIÇOS				65.741,64
	CADASTRO				
C0584	CADASTRO DE REDE DE ESGOTO/EMISSÁRIO/DRENAGEM (MEIO MAGNÉTICO)	m	836,4	1,19	995,32
	LOCAÇÃO				
C2876	LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DE REDE DE ESGOTO/EMISSÁRIO/DRENAGEM	m	836,4	2,12	1.773,17
	TRÂNSITO E SEGURANÇA				
C2892	PASSADIÇOS COM PRANCHAS DE MADEIRA	m ²	41,82	24,7	1.032,95
C2949	SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO NOTURNA	m	418,2	1,43	598,03
C2950	SINALIZAÇÃO EM TAPUME COM INDICATIVO DE FLUXO	m	4,18	4,28	17,89
C2947	SINALIZAÇÃO DE ADVERTÊNCIA	un	2,79	10,18	28,40
	MOVIMENTO DE TERRA				
C1267	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 2M	m ³	574,45	2,16	1.240,81
C1268	ESCAVAÇÃO MECAN. CAMPO ABERTO EM TERRA EXCETO ROCHA ATÉ 4M	m ³	2,13	2,48	5,28
C2920	REATERRO C/ COMPACTAÇÃO MECÂNICA E CONTROLE DO MATERIAL DA VALA	m ³	561,81	11,27	6.331,60
C2989	ESPALHAMENTO MECÂNICO DE SOLO EM BOTA FORA	m ³	14,78	1,35	19,95
C3319	NIVELAMENTO DE FUNDO DE VALAS	m ²	501,84	2,73	1.370,02
C0095	APILOAMENTO DE PISO OU FUNDO DE VALAS C/MAÇO DE 30 A 60 KG	m ²	501,84	11,63	5.836,40
	ESCORAMENTO				
C2798	ESCORAMENTO CONTÍNUO COM CHAPA COMPENSADA DE 12mm	m ²	783,29	9,8	7.676,24
	POÇOS E CAIXAS (INCLUSIVE ASSENTAMENTO DE TAMPÃO)				
C2908	POÇO DE VISITA C/ANÉIS DE CONCRETO - PROF. ATÉ 1.50m - D=1000mm	un	15	924,1	13.861,50
C2310	TAMPÃO DE FERRO FUNDIDO P/ POÇO DE VISITA DE DIAM=1 M	un	15	514	7.710,00
	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC, JUNTA ELÁSTICA - INCLUSIVE LIMPEZA E TESTE				
C0283	ASSENTAMENTO DE TUBOS E CONEXÕES EM PVC JE DN 150mm	m	836,4	2,31	1.932,08
C0581	CADASTRO DE LIGAÇÃO	un	174	1,93	335,82
C0611	CAIXA DE INSPEÇÃO EM ALVENARIA P/LIGAÇÃO CONDOMINIAL DI= (40X40)cm	un	174	86,07	14.976,18
	MATERIAIS				31.264,63
	FORNECIMENTO DE TUBULAÇÃO/CONEXÕES				
I6524	TUBO PVC DEFoFo DÚCTIL JEI 1MPa DN 150 (NBR-7665-07/03/07)	m	878,22	35,6	31.264,63

Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda de Castro - marco@ufc.br

Programador: [Alessandro de Araújo Bezerra - alessandroaraujo86@hotmail.com]