

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**MESTRADO EM SANEAMENTO AMBIENTAL**

**COMPUTAÇÃO GRÁFICA E MODELAGEM**  
**COMPUTACIONAL APLICADAS AO TRAÇADO E**  
**DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES**  
**COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO**

**GUSTAVO PAIVA WEYNE RODRIGUES**

**FORTALEZA – CE**  
**MAIO/2006**

**GUSTAVO PAIVA WEYNE RODRIGUES**

**COMPUTAÇÃO GRÁFICA E MODELAGEM  
COMPUTACIONAL APLICADAS AO TRAÇADO E  
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE REDES  
COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre.

**Orientador: Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, Ph.D.**

**FORTALEZA – CE  
MAIO/2006**

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Saneamento Ambiental, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de acordo com as normas da ética científica.

---

Gustavo Paiva Weyne Rodrigues

Dissertação aprovada com louvor em 12 de maio de 2006.

---

Orientador: Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro (orientador), Ph.D.  
Universidade Federal do Ceará

---

Membro: Prof. Ernesto da Silva Pitombeira, Ph.D.  
Universidade Federal do Ceará

---

Membro: Prof. Rogério Campos, Ph.D.  
Universidade de Fortaleza

*"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode  
começar agora e fazer um novo fim"*

Francisco Cândido Xavier

A DEUS pelo dom da vida, o amor infinito, a bondade e tudo que me deu nesta breve existência.

Ao meu pai Glaise Weyne Rodrigues, minha mãe Eniziê Paiva Weyne Rodrigues e minha irmã Emanuela Paiva Weyne Rodrigues por todo amor, carinho, paciência, compreensão, incentivo aos estudos, enfim por tudo que me proporcionaram nesta vida em todos os momentos.

Aos meus tios inesquecíveis (in memoriam): Greuze, Helenilza, Onésima, Mário e Wilson.

### **AGRADECIMENTOS ESPECIAIS**

Aos grandes amigos que me ajudaram em momentos tão difíceis na minha vida em 2005, que às vezes pareciam insuperáveis: Florisval, Erasmo, Clayrton, Germana, Érika, André, Juliana, Geórgia, Luis Henrique, Hermano, Cassiana, Emílio e Arinda.

Ao meu grande mestre e professor de saneamento, o Engenheiro Francisco Diogo da Costa Neto. Um amigo que tenho muito carinho, respeito e admiração por tudo que representa como profissional e ser humano.

Ao professor Marco Aurélio por tudo que me proporcionou ao longo deste curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a DEUS, por ter me dado a oportunidade de seguir seus caminhos e ensinamentos com muito mais determinação.

Aos meus pais e minha irmã pelo incansável incentivo aos estudos e melhoria de minha carreira profissional em todos os momentos difíceis. Ao meu irmão torto Florisval Mareco Nunes e família. À Alcione, Luciene e Maristela por me agüentarem todos esses anos.

Ao professor Marco Aurélio Holanda de Castro por ter me dado a oportunidade de participar de um projeto de imensa importância na minha vida profissional, por toda a paciência, colaboração e, principalmente, seus ensinamentos.

Aos professores Suetônio Mota, John Kenedy de Araújo, Marisete Dantas e Ernesto Pitombeira e Francisco das Chagas Neto, por todos os caminhos abertos dentro do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

Aos amigos de hoje e sempre: Erasmo Augusto e família, Clayrton Laurindo e família, Henrique e Ruy Azevedo e família, Emilio Maciel e família, Carlos Alberto Fernandes Dutra e família, Francisco Hermano Nogueira e família, Manoel Rodrigues e família, e tantos outros que fazem parte da minha vida.

Aos amigos que conquistei e ficarão para sempre: Germana Menescal, Érika Rocha, André Bezerra, Juliana Oliveira, Márcio Pessoa Botto, Luis Henrique, Marcus Barbosa, Magno Gonçalves, Alessandro de Araújo, Soraia Tavares, Erivelton Ferreira e Viviane Viana.

Aos amigos da NE-Consult: Diogo, Carlos Alberto e Ricardo Jorge.

Aos meus companheiros do Grupo de Estudos em Hidráulica Computacional: Germana Menescal (por tudo), Luis Henrique Magalhães Costa (pelo algoritmo das vazões), Marcus Barbosa (por todas as trocas de idéias), Magno Gonçalves da Costa (por ser o professor do GEHC), José Neto, Renata Shirley, em especial ao co-programador do UFC9, o bolsista Alessandro de Araújo Bezerra.

Aos outros companheiros de mestrado e doutorado: Marcus Erick, Neyliane Costa, Aparecida Milhome, Eliezer, Luewton Lemos, Nilena Dias, Celme Torres, por toda a ótima que convivência que tivemos.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental: Dalya, Xavier, Betinha e Joviene.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro sem o qual não teria sido possível realizar esta pesquisa.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xvi
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. O SANEAMENTO	21
2.2. SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	21
2.2.1. Considerações gerais	21
2.2.2. Definição	22
2.2.3. Tipos de sistemas de esgotos	23
2.2.4. Partes de um sistema de esgoto sanitário	24
2.2.5. Normas para projetos de sistemas de esgotamento sanitário	26
2.3. ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E PROJETOS DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	27
2.3.1. Estudos de concepção	27
2.3.2. Projetos de sistemas de esgotamento sanitário	28
2.4. CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS	29
2.4.1. Físicas	29
2.4.2. Químicas	29
2.4.3. Biológicas	29
2.5. PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DAS VAZÕES DOS ESGOTOS	29
2.5.1. População de projeto	29
2.5.2. Densidade demográfica	33

2.5.3. Contribuição <i>Per Capita</i>	33
2.5.4. Coeficientes de variação de vazão	34
2.5.5. Coeficiente de retorno	35
2.5.6. Águas de infiltração	35
2.5.7. Esgoto industrial	36
2.6. CÁLCULO DAS VAZÕES DOS ESGOTOS	37
2.7. REDES COLETORAS DE ESGOTOS	38
2.7.1. Introdução	38
2.7.2. Custos em redes coletoras de esgotos	38
2.7.3. Propriedades físicas do esgoto sanitário	39
2.7.4. Elementos geométricos dos coletores de esgoto	39
2.8. HIDRÁULICA DOS COLETORES DE ESGOTOS	41
2.8.1. Introdução	41
2.8.2. escoamento em canais abertos	41
2.8.3. Forças atuantes em um canal aberto	44
2.8.4. Equações gerais	47
2.8.5. Energia específica em canais abertos	49
2.8.6. Número de Froude	51
2.8.7. Equações para cálculo de perdas de carga	52
2.9. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE REDES COLETORAS DE ESGOTOS	54
2.9.1. Cálculo das vazões totais	54
2.9.2. Cálculo das vazões dos coletores	57
2.9.3. Características técnicas para o dimensionamento	59
2.10. ÓRGÃOS ACESSÓRIOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTOS	60
2.10.1. Poço de visita (PV)	60
2.10.2. Tubo de inspeção e limpeza (TIL) ou poço de inspeção (PI)	62
2.10.3. Terminal de limpeza (TL)	63
2.10.4. Caixa de Passagem (CP)	64

2.10.5. Tubo de queda (TQ)	65
2.10.6. Degrau (DG)	66
2.10.7. Sifão invertido (SI)	66
2.11. INTERCEPTORES DE ESGOTOS	67
2.11.1. Introdução	67
2.11.2. Determinação das vazões	67
2.11.3. Composição de hidrogramas	70
2.11.4. Dimensionamento hidráulico de grandes coletores e interceptores	70
2.11.5. Remanso em interceptores de esgoto	72
2.11.6. Traçado de interceptores de esgoto	73
2.12. MATERIAIS DAS TUBULAÇÕES DE ESGOTO	74
2.12.1. Introdução	74
2.12.2. PVC	75
2.12.3. Ferro fundido	75
2.12.4. Cimento-amianto	76
2.12.5. Aço	76
2.12.6. Concreto	77
2.13. LIGAÇÕES PREDIAIS	77
3. METODOLOGIA	78
3.1. DESCRIÇÃO GERAL	78
3.2. MODELO COMPUTACIONAL (UFC9) – MÓDULO AUTOCAD	80
3.2.1. Introdução	80
3.2.2. Traçado da rede	80
3.2.3. Cálculo das taxas de contribuição linear	81
3.3. MODELO COMPUTACIONAL (UFC9) – MÓDULO VISUAL BASIC	83
3.3.1. Introdução	83
3.3.2. Estrutura do UFC9	83
3.3.3. Algoritmo das vazões	84

3.3.4. Considerações sobre a tensão trativa e declividade	87
3.3.5. Metodologia de dimensionamento hidráulico de qualquer trecho	91
3.3.6 Verificação das condições de controle de remanso	94
3.3.7. Cálculos das profundidades dos trechos que são pontas-secas	96
3.3.8. Algoritmo para diminuir a profundidade da singularidade de jusante	97
3.3.9. Cálculos de trechos que recebem coletor afluyente	98
3.3.10. Previsão de tubo de queda	99
3.3.11. Geração da planilha	99
3.3.12. Mudanças de dados e parâmetros no UFC9	100
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	101
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	113
5.1. CONCLUSÕES	113
5.2. RECOMENDAÇÕES	115
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
APÊNDICES	119
APÊNDICE A – EXEMPLO DE ARQUIVO DE ENTRADA (ENTRADA.U9E)	120
APÊNDICE B – EXEMPLO DE ARQUIVO DE SAÍDA (ENTRADA.U9S)	121
APÊNDICE C – MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO UFC9	122

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – Coletor de seção circular	40
<b>Figura 2.2</b> – escoamento uniforme em canais abertos	42
<b>Figura 2.3</b> – Forças atuantes em um coletor de esgotos	45
<b>Figura 2.4</b> – Distribuição experimental da tensão trativa em conduto circular	47
<b>Figura 2.5</b> – Perfil da carga total em um conduto livre	48
<b>Figura 2.6</b> – Energia específica em canais abertos	49
<b>Figura 2.7</b> – Poço de visita (corte)	61
<b>Figura 2.8</b> – Representação de um PV no UFC9	61
<b>Figura 2.9</b> – Tubo de inspeção e limpeza (planta)	63
<b>Figura 2.10</b> – Representação de um TIL no UFC9	63
<b>Figura 2.11</b> – Terminal de limpeza (planta)	64
<b>Figura 2.12</b> – Representação de um TL no UFC9	64
<b>Figura 2.13</b> – Caixa de passagem (corte)	65
<b>Figura 2.14</b> – Tubo de queda (corte)	65
<b>Figura 2.15</b> – Sifão invertido (corte)	66
<b>Figura 2.16</b> – Valores do coeficiente de reforço $K$ para emissários	69
<b>Figura 2.17</b> – Curva de remanso em um interceptor	73
<b>Figura 3.1</b> – Esquema do método proposto (UFC9)	80
<b>Figura 3.2</b> – Tela de cálculo das taxas de contribuição linear do UFC9 – módulo AutoCAD	82
<b>Figura 3.3</b> – Tela inicial do UFC9 – módulo Visual Basic	83
<b>Figura 3.4</b> – Esquema do algoritmo das vazões	86
<b>Figura 3.5</b> – Ajuste para $\sigma = 1,0 \text{ Pa}$ e $n = 0,013$ , determinação da equação I em função de Q	88

<b>Figura 3.6</b> – Seção transversal de um coletor de esgoto	92
<b>Figura 3.7</b> – Esquema do algoritmo para diminuir a profundidade da singularidade de jusante	98
<b>Figura 3.8</b> – Planilha gerada no UFC9 - módulo Visual Basic	100
<b>Figura 4.1</b> – Setor da rede do SES de Caxias, MA (Bacia B)	104
<b>Figura 4.2</b> – Rede do SES de Mombaça, CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A)	105

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> – Valores do coeficiente n de Manning para diferentes tipos de materiais	54
<b>Tabela 3.1</b> – Valores do coeficiente n de Manning e suas respectivas fórmulas de declividade mínima para uma tensão trativa mínima de 1,0 Pa	89
<b>Tabela 3.2</b> – Valores do coeficiente n de Manning e suas respectivas fórmulas de declividade mínima para uma tensão trativa mínima de 1,5 Pa	90
<b>Tabela 4.1</b> – Parâmetros para o SES de Caxias-MA (Bacia B)	102
<b>Tabela 4.2</b> – Parâmetros para o SES de Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A)	102
<b>Tabela 4.3</b> – Resultados do dimensionamento do SES de Caxias-MA (Bacia B) – SANCAD	106
<b>Tabela 4.4</b> – Resultados do dimensionamento do SES de Caxias-MA (Bacia B) – UFC9	107
<b>Tabela 4.5</b> – Resultados do dimensionamento do SES de Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A) – SANCAD	108
<b>Tabela 4.6</b> – Resultados do dimensionamento do SES de Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A) – UFC9	109
<b>Tabela 4.7</b> – Trechos com declividades e profundidades diferentes – Caxias-MA (Bacia B) – Comparação entre UFC9 e SANCAD	110
<b>Tabela 4.8</b> – Trechos com declividades e profundidades diferentes – Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio - Bacia A) – Comparação entre UFC9 e SANCAD	110
<b>Tabela 4.9</b> – Trechos com tensões trativa diferentes – Caxias-MA (Bacia B) – Comparação entre UFC9 e SANCAD	111
<b>Tabela 4.10</b> – Trechos com tensões trativa diferentes – Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio - Bacia A) – Comparação entre UFC9 e SANCAD	112

## LISTA DE SÍMBOLOS

SES – Sistema de Esgotamento Sanitário

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

$Q_{méd}$  – vazão média de esgoto sanitário

$Q_d$  – vazão doméstica

$Q_{inf}$  – vazão de infiltração

$Q_c$  – vazão concentrada, de ponta ou industrial

PV – Poço de visita

TIL – Terminal de inspeção e limpeza

TL – Terminal de limpeza

CP – Caixa de passagem

TQ – Tubo de queda

$D_g$  – Degrau

$g$  – aceleração da gravidade

$D$  – diâmetro do coletor

$n$  – coeficiente de *Manning*

$L$  – comprimento do trecho

VBA – Visual Basic for Applications

VB – Visual Basic

m – metros

m/m – metro por metro

cm – centímetro

Km – quilômetro

Pa – Pascal

## RESUMO

O Brasil ainda é um país com pequena abrangência no que se refere aos sistemas de esgotamento sanitário. Estatísticas realizadas por órgãos competentes de âmbito nacional, como o Programa de Modernização do Setor de Saneamento, comprovam este fato. Com a exigência de projetos menos onerosos, de boa qualidade e que sejam elaborados dentro de prazos cada vez menores, viu-se a necessidade de se criar um aplicativo, denominado UFC9, capaz de acelerar a realização destes projetos. Para isto, utilizou-se a ferramenta computacional gráfica mais conhecida para a engenharia, o AutoCAD. Neste ambiente, foi desenvolvido um módulo do UFC9, cujo objetivo é o traçado de redes coletoras de esgotos. O segundo módulo do UFC9 apresenta um modelo computacional que tem a finalidade de dimensionar hidráulicamente as redes já traçadas no primeiro módulo, seguindo todas as normas estabelecidas pela ABNT. A validação do modelo se deu através da comparação dos cálculos para redes de esgoto reais com os dados referentes ao SANCAD – Módulo ESG, software desenvolvido pela Sanegraph – Consultoria em Sistemas de Informática e Saneamento. De acordo com os resultados obtidos, o programa desenvolvido mostrou-se bastante satisfatório, possibilitando o uso em projetos de uma forma fácil, intuitiva e com uma interface amigável.

**Palavras-chave:** sistemas de esgotos, modelagem computacional, computação gráfica, dimensionamento hidráulico.

## **ABSTRACT**

Brazil still presents small sanitary sewage system coverage, according to federal government statistics. A computer code called UFC9 was developed in order to draw and hydraulically design sanitary sewage systems networks. The computer environment chosen to draw the network of tubes and enter input data is the worldwide used computer software AutoCAD. In addition to drawing the network of tubes of sewage system, the UFC9's code also allows the user to design the network according to ABNT regulations and standards. UFC9 model calibration and validation was obtained through the use of another computer code, proven to work, called SANCAD, developed by Sanegraph. According to the results obtained, the developed software is considered reliable and also user friendly.

**Keywords:** sanitary sewage systems, computational modeling, graphical computation, hydraulical design.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil ainda é um país com pequena abrangência no que se refere aos sistemas de esgotamento sanitário. Segundo Rodrigues; Cordeiro; Castro (2005 apud BRASIL 2004a), o atendimento urbano é muito precário e o índice médio nacional é de 50,4%. Somente dois prestadores de serviços de abrangência regional atendem a mais de 50% da população urbana dos municípios a que serve, num subconjunto em que a média é de 38,6. Já para os prestadores locais os índices são melhores, sendo que cerca de 48% desses prestadores apresentam valores iguais ou superiores a 50%, num cenário em que a média do subconjunto é de 76,2%. Estes índices promovem ainda mais a busca por novas tecnologias relacionadas à construção, implantação e manutenção dos sistemas de esgotos.

Este trabalho visa colocar em meios informatizados projetos de construção de redes de coleta e transporte de esgoto sanitário, no que concerne ao traçado e dimensionamento destas.

A utilização de programas computacionais para a elaboração de projetos é necessária devido aos processos de otimização que a cada dia são exigidos por parte das concessionárias e dos construtores.

Diante destes fatos, surgiu a idéia da criação do programa UFC9 para traçado e dimensionamento de redes coletoras de esgotos, baseado no aplicativo AutoCAD. As linguagens de programação utilizadas são o AutoLISP, Visual Basic for Applications e Visual Basic, sendo as duas primeiras partes integrantes do AutoCAD.

Desde que foi lançado, o Autocad é uma referência quando se fala em computação gráfica. Utilizado na projeção dos mais variados produtos, como automóveis, construção civil, arquitetura, engenharia e na própria informática, muitos projetistas o utilizam, sendo estes os principais motivos para a utilização do AutoCAD como base para o UFC9.

O programa desenvolvido tem características básicas de manuseio, como comandos incorporados ao AutoCAD, fazendo com que qualquer usuário seja capaz de utilizá-lo facilmente. A interface gráfica foi elaborada com a criação de comandos que se localizam na tela principal do AutoCAD.

Os objetivos principais do estudo são:

- demonstrar a utilização deste programa computacional para o traçado de redes coletoras de esgotos;
- explanar a metodologia empregada no dimensionamento hidráulico das mesmas.
- fazer um estudo comparativo do UFC9 com um programa reconhecido no mercado (SANCAD – Módulo ESG), com o intuito de validar o modelo computacional empregado neste trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão sobre os principais tópicos abordados neste estudo, relacionados aos sistemas de esgotamento sanitário.

No capítulo 3, é demonstrada toda a metodologia básica empregada, as equações utilizadas para o cálculo e os algoritmos mais relevantes do modelo computacional.

As comparações entre o programa UFC9 e o SANCAD estão relatadas no capítulo 4, onde foram apresentados e discutidos os valores finais para duas redes de esgoto sanitário.

E, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões e recomendações obtidas a partir deste estudo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. O SANEAMENTO**

Segundo descreve Leme (1982), o Saneamento tem por objetivo a proteção da saúde humana por meio de medidas controladoras do manejo dos recursos ambientais, estando intimamente vinculado à defesa da saúde pública.

O Saneamento é o conjunto de medidas visando a preservar ou a modificar as condições do meio ambiente, com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, tendo, portanto, um caráter preventivo, no sentido de que objetiva proporcionar ao homem um ambiente que lhe garanta as condições adequadas para a promoção de sua saúde. (MOTA, 2003)

Segundo Mota (2003), saúde e saneamento estão bastante associados. Onde existem adequados sistemas de saneamento, há saúde. Onde as condições de saneamento são precárias, proliferam as doenças.

### **2.2. SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

#### **2.2.1. Considerações gerais**

Os esgotos contêm cerca de 0,1% de material sólido, compondo-se essencialmente o restante de água. Essa parcela, numericamente tão pequena, é, no entanto, causadora dos mais desagradáveis transtornos, pois a mesma contém elementos nocivos à saúde dos seres humanos e ao meio ambiente.

A expansão demográfica e o desenvolvimento tecnológico trazem como conseqüências imediatas o aumento do volume de esgotos produzido nas comunidades e a redução da qualidade dos mesmos. Estes esgotos, quando não condicionados de forma adequada, poluem as áreas receptoras, causando desequilíbrios ecológicos e destruindo os recursos naturais da região atingida ou mesmo dificultando o seu aproveitamento pelo homem.

De acordo com a sua origem, os esgotos podem ser classificados da seguinte forma:

- **Esgoto doméstico ou sanitário:** são as águas servidas procedentes de banho, lavagem de utensílios e roupas, dentre outros hábitos higiênicos e provenientes dos despejos oriundos de prédios comerciais, públicos e similares.
- **Esgoto industrial:** são as águas residuárias procedentes de grandes centros comerciais, hospitais e indústrias de alimentos, metais, cerâmica, matadouros, etc.
- **Águas pluviais:** são as águas procedentes das chuvas;
- **Águas de infiltração e vazões adicionais:** são as águas presentes no subsolo que se introduzem na rede.

Para Mendonça (1987) a composição do esgoto, que geralmente é perene, é essencialmente orgânica e relativamente constante, quando há controle domiciliar de água. É constituído de elevada percentagem de água, 99,9% (a atividade diária de um indivíduo gera cerca de 1,5 litros de água e menos de 100 gramas de matéria seca).

### **2.2.2. Definição**

Para Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) entende-se por sistemas de esgotos o conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para a caracterização completa do sistema a projetar. Estes sistemas, portanto, abrangem a rede coletora com todos os seus componentes, as estações elevatórias e estações de tratamento de esgotos e têm por objetivo primordial a coleta, o transporte e o tratamento do esgoto doméstico.

Haestad Methods (2002) cita que desde que possível, os sistemas de esgotos devem ser gravitários. Quando o curso natural do terreno não é suficiente para conduzir o esgoto, uma combinação do uso da gravidade e sistemas de conduto forçado é utilizada em conjunto como, por exemplo, em instalações de recalque.

### 2.2.3. Tipos de sistemas de esgotos

Os sistemas de esgotos urbanos classificam-se em:

- a) **Sistema unitário ou combinado:** as águas residuárias (domésticas e industriais), as contribuições pluviais e águas de infiltração (água de subsolo e que adentram no sistema através dos tubos e órgãos acessórios) são recolhidas no mesmo sistema. Para Crespo (1997), este modelo encontra-se em franco desuso, mas representam uma realidade com a qual as cidades mais antigas têm que conviver. Um elevado número de sistemas unitários encontra-se ainda em operação.
- b) **Sistema separador:** esses modelos podem ser divididos em dois: parcial e absoluto. Sendo que o primeiro recebe uma parcela das águas de chuva provenientes de telhados e pátios das economias e o segundo, tem suas tubulações separadas, ou seja, uma exclusiva para a coleta de esgotos e outra para transportar as águas de chuva.
- c) **Sistema estático:** esta solução consiste em uma residência ou um grupo destas a serem beneficiados com um sistema de fossa séptica seguida de um poço absorvente. O efluente da fossa infiltra no terreno, portanto, o lodo acumulado nessas unidades deve ser retirado (não por completo) periodicamente, em intervalos variando de seis a doze meses. Estes sistemas estão sendo aplicados em pequenos e médios centros urbanos, devido ao baixo custo de implantação.

d) **Sistema condominial:** para Crespo (1997), esta solução deve ser aplicada em novas urbanizações. O sistema deve ser cuidadosamente estudado a fim de evitar conflitos futuros entre os usuários. Nestes sistemas no interior dos quarteirões e aproveitando uma faixa de domínio público, são lançados os coletores de esgoto para atendimento aos domicílios.

No Brasil, utiliza-se o sistema separador absoluto e em comunidades de pequeno e médio porte, o sistema estático.

Araujo (2003a) cita que o conceito de separação absoluta é relativo, pois a própria definição de esgoto sanitário, contida na NBR-9648/1986 da ABNT, já inclui as águas de infiltração e pluvial parasitária.

#### **2.2.4. Partes de um sistema de esgoto sanitário**

Os processos de coleta, transporte, tratamento e lançamento final dos esgotos sanitários constituem o fundamento básico do saneamento de uma população. São apresentados a seguir os principais componentes de um sistema de esgotamento sanitário:

- **Rede coletora:** consiste no conjunto de tubulações e órgãos acessórios destinados à coleta dos esgotos gerados nas edificações, através dos coletores ou ramais prediais. Os principais acessórios que compõem as redes coletoras de esgoto são: poços de visita, terminais de limpeza, tubos de inspeção e limpeza, tubos de queda, caixas de passagem e sifões invertidos.
- **Ramal predial (ligação predial):** consiste no trecho do coletor compreendido entre o limite do lote e o coletor público. Esta unidade é executada normalmente através de solicitação do interessado quando a rede coletora encontra-se em execução ou já em funcionamento.

- **Coletor-tronco:** são tubulações que apenas recebem contribuições de outros coletores, não havendo, portanto, ligações prediais instaladas no mesmo. Estes coletores apresentam diâmetros normalmente superiores aos dos demais coletores da rede de esgotos.
- **Interceptor:** é uma tubulação que recolhe contribuições de uma série de coletores, de modo a evitar que estas deságüem em uma localidade a ser protegida, como por exemplo, uma praia, um lago, um rio, etc. Não recebe contribuições diretas de ligações prediais.
- **Emissário:** é a tubulação que recebe esgoto exclusivamente em sua extremidade de montante e os lança na estação de tratamento de esgoto ou no corpo receptor.
- **Sifão invertido:** consiste em uma tubulação rebaixada com escoamento sob pressão, cuja finalidade é transpor obstáculos tais como depressões do terreno, cursos d'água, linhas férreas ou adutoras.
- **Estação elevatória:** quando as profundidades dos coletores tornam-se muito grandes, quer devido à baixa declividade do terreno, quer devido à necessidade de se transpor uma elevação, torna-se necessária a implantação de uma estação elevatória para bombear os esgotos para um nível mais elevado. A partir desse ponto, os esgotos podem voltar a escoar por gravidade. As estações elevatórias são normalmente construídas sob o abrigo de uma edificação subterrânea.
- **Estação de tratamento:** é uma unidade (ou um conjunto de unidades) destinada a dar condições ao esgoto recolhido de ser devolvido à natureza com o mínimo prejuízo possível ao meio ambiente. Dependendo da qualidade do esgoto e das condições de lançamento no corpo receptor ou de reúso (se for o caso), devem ser adotados tratamentos em níveis preliminar, primário, secundário ou terciário, sendo este último bastante raro no Brasil.

- **Corpo receptor:** após o tratamento, os esgotos podem ser lançados em um curso ou corpo d'água receptor ou ainda, eventualmente, aplicados no solo. Em ambos os casos, estudos devem ser realizados sobre a diluição dos poluentes ainda presentes nos esgotos tratados, especialmente organismos patogênicos e metais pesados. A tubulação que transporta os esgotos da estação de tratamento ao corpo receptor é chamada de emissário final.

### **2.2.5. Normas para projetos de sistemas de esgotamento sanitário**

Os parâmetros e faixas de recomendação para elaboração de projetos e execução de obras de esgotamento sanitário estão disponíveis nas Normas Brasileiras editadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), relacionadas a seguir:

- NBR 9648 – Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário (1986);
- NBR 9649 – Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário (1986);
- NBR 9814 – Execução de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário (1987);
- NB 570 – Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário (1990);
- NBR 12207 – Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário (1992);
- NBR 12208 – Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário (1992);
- NBR 13969 – Tanques Sépticos – Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final de Efluentes Líquidos – Projeto, Construção e Operação (1997);
- NBR 9800 – Critérios para Lançamento de Efluentes Líquidos Industriais no Sistema Coletor Público de Esgoto Sanitário (2000);
- NBR 14486 – Sistemas Enterrados para Condução de Esgoto Sanitário – Projeto de Redes Coletoras com Tubos de PVC (2000).

## **2.3. ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E PROJETOS DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

### **2.3.1. Estudos de concepção**

Entende-se por concepção de um sistema de esgotamento sanitário o conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de diretrizes, definições e parâmetros necessários e suficientes para a caracterização completa do sistema a ser projetado. Segundo Alem Sobrinho; Tsutiya (2000), as principais atividades necessárias para o desenvolvimento de estudos de concepção de sistemas de esgotamento sanitário são listadas a seguir:

- obtenção de dados e características gerais da comunidade;
- análise do sistema de esgoto sanitário existente (se for o caso);
- estudos demográficos e de uso e ocupação do solo;
- levantamentos topográficos;
- estudos geotécnicos;
- avaliação de critérios e parâmetros de projeto;
- cálculo das contribuições de esgotos;
- formulação das alternativas de concepção;
- estudo de corpos receptores;
- pré-dimensionamento das unidades do sistema;
- estimativa de custo das alternativas estudadas;
- comparação técnico-econômica e ambiental das alternativas;
- escolha da alternativa;

- apresentação de plantas e demais peças gráficas;
- apresentação de memorial de cálculo.

### 2.3.2. Projetos de sistemas de esgotamento sanitário

Em geral, o projeto de um sistema de esgotamento sanitário é elaborado em níveis básico e executivo.

- a) **Projeto básico:** consiste no conjunto de elementos necessários e suficientes, com precisão adequada, para caracterizar a obra e os serviços objetos da licitação. Este projeto, elaborado com base nas indicações dos estudos de concepção, deve assegurar a viabilidade do empreendimento e possibilitar uma estimativa do custo da obra, definindo os métodos e prazos de execução.
- b) **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 Associação Brasileira de Normas Técnicas (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. A qualidade do projeto executivo é de suma importância já que o mesmo, antes de ser liberado para licitação da obra, deve ser submetido à análise pelos órgãos financiadores e ambientais.

É importante lembrar que as obras podem ser projetadas para operar em alcances de 20 a 50 anos, os quais são geralmente subdivididos em etapas de projeto conforme a vida útil das estruturas e dos equipamentos, as condições de financiamento da obra, a flexibilidade para futuras ampliações do sistema, entre outros fatores preponderantes.

## **2.4. CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS DOMÉSTICOS**

### **2.4.1. Físicas**

Segundo BRASIL (2004b), as principais características físicas ligadas aos esgotos domésticos são: matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez e variação de vazão.

### **2.4.2. Químicas**

As principais características químicas dos esgotos domésticos são: matéria orgânica e matéria inorgânica.

### **2.4.3. Biológicas**

BRASIL (2004b) cita que as características biológicas principais são: microrganismos de águas residuais (bactérias, fungos, protozoários, vírus, algas) e indicadores de poluição (bactérias coliformes).

## **2.5. PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DAS VAZÕES DOS ESGOTOS**

### **2.5.1. População de projeto**

As unidades de um sistema de esgotamento sanitário são normalmente dimensionadas em função de alcances ou períodos de projeto pré-estabelecidos. Leme (1982) recomenda que os estudos das variações quantitativas das comunidades são necessários para a avaliação dos efeitos produzidos pelo homem em seu ambiente, constituindo elementos básicos dos projetos dos sistemas de controle ambiental.

Os métodos de estimativa de crescimento populacional, que podem ser gráficos ou matemáticos, têm suas análises baseadas em dados de censos populacionais realizados na comunidade, distrito ou cidade em questão ou relativos a comunidades semelhantes (no caso de falta de dados censitários).

A área do crescimento populacional das áreas urbanas, segundo Alem Sobrinho; Tsutiya (2000), deve ser estudada de forma complementar e harmônica ao estudo de uso e ocupação do solo, considerando o município como um todo. Caso este município seja composto por mais de um distrito, além do principal, deve-se estudar e projetar a participação de cada distrito na população total, considerando todas as características sociais, culturais e outros aspectos relevantes ao estudo.

Os métodos apresentados a seguir são os mais utilizados nos projetos para estimativa do crescimento populacional:

- **Método aritmético:** neste método considera-se o crescimento linear devido a uma relação menos favorável entre os recursos econômicos e a população. Logo, obtêm-se os valores das populações,  $P_0$  e  $P_1$ , correspondentes a duas datas anteriores,  $t_0$  e  $t_1$ , referentes a dois censos, e calcula-se a razão ou taxa de crescimento aritmético nesse período:

$$a = \frac{P_1 - P_0}{t_1 - t_0} \quad (2.1)$$

Resultando na previsão da população  $P$ , correspondente à data futura  $t$ :

$$P = P_1 + a(t - t_1) \quad (2.2)$$

Para a previsão em períodos muito longos, torna-se acentuada a discrepância com a realidade, uma vez que o crescimento é pressuposto ilimitado.

- **Método geométrico:** neste método considera-se o crescimento rápido em virtude da população ser pequena em relação aos recursos regionais. Logo, calcula-se a razão ou taxa de crescimento geométrico para um período conhecido  $t_0 - t_1$  pela seguinte fórmula:

$$g = \sqrt[t_1-t_0]{P_1/P_0} \quad (2.3)$$

Resultando na previsão da população  $P$ , correspondente à data futura  $t$ :

$$P = P_1 g^{t-t_1} \quad (2.4)$$

Ou, na forma logarítmica,

$$\ln P = \ln P_1 + g(t-t_1) \quad (2.5)$$

Assim, considera-se que o logaritmo da população varia linearmente com o tempo. Portanto, de forma similar ao método aritmético, o crescimento é pressuposto ilimitado. Este método é normalmente utilizado para o estudo de crescimento populacional em comunidades inferiores a 50.000 habitantes e para períodos de tempo inferiores a 30 anos.

- **Método da curva logística:** Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) consideram que neste método o crescimento da população obedece a uma relação matemática do tipo curva logística, na qual a população cresce assintoticamente em função do tempo para um valor limite de saturação ( $P_s$ ). Logo, a equação logística é expressa da seguinte forma:

$$P = \frac{P_s}{1 + e^{a-bt}} \quad (2.6)$$

Onde  $a$  e  $b$  são parâmetros e  $e$  a base neperiana. O parâmetro  $a$  é um valor tal que, para  $t = \frac{a}{b}$ , há uma inflexão na curva.

O parâmetro  $b$  é a razão de crescimento da população. Esses parâmetros são determinados a partir de três pontos conhecidos da curva  $P_0(t_0)$ ,  $P_1(t_1)$  e  $P_2(t_2)$  igualmente espaçados no tempo, isto é,  $\Delta t = t_1 - t_0 = t_2 - t_1$ . Os pontos devem ser tais que  $P_0 < P_1 < P_2$  e  $P_0 \times P_2 < P_1^2$ .

Os parâmetros da equação da curva logística são definidos através das seguintes expressões:

$$P_S = \frac{2P_0P_1P_2 - (P_1)^2(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - (P_1)^2} \quad (2.7)$$

$$a = \ln \frac{P_S - P_0}{P_0} \quad (2.8)$$

$$b = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{P_0(P_S - P_1)}{P_1(P_S - P_0)} \quad (2.9)$$

A curva logística apresenta três trechos distintos: o primeiro correspondente a um crescimento acelerado, o segundo a um crescimento retardado e o último a um crescimento que tende à estabilização. Este método é normalmente aplicado a cidades maiores, com limitação de área para expansão territorial e próximas das suas densidades de saturação.

- **População flutuante:** é um número significativo de pessoas de outras localidades, que permanecem temporariamente em cidades sujeitas à ocorrência de festas populares, romarias ou quaisquer outros eventos. Neste caso, devem ser desenvolvidos estudos populacionais que considerem tais variações na população residente tanto para a situação presente como futura. Esta avaliação pode ser feita a partir das informações do censo demográfico discriminando os domicílios por tipo de ocupação residencial, ocasional, fechado e vago, permitindo estimar a proporção entre os domicílios de uso ocasional e uso residencial, ou ainda através de informações sobre a variação no consumo de água ou energia elétrica.

### **2.5.2. Densidade demográfica**

A intensidade de ocupação de uma área urbana, normalmente expressa em habitantes por hectare, é denominada densidade demográfica.

Nas grandes cidades, este parâmetro tende a valores crescentes das áreas periféricas para as áreas centrais, podendo ser obtido através de dados dos setores censitários ou de ligações de água e energia elétrica.

Como os sistemas de esgotamento sanitário são normalmente projetados para uma população de saturação, as densidades de saturação podem ser estimadas através de informações cadastrais e leis de zoneamento da cidade, bem como de projetos ou planos diretores aprovados e em estudo na Prefeitura Municipal.

### **2.5.3. Contribuição *Per Capita***

A contribuição de esgotos é normalmente calculada a partir do consumo per capita usado para projetos de sistemas de abastecimento de água. No entanto, para o dimensionamento do sistema de esgotamento sanitário deve ser utilizado o consumo per capita efetivo, isto é, o consumo per capita subtraído do valor das perdas de água na produção e na distribuição, pois essa é a parcela efetivamente consumida pela população. Logo, a contribuição per capita de esgoto é o consumo de água efetivo multiplicado pelo coeficiente de retorno. Portanto, se o consumo per capita de um sistema de distribuição de água for de 200 L/hab.dia e o coeficiente de retorno for de 80%, então o consumo efetivo para o sistema de esgotos é de 160 L/hab.dia.

A contribuição per capita de esgoto doméstico é diretamente proporcional à temperatura local, às condições sócio-econômicas da área atendida e aos hábitos higiênicos da comunidade. Por outro lado, essa contribuição é inversamente proporcional ao custo tarifário de água.

No Brasil, em condições normais de consumo de água, os valores admitidos para descarga de esgoto ficam entre 150 e 200 L/hab.dia. Entretanto, em áreas onde a população tem renda média muito pequena e os recursos hídricos são limitados, como em pequenas localidades do interior nordestino, a contribuição per capita de esgoto pode atingir valores inferiores a 80 L/hab.dia.

Em situações contrárias, onde o sistema de abastecimento garante quantidade e qualidade de água potável continuamente, essa contribuição pode ultrapassar 400 L/hab.dia.

As altas contribuições de carga orgânica devem ser consideradas em projetos de sistemas de esgotamento sanitário para pequenos distritos e localidades do Estado do Ceará, estas são geradas em virtude das baixas contribuições per capita de esgoto doméstico. A NBR 13969/1997 da ABNT apresenta um quadro com valores de contribuições de esgotos e de carga orgânica de acordo com o tipo e o padrão dos ocupantes.

#### **2.5.4. Coeficientes de variação de vazão**

Dispondo de dados como população, coeficiente de retorno e contribuição per capita de esgotos, pode-se calcular a vazão média de esgoto doméstico. Entretanto, essa vazão varia com as horas do dia, com os dias, meses e estações do ano.

Segundo Alem Sobrinho; Tsutiya (2000), para projetos dos sistemas de esgotamento sanitário devem ser levados em consideração os seguintes coeficientes de variação de vazão:

- coeficiente de máxima vazão diária ( $K_1$ ): é a relação entre a maior vazão diária verificada no ano e a vazão média diária anual;
- coeficiente de máxima vazão horária ( $K_2$ ): é a relação entre a maior vazão observado num dia e a vazão média horária do mesmo dia;

- coeficiente de mínima variação horária ( $K_3$ ): é a relação entre a vazão mínima e a vazão média anual.

Na falta de valores obtidos através de medições, ABNT (1986) recomenda o uso de  $K_1 = 1,2$ ,  $K_2 = 1,5$  e  $K_3 = 0,5$ . Estes valores são admitidos constantes ao longo do tempo, qualquer que seja a população existente na área.

Devido à carência de dados sobre vazões de esgotos nos municípios localizados no Estado do Ceará, geralmente são adotados nos projetos os valores recomendados pela ABNT para os coeficientes de variação de vazão.

#### **2.5.5. Coeficiente de retorno**

A relação entre o volume de esgotos recebido na rede coletora e o volume de água efetivamente fornecido à população é denominada coeficiente de retorno. Assim, como parte da água fornecida pelo sistema público de abastecimento de água não é transformada em vazão de esgotos (água utilizada na rega de jardins e lavagem de calçadas e automóveis), mas, em contrapartida, uma outra parcela inferior de vazões chega na rede coletora através de outras fontes de abastecimento (água da chuva acumulada em cisternas e de poços particulares).

Este coeficiente de retorno esgoto/água normalmente situa-se na faixa de 0,5 a 0,9. Vale ressaltar que a NBR 9649/1986 da ABNT recomenda o valor de 0,8 na falta de valores obtidos em campo. Este valor é normalmente adotado nos projetos de sistemas de esgotamento sanitário para municípios, distritos e localidades do Estado do Ceará.

#### **2.5.6. Águas de infiltração**

A vazão que é transportada pelas tubulações de esgoto não tem sua origem somente nos pontos onde houver consumo de água.

Existem contribuições indevidas nas redes de esgoto, genericamente designadas como infiltrações, que podem ser originárias do subsolo ou do encaminhamento acidental ou clandestino de águas pluviais.

As águas de infiltração penetram nos sistemas de coleta de esgotos através das juntas e paredes das tubulações, dos poços de visita, das estações elevatórias, dos tubos de inspeção e limpeza, terminais de limpeza e demais acessórios da rede. Assim, para coletores novos situados acima do lençol freático, a infiltração deve ser mínima ou mesmo nula. Além disso, a qualidade dos materiais e acessórios utilizados, bem como o nível de estanqueidade com que as juntas são executadas, são fatores que podem reduzir significativamente as vazões de infiltração.

Na falta de dados ou argumentos precisos, ABNT (1986) recomenda a adoção de taxas de contribuição de infiltração de 0,05 a 1,0 L/s.km, sob justificativas.

Araujo (2003a) cita que as juntas de tubulações de mau tipo ou de má execução são falhas responsáveis por infiltrações consideráveis.

No Estado do Ceará, normalmente, adota-se nos projetos de redes de esgotamento sanitário uma taxa de infiltração de 0,2 L/s.km. Este valor se dá devido à escassez de chuvas na maior parte do ano, à existência de lençóis freáticos com níveis baixos e à prática comum de utilização de tubos de PVC, os quais apresentam juntas bastante estanques.

### **2.5.7. Esgoto industrial**

Os esgotos industriais são geralmente despejados pontualmente na rede coletora pública. Esses esgotos, também chamados de vazões concentradas ou singulares, são provenientes de outras bacias, grandes centros comerciais, hospitais, clubes ou estabelecimentos industriais. Assim, dependendo da natureza desses esgotos, há necessidade de se realizar um pré-tratamento.

Para serem lançados diretamente no coletor público, Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) recomendam que os esgotos devem obedecer às seguintes condições:

- não serem nocivos à saúde nem prejudiciais à segurança dos trabalhos na rede coletora;
- não interferirem em qualquer sistema de tratamento;
- não obstruírem nem danificarem tubulações, equipamentos ou acessórios;
- não apresentarem temperatura superior a 45°C.

## 2.6. CÁLCULO DAS VAZÕES DOS ESGOTOS

Após o estudo de cada uma das parcelas formadoras das vazões de esgotos sanitários, pode-se expressar a vazão média coletada da seguinte forma:

$$Q_{\text{méd}} = Q_d + Q_{\text{inf}} + Q_c \quad (2.10)$$

Onde:

$Q_{\text{méd}}$  → vazão média de esgoto sanitário, em L/s.

$Q_d$  → vazão doméstica, em L/s.

$Q_{\text{inf}}$  → vazão de infiltração, em L/s.

$Q_c$  → vazão concentrada ou industrial, em L/s.

## **2.7. REDES COLETORAS DE ESGOTOS**

### **2.7.1. Introdução**

O esgoto sanitário chega à rede coletora com cerca de 99,9% de água e 0,1% de sólidos em suspensão e/ou em dissolução, sendo geralmente perene. Este teor mínimo de sólidos faz com que o esgoto apresente características hidráulicas similares às da água. Logo, utilizam-se as mesmas leis e princípios que regem o escoamento de água nos cálculos hidráulicos das redes coletoras de esgotos sanitários.

### **2.7.2. Custos em redes coletoras de esgotos**

Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) citam que, de acordo com um estudo realizado pela SABESP em 1980, os fatores de maior peso no custo total, pela ordem, em uma obra de esgotamento sanitário são: escoramento de valas, poços de visita, escavação de valas, reaterro de valas, reposição de pavimentos. O escoramento, escavação e reaterro das valas estão relacionados com a profundidade da rede.

Conforme Rodrigues (2005 apud CYNAMON, 1986), o custo dos sistemas de esgotos é majorado com o aumento do diâmetro dos coletores. Este aumento não é proporcional, contudo ao aumento do diâmetro, como acontece em sistemas de água, sendo às vezes até vantajoso o aumento dos diâmetros para reduzir o aprofundamento de valas.

Cynamon (1986) enumera alguns fatores que contribuem para o aumento dos custos nos sistemas de esgotos. Em geral, pode-se citar:

- em coletores de até 400 mm, a substituição se for o caso de poços de visita por tubos de inspeção e limpeza;
- diâmetro da tubulação;

- profundidade das valas;
- implantação de estações elevatórias;
- exigência das normas.

### 2.7.3. Propriedades físicas do esgoto sanitário

Abaixo são apresentadas as principais propriedades físicas do esgoto sanitário a 20°C, padrão considerado na maioria dos projetos e estudos, segundo NUVOLARI (2003).

- massa específica:  $\rho = 101,8 \text{ Kgf.s}^2/\text{m}^4$ ;
- módulo de elasticidade:  $E = 2,18 \times 10^8 \text{ Kgf/m}^2$ ;
- peso específico:  $\gamma = 998,2 \text{ Kgf/m}^3$ ;
- pressão de vapor:  $P_v = 0,024 \text{ Kgf/cm}^2$ ;
- viscosidade cinemática:  $\nu = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 2.7.4. Elementos geométricos dos coletores de esgoto

No sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, as tubulações coletoras normalmente apresentam seção circular, conforme ilustra a figura 2.1. Os principais elementos geométricos e suas respectivas equações desses tipos de condutos são apresentados a seguir:

$$y = D \frac{(1 - \cos\theta/2)}{2} \quad (2.11)$$

$$\theta = 2\arccos(1 - (2y/D)) \quad (2.12)$$

$$A = \frac{D^2}{8}(\theta - \text{sen } \theta) \quad (2.13)$$

$$P = \frac{D\theta}{2} \quad (2.14)$$

$$R_H = \frac{A}{P} = \frac{D}{4}(1 - (\text{sen } \theta - \theta)) \quad (2.15)$$

$$B = D \cdot \text{sen} (\theta / 2) \quad (2.16)$$

Onde:

$D \rightarrow$  diâmetro do coletor, em [L]

$Y \rightarrow$  Lâmina d'água, em [L]

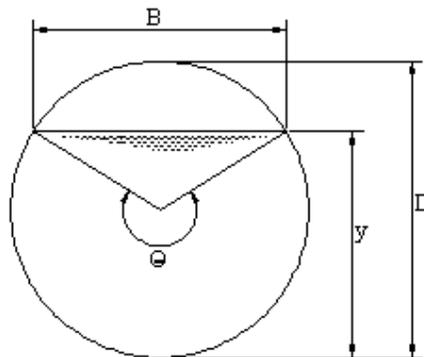
$\theta \rightarrow$  Ângulo do setor circular, em graus.

$A \rightarrow$  Área molhada, em [L<sup>2</sup>]

$P \rightarrow$  Perímetro molhado, em [L]

$R \rightarrow$  Raio hidráulico, em [L]

$B \rightarrow$  Base molhada (corda), em [L]



**Figura 2.1** – Coletor de seção circular

## **2.8. HIDRÁULICA DOS COLETORES DE ESGOTOS**

### **2.8.1. Introdução**

Os coletores de esgotos sanitários são projetados para funcionar como condutos livres (canais abertos) com lâminas líquidas sempre inferiores aos seus diâmetros (pela norma 75%), diferentemente das linhas de recalque e sifões invertidos que são projetados para funcionar como condutos forçados.

A vazão em um coletor de esgotos aumenta para jusante devido às contribuições recebidas ao longo do mesmo. Entretanto, para efeito de cálculo, considera-se que o escoamento na rede coletora é permanente e uniforme, isto é, que a vazão e a profundidade do líquido não variam ao longo do tempo nem ao longo da tubulação.

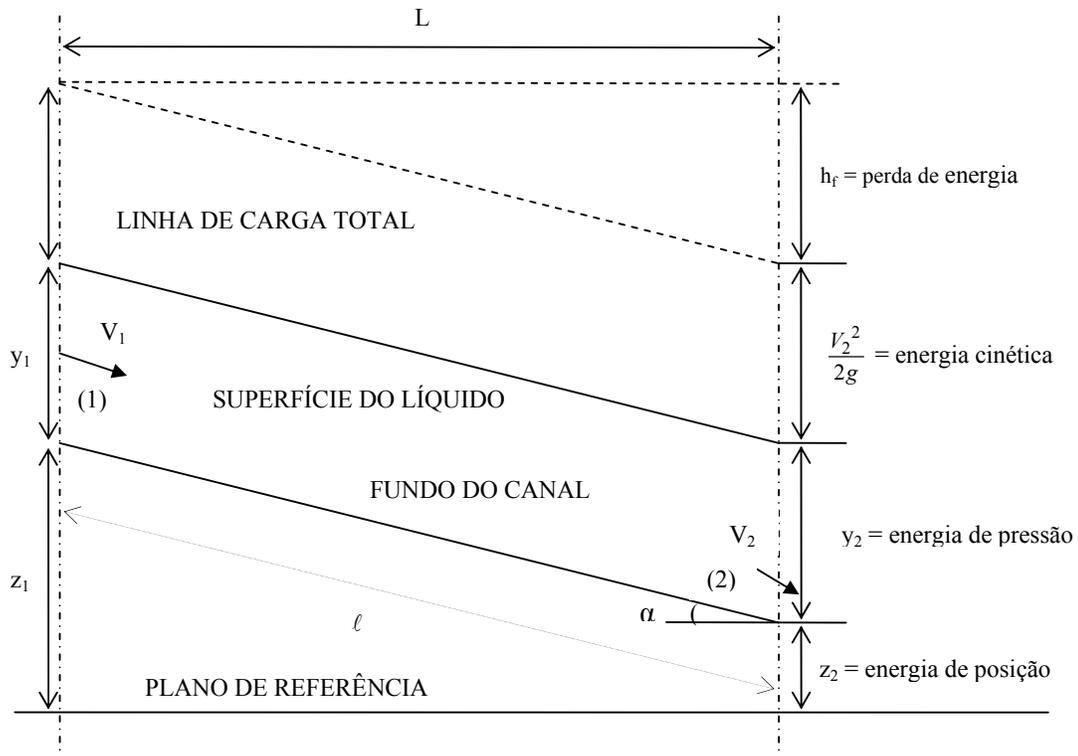
### **2.8.2. Escoamento em canais abertos**

Mendonça (1987) relata que o escoamento em canais abertos pode ser classificado segundo o critério do tempo ou da distância.

Para o critério do tempo, este tipo de escoamento pode ser dividido em permanente e não-permanente. No escoamento permanente, a vazão e a profundidade do líquido em qualquer seção não variam com o tempo, durante certo período de tempo, diferentemente do não permanente que, para os mesmos elementos, varia com o tempo.

Segundo o critério da distância, o escoamento é considerado uniforme, caso a vazão e a profundidade do canal permanecerem as mesmas em quaisquer seções que se considerem ao longo do canal. Já o escoamento variado caracteriza-se pela variação da descarga e da profundidade do líquido ao longo da extensão do canal.

No caso do regime permanente e uniforme são aplicados a equação da continuidade e o teorema de Bernoulli, definido como o impulso transmitido ao líquido pelas forças de gravidade, pressão e cisalhamento (resistência).



**Figura 2.2 – Escoamento uniforme em canais abertos**

A equação de Bernoulli aplicada entre os pontos (1) e (2) da figura 2.2:

$$\frac{V_1^2}{2g} + y_1 + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + y_2 + z_2 + h_f \quad (2.17)$$

Onde  $v_1$  e  $v_2$  são as velocidades médias do escoamento nas seções (1) e (2), as lâminas líquidas são  $y_1$  e  $y_2$  e  $z_1$  e  $z_2$  correspondem às coordenadas da soleira do conduto em relação a um plano de referência. A perda de energia é dada por  $h_f$ .

Em se tratando de movimento permanente e uniforme,  $v_1 = v_2$  e  $y_1 = y_2$ .

Logo:

$$z_1 = z_2 + h_f \quad (2.18)$$

Que pode ser reescrita da seguinte forma:

$$z_1 - z_2 = h_f \quad (2.19)$$

De acordo com a figura 2.2, para o escoamento permanente e uniforme, pode-se descrever as equações a seguir:

$$\text{sen}\alpha = \frac{h_f}{l} \quad (2.20)$$

$$\text{tg}\alpha = \frac{h_f}{L} \quad (2.21)$$

Segundo Mendonça (1987),  $\alpha$  é suficientemente pequeno, menor que  $5^\circ$ , para que se possa confundir o seno com a tangente. Igualando-se as equações (2.20) e (2.21), pode-se concluir com segurança que, na prática, considera-se o comprimento do tubo como sendo igual à sua projeção horizontal.

Assim, a equação (2.19) pode ser escrita da seguinte maneira:

$$h_f = z_2 - z_1 = L \text{tg}\alpha = L l = \Delta h \quad (2.22)$$

Onde  $l = \text{tg}\alpha$  é a declividade do canal ou gradiente de energia, em m/m.

### 2.8.3. Forças atuantes em um canal aberto

Sendo o coletor de esgoto um canal aberto, Mendonça (1987) cita que além dos esgotos domésticos que são lançados nos coletores, materiais como areia, alguns resíduos orgânicos e lixo de vários tipos muitas vezes são lançados indevidamente nos condutos.

Os materiais leves flutuam na superfície do líquido, já os pesados vão sendo levados pelo fluxo do fluido, ficando próximos à geratriz inferior das tubulações.

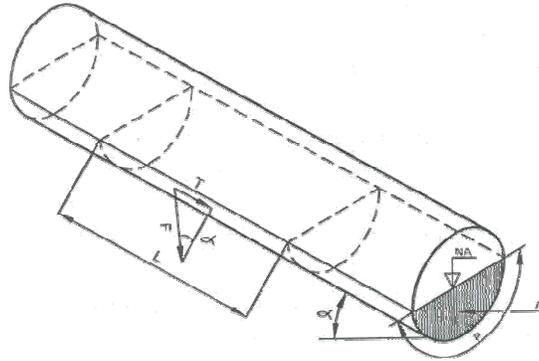
Ainda segundo Mendonça (1987), com a diminuição das velocidades os sólidos pesados ficam para trás, transformando-se em depósitos e tendendo com o passar do tempo a obstruir o tubo, enquanto os mais leves vão se acumulando na linha d'água.

Quando as velocidades aumentam, os detritos minerais pesados e as substâncias flutuantes que estão no coletor são carregados novamente, desta vez em elevadas concentrações. Pode ocorrer aí, o fenômeno chamado "abrasão". Isto é, o atrito das substâncias com as paredes internas do coletor pode desgastá-lo e com o correr do tempo, danificá-lo. (MENDONÇA, 1987)

A tensão trativa é definida por Mendonça (1987) como o esforço tangencial unitário transmitido às paredes do coletor pelo líquido em escoamento. Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) definem a tensão trativa como 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.

A expressão desta tensão é deduzida de forma análoga à da força que age em um sólido que desliza sobre um plano inclinado.

Ao se considerar o escoamento do líquido em uma tubulação circular, obtém-se a tensão trativa média ( $\sigma$ ) para o escoamento uniforme, conforme a figura 2.3.



**Figura 2.3** – Forças atuantes em um coletor de esgotos

Fonte: Alem Sobrinho; Tsutiya (2000)

O peso do líquido  $F$  contido no trecho de comprimento  $L$  é dado por:

$$F = \gamma A L \quad (2.23)$$

A componente tangencial do peso do líquido  $T$  é dada por:

$$T = F \operatorname{sen} \alpha \quad (2.24)$$

Substituindo a equação (2.23) em (2.24), obtém-se:

$$T = \gamma A L \operatorname{sen} \alpha \quad (2.25)$$

Sendo a tensão uma relação de força/área, a tensão de arraste  $\sigma$  em um trecho de comprimento  $L$  e perímetro molhado  $P$  é definida por:

$$\sigma = \frac{\gamma A L \operatorname{sen} \alpha}{P L} = \lambda R_H \operatorname{sen} \alpha \quad (2.26)$$

Para um ângulo  $\alpha$  pequeno, onde se pode confundir o valor do seno deste ângulo com a tangente do mesmo,  $\text{sen}\alpha \approx \text{tg}\alpha$  e  $\text{tg}\alpha = l$  (declividade). Portanto, pode-se reescrever a tensão trativa de acordo com a equação (2.27):

$$\sigma = \gamma R_H l \quad (2.27)$$

Onde:

$\sigma \rightarrow$  tensão trativa média, em Pa.

$F \rightarrow$  peso do líquido de um trecho L, em N.

$T \rightarrow$  componente tangencial de F, em N.

$\alpha \rightarrow$  ângulo de inclinação da tubulação, em graus.

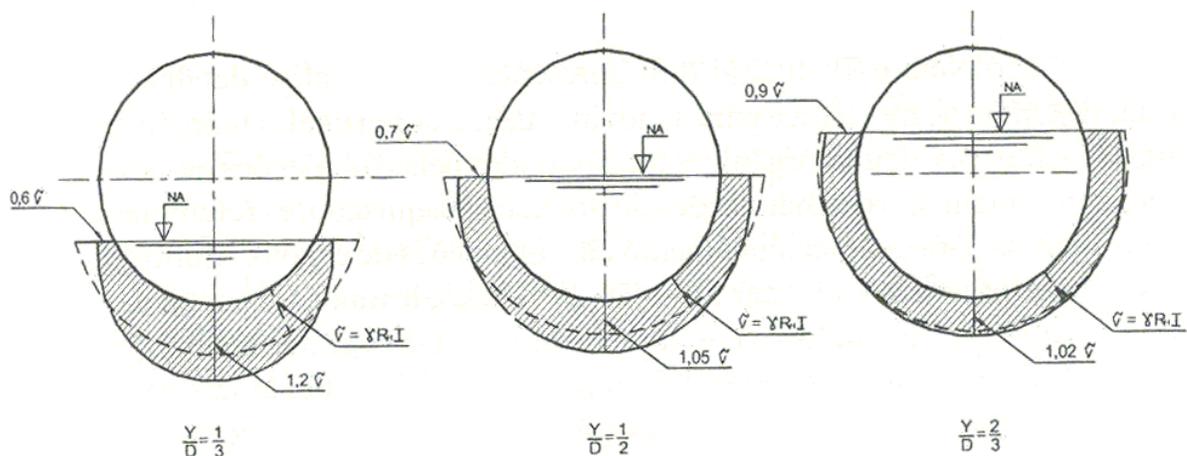
$\gamma \rightarrow$  peso específico do líquido,  $10^4 \text{ N/m}^3$  para o esgoto.

$l \rightarrow$  declividade da tubulação, em m/m.

O valor da tensão trativa calculada pela equação (2.27) representa um valor médio da tensão ao longo do perímetro molhado da seção transversal considerada.

Alem Sobrinho; Tsutiya (2000 apud REPLOGLE; CHOW, 1969) relatam uma medição feita em caráter experimental em relação à distribuição da tensão trativa em condutos circulares nas condições de  $Y/D = 1/3$ ,  $Y/D = 1/2$  e  $Y/D = 2/3$ , sendo Y a altura da lâmina e D o diâmetro da tubulação.

A figura 2.4 indica que a máxima tensão trativa ocorre próxima à geratriz inferior do tubo, contudo a mínima ocorre próximo à superfície da água.



**Figura 2.4** – Distribuição experimental da tensão trativa em conduto circular

Fonte: Alem Sobrinho; Tsutiya (2000)

Essa variação tende a ser menos pronunciada quanto maior for a relação  $Y/D$ . Portanto, para lâminas maiores que 50% do diâmetro da tubulação, a tensão trativa tende a ser uniforme ao longo do perímetro molhado e seu valor é praticamente igual a tensão trativa média calculada pela equação (2.27). Para lâminas menores, a tensão trativa máxima medida é maior que a tensão trativa média, superando em cerca de 20% o valor da tensão média, calculada pela equação (2.27), considerando  $Y/D \leq 1/3$ . (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000)

#### 2.8.4. Equações gerais

Duas equações gerais da hidráulica devem ser satisfeitas para o escoamento permanente e uniforme:

- a) Equação da continuidade:** conforme Mendonça (1987), 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:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_n V_n \quad (2.28)$$

Onde:

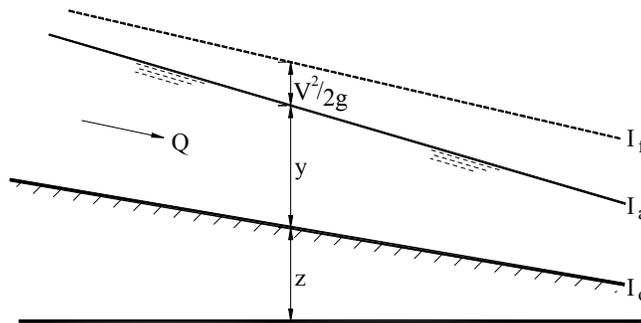
$Q \rightarrow$  vazão no coletor, em  $[L^3/T]$ .

$V \rightarrow$  velocidade média do líquido em escoamento, em  $[L/T]$ .

**b) Equação de energia:** a equação de energia representa a energia ou carga total de um líquido em movimento. Para duas seções transversais em dois pontos distintos do escoamento em um coletor de esgoto, a partir do princípio da conservação de energia, esta equação pode ser descrita da seguinte forma:

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (2.29)$$

A figura 2.5 mostra o perfil do escoamento em um conduto livre submetido a uma vazão  $Q$ , onde as linhas  $I_o$ ,  $I_a$  e  $I_f$  representam respectivamente o fundo do tubo, o nível do líquido e a carga total sobre um plano de referência:



**Figura 2.5** – Perfil da carga total em um conduto livre

### 2.8.5. Energia específica em canais abertos

Pode-se definir energia específica como sendo a quantidade de energia por unidade de peso do líquido, medida a partir do fundo do canal e representada por:

$$E = y + \frac{V^2}{2g} \quad (2.30)$$

Ou por:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (2.31)$$

Onde:

$E \rightarrow$  energia específica em um canal aberto, em [L].

A representação esquemática da figura 2.6. indica a equação (2.32) no plano  $(E, y)$  por uma curva com duas assíntotas. De acordo com a figura 2.6, constata-se que quando  $y$  tende a zero, a velocidade e, portanto,  $E$ , tendem ao infinito. Quando  $y$  tende ao infinito, a velocidade tende para zero e a curva tem por assíntota a reta  $E = y$ .

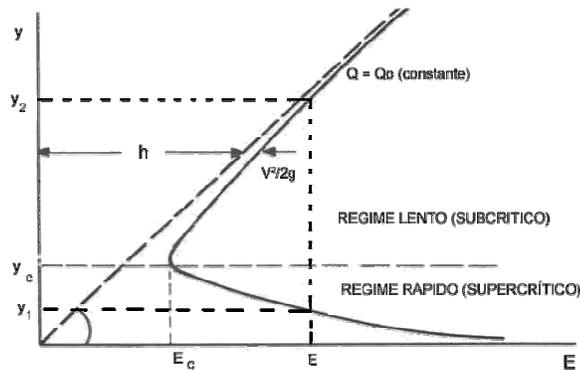


Figura 2.6 – Energia específica em canais abertos

“Sendo sempre positiva e tendo duas assíntotas, a curva tem um mínimo, que corresponde à menor energia específica com que a vazão  $Q_0$  pode escoar na seção considerada.” (MENDONÇA, 1987)

Nestas condições o regime de escoamento é considerado crítico, bem como as outras grandezas características neste regime (lâmina crítica, velocidade crítica, energia específica crítica).

“O escoamento em regime crítico ou em suas imediações é instável, porque a menor mudança de energia específica provoca sensível alteração da profundidade da água no canal.” (MENDONÇA, 1987)

Quando o escoamento da vazão  $Q_0$  não é crítico tem-se para o mesmo valor de  $E$ , duas alturas possíveis: uma superior e outra inferior à altura crítica. Esta circunstância é evidenciada quando se instala, num canal de fundo horizontal, uma comporta com uma abertura inferior. Num curto trecho a montante e a jusante da comporta até o escoamento se apresentar retilíneo, tem lugar o regime rapidamente variável. (MENDONÇA, 1987)

O escoamento é chamado lento (fluvial ou subcrítico) quando a lâmina do escoamento é superior à lâmina crítica, quando a lâmina for inferior à crítica o escoamento chama-se rápido, torrencial ou supercrítico.

Como pode ser constatado na figura 2.6, a energia específica cresce com a lâmina líquida no regime lento e diminui no regime rápido.

Conforme Mendonça (1987), a equação (2.31) não pode ser resolvida analiticamente em relação às lâminas  $y_1$  e  $y_2$ , referentes ao escoamento da vazão  $Q_0$  com uma dada energia específica  $E$ . É aconselhável que seja calculada através de um processo iterativo.

É recomendado que se projetem canais abertos para baixas velocidades e declividades moderadas para que o escoamento funcione no regime lento, fluvial ou subcrítico.

No caso de projetos no regime supercrítico, estes podem trazer riscos exigindo cuidados com sobre-elevações, ondas oscilatórias (que podem se propagar ao longo do canal), além de sub-pressões perigosas.

À medida que as declividades vão aumentando, conseqüentemente, as velocidades também aumentam, admitindo-se, um canal aberto com vazão e seção transversal constantes. Chegará um ponto onde o regime lento passará para o regime rápido. Teremos aí a velocidade crítica que corresponderá a uma declividade crítica. (MENDONÇA, 1987)

Os canais abertos devem ser projetados, sempre que possível, para o escoamento no regime lento (fluvial ou subcrítico), pois, as teorias de cálculo de canais foram estabelecidas baseadas em experiências neste regime.

Segundo Mendonça (1987), muitas vezes a mudança do regime supercrítico para subcrítico não ocorre de maneira gradual, acontecendo situações de montante torrenciais e de jusante fluviais. A acomodação se dá pelo fenômeno chamado de ressalto hidráulico. O ressalto pode se localizar no trecho torrencial ou no fluvial do canal.

“O movimento pode ser gradualmente retardado em trechos de canais de obstáculos que se opõe ao escoamento. Esses obstáculos criam remansos que se comunicam para montante até uma certa distância.” MENDONÇA (1987).

#### **2.8.6. Número de Froude**

Segundo Mendonça (1987), as forças gravitacionais são importantes em qualquer conduto que funcione como sendo livre. Desde que a pressão na superfície seja constante, as forças gravitacionais são, sob condições uniformes, as únicas forças que causam o escoamento.

De acordo com Henderson (1966), o número de Froude é definido como a relação entre a velocidade média de escoamento e a velocidade de uma onda, que Mendonça (1987) cita como sendo uma pequena onda (superficial) gravitacional que se propaga na superfície livre do líquido.

Este parâmetro é adimensional. Quando for igual a unidade, a velocidade de onda de perturbação (superficial) e a do escoamento são as mesmas, estando o escoamento no estado crítico.

Quando o número de Froude for maior que a unidade, a velocidade de escoamento é maior que a velocidade da onda superficial percorrendo a superfície livre, estando o escoamento no estado supercrítico. Se o este número for menor que a unidade, a situação das velocidades se inverte e o escoamento encontra-se no estado subcrítico.

Porto (2001) define este parâmetro como a raiz quadrada da relação entre a força de inércia e força da gravidade, expresso pela equação (2.32).

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g L_c}} \quad (2.32)$$

Em que  $Fr$  é o número de Froude,  $v$  é a velocidade média na seção e  $L_c$  é uma dimensão característica do escoamento.

Ainda segundo Porto (2001), em canais é comum definir como dimensão característica a altura hidráulica da seção.

### **2.8.7. Equações para cálculo de perdas de carga**

Diversas fórmulas podem ser utilizadas para o cálculo das perdas de carga em condutos livres, tais como: Chézy, Manning, Universal, Hazen-Williams, Bazin, etc. No entanto, a fórmula recomendada pela NBR 9649/1986 da ABNT é a de Manning, sendo esta a utilizada no dimensionamento de coletores de esgoto devido à sua simplicidade e precisão nos resultados.

Segundo Alem Sobrinho; Tsutiya (2000), as fórmulas estabelecidas para o escoamento de condutos livres, baseiam-se na própria expressão de Chézy, que é dada a seguir:

$$V = C \sqrt{R_H I} \quad (2.33)$$

Onde:

$C \rightarrow$  coeficiente de Chèzy.

Manning obteve um coeficiente de resistência, a partir da equação Chèzy, dependente do raio hidráulico.

$$C = \frac{R_H^{1/6}}{n} \quad (2.34)$$

Substituindo-se a equação (2.34) na equação (2.33), tem-se:

$$V = \frac{1}{n} R_H^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (2.35)$$

Ou, em função da vazão:

$$Q = \frac{1}{n} A R_H^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (2.36)$$

Apesar de a fórmula de Manning ter sido estabelecida para os condutos livres, ela também é aplicada para condutos forçados.

Na tabela 2.1 os diversos valores de  $n$  são apresentados de acordo com cada material de tubos:

**Tabela 2.1 – Valores do coeficiente  $n$  de Manning para diferentes tipos de materiais**

Material dos condutos	$n$ de Manning
Cerâmico	0,013
Concreto	0,013
PVC	0,010
Ferro fundido com revestimento	0,012
Ferro fundido sem revestimento	0,013
Cimento amianto	0,011
Aço soldado	0,011
RPVC/Poliéster	0,011

Fonte: Alem Sobrinho; Tsutiya (2000)

Portanto, partindo de valores de  $Q$ ,  $n$ ,  $l$  e diâmetros  $D$  pré-estabelecidos, é possível calcular os parâmetros  $A$ ,  $R_H$  e, conseqüentemente, os demais elementos geométricos dos coletores de esgotos.

## **2.9. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE REDES COLETORAS DE ESGOTOS**

### **2.9.1. Cálculo das vazões totais**

A vazão máxima de final de plano, ou seja, a vazão para o alcance final do projeto, é utilizada no dimensionamento das redes coletoras de esgotos para definir a capacidade que o coletor deve atender. A vazão máxima horária de início de plano (em um dia qualquer) é utilizada para a verificação das condições de autolimpeza do coletor, que deve ocorrer pelo menos uma vez ao dia.

A última norma da ABNT relacionada a redes coletoras de esgotos, a NBR 9649/1986, recomenda que em qualquer trecho da rede coletora, o menor valor da vazão a ser utilizado nos cálculos é de 1,5 L/s.

As vazões nas redes coletoras podem ser determinadas através dos seguintes critérios:

a) **Método dos Coeficientes de Variação de Vazão:** deve ser aplicado quando não existirem medições de vazão utilizáveis no projeto. Logo, para o dimensionamento da rede coletora de esgotos devem ser consideradas as seguintes vazões:

- Para início de plano: inclui somente  $K_2$  porque se refere especificamente à hora de maior contribuição, e não ao dia de maior contribuição.

$$Q_i = K_2 \bar{Q}_{d,i} + Q_{inf,i} + \sum Q_{c,i} \quad (2.37)$$

- Para fim de plano: inclui  $K_1$  e  $K_2$  porque se refere ao dia e à hora de maior contribuição.

$$Q_f = K_1 K_2 \bar{Q}_{d,f} + Q_{inf,f} + \sum Q_{c,f} \quad (2.38)$$

As vazões médias inicial e final de esgoto doméstico ( $\bar{Q}_{d,i}$ ) e ( $\bar{Q}_{d,f}$ ) podem ser calculadas pelas seguintes expressões:

$$\bar{Q}_{d,i} = \frac{C P_i q_i}{86400} \quad (2.39)$$

$$\bar{Q}_{d,i} = \frac{C a_i d_i q_i}{86400} \quad (2.40)$$

$$\bar{Q}_{d,f} = \frac{C P_f q_f}{86400} \quad (2.41)$$

$$\bar{Q}_{d,f} = \frac{C a_f d_f q_f}{86400} \quad (2.42)$$

Onde:

$C \rightarrow$  coeficiente de retorno

$P_i$  → população de início de plano, em hab.

$P_f$  → população de fim de plano, em hab.

$a_i$  → área esgotada de início de plano, em ha.

$a_f$  → área esgotada de fim de plano, em ha.

$d_i$  → densidade demográfica de início de plano, em hab/ha.

$d_f$  → densidade demográfica de fim de plano, em hab/ha.

$q_i$  → consumo de água efetivo per capita de início de plano, em L/hab.dia.

$q_f$  → consumo de água efetivo per capita de fim de plano, em L/hab.dia

As vazões de infiltração inicial e final são calculadas em função do comprimento da rede coletora em cada etapa de projeto.

- b) **Método dos Hidrogramas:** este método deve ser aplicado quando existirem medições de vazão utilizáveis no projeto. Logo, para dimensionamento da rede coletora de esgotos devem ser consideradas as seguintes vazões: Para início de plano:

$$Q_i = Q_{i,max} + \sum Q_{c,i} \quad (2.43)$$

Para final de plano:

$$Q_f = Q_{f,max} + \sum Q_{c,f} \quad (2.44)$$

Onde,  $Q_{i,max}$  e  $Q_{f,max}$  são as vazões máximas inicial e final do hidrograma calculado, composto com ordenadas proporcionais às de um hidrograma medido (modelo). Estas vazões correspondem, respectivamente, ao somatório das vazões domésticas e de infiltração iniciais e finais. Logo, podem ser calculadas da seguinte forma:

$$Q_{i,max} = q_{max} \frac{P_i}{P_m} \quad (2.45)$$

$$Q_{f,máx} = q_{max} \frac{P_f}{P_m} \quad (2.46)$$

Onde

$q_{max}$  → vazão máxima do hidrograma medido, em L/s.

$P_m$  → população da cidade cujo hidrograma foi medido (hidrograma modelo), em hab.

### 2.9.2. Cálculo das vazões dos coletores

Após o cálculo das vazões totais de início e final de plano, podem ser calculadas as respectivas taxas de contribuição inicial e final (linear ou por unidade de área) para o posterior cálculo das redes coletoras.

- Taxa de contribuição linear ( $T_x$ ): refere-se à unidade de comprimento da rede coletora:

Para início de plano:

$$T_{x,i} = \frac{K_2 \bar{Q}_{d,i}}{L_i} + T_{inf} \quad (2.47)$$

Para final de plano:

$$T_{x,f} = \frac{K_1 K_2 \bar{Q}_{d,f}}{L_f} + T_{inf} \quad (2.48)$$

Onde:

$L_i$  → comprimento total da rede coletora de início de plano, em m ou Km.

$L_f$  → comprimento total da rede coletora de fim de plano, em m ou Km.

$T_{inf}$  → taxa de contribuição de infiltração, em L/s.m ou L/s.km

- Taxa de contribuição por unidade de área ( $T_a$ ) – refere-se à unidade de área do projeto:

Para início de plano:

$$T_{a,i} = \frac{K_2 \bar{Q}_{d,i}}{a_i} + T_{inf,a} \quad (2.49)$$

Para final de plano:

$$T_{a,f} = \frac{K_1 K_2 \bar{Q}_{d,f}}{a_f} + T_{inf,a} \quad (2.50)$$

Onde,  $a_i$  e  $a_f$  são as áreas totais (inicial e final, em hectares) abrangidas pelo projeto, e  $T_{inf,a}$  é a taxa de contribuição de infiltração por unidade de área, L/s.m ou L/s.km.

Logo, as contribuições de vazão inicial e final de cada coletor são calculadas multiplicando-se o seu comprimento (ou a sua área de abrangência no esgotamento) pelas taxas de contribuição de início e final de plano, respectivamente.

### 2.9.3. Características técnicas para o dimensionamento

O dimensionamento de redes coletoras deve obedecer a uma série de limitações técnicas estabelecidas pela NBR 9649/1986 da ABNT, as quais são apresentadas a seguir:

- a) **Vazão mínima considerada para dimensionamento hidráulico:** para a determinação das dimensões de qualquer trecho a vazão não deve ser inferior a 1,5 L/s, o que equivale à vazão média de uma descarga de vaso sanitário. Sempre que a vazão de jusante de qualquer trecho for menor que 1,5 L/s, deve-se utilizar este mesmo valor para os cálculos hidráulicos.
- b) **Diâmetro mínimo do coletor:** não deve ser inferior a 100 mm. Recomenda-se no mínimo 150 mm para a rede coletora.
- c) **Tensão trativa mínima:** para assegurar a autolimpeza do coletor a tensão trativa não deve ser inferior a 1,0 Pa (1,0 N/m<sup>2</sup>) e 1,5 Pa (valor recomendado) para interceptores e emissários. Seguindo a NBR 14486/2000, os coletores cujo material é PVC podem ser calculados para uma tensão trativa mínima de 0,6 Pa.
- d) **Velocidade máxima:** a velocidade não deve ser superior a 5,0 m/s para evitar riscos às estruturas e cargas abrasivas nas paredes dos coletores.
- e) **Declividade mínima:** para garantir as condições mínimas de arraste, a declividade mínima do coletor deve obedecer à seguinte expressão (para  $n$  de Manning = 0,013):  $I_{min} = 0,005 Q^{-0,47}$ , sendo  $I_{min}$  em m/m e  $Q$  (vazão de esgoto no coletor) em L/s. As outras equações para diferentes  $n$  de Manning estão detalhadas no capítulo 3.

- f) **Lâmina d'água:** deve, no máximo, alcançar 75% do diâmetro do coletor, garantindo condições de escoamento livre e de ventilação. Entretanto, nos casos em que a velocidade no coletor ultrapassar a velocidade crítica, a lâmina d'água não deve ser superior a 50% do diâmetro do tubo.

Uma das características importantes a ser observada em projetos de redes coletoras de esgoto é a influência do remanso nas mesmas.

Segundo Alem Sobrinho; Tsutiya (2000), sempre que a cota do nível de água na saída de qualquer PV ou TIL ficar acima de qualquer das cotas dos níveis de água de entrada, deve ser verificada a influência do remanso no trecho de montante.

Crespo (1997) cita que a convergência de vazões a um PV pode exigir a fixação de um diâmetro superior do coletor de saída. Com a finalidade de se evitar remansos indesejáveis nos coletores afluentes, deve-se coincidir a geratriz superior dos tubos, ou seja, rebaixando o fundo do PV de montante.

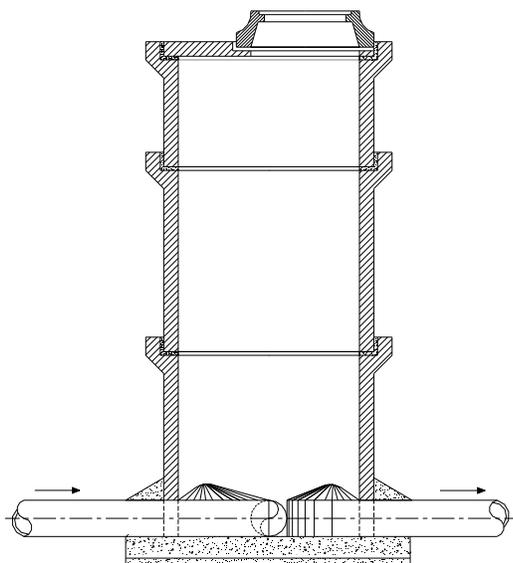
Fazer coincidir os níveis de água de montante e de jusante, para profundidades superiores à mínima, em um PV ou TIL é prática comum de modo a se evitar o remanso. No caso de se ter mais de um coletor afluente, o nível de água de jusante deve coincidir com o nível de água mais baixo dentre aqueles que chegam.

## **2.10. ÓRGÃOS ACESSÓRIOS DE REDES COLETORAS DE ESGOTOS**

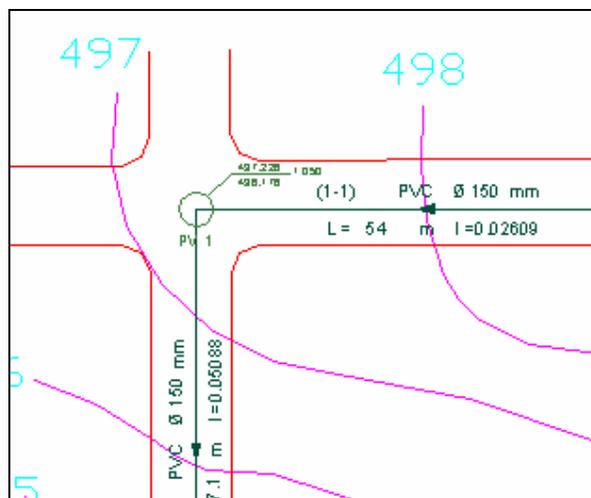
### **2.10.1. Poço de visita (PV)**

ABNT (1986) define o poço de visita como uma câmara visitável através de abertura existente em sua parte superior, destinada à execução de trabalhos de manutenção.

Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) definem o PV como uma câmara que, através de abertura existente em sua parte superior, permite o acesso de pessoas e equipamentos para executar trabalhos de manutenção. As figuras 2.7, 2.8 ilustram um poço de visita e sua representação no UFC9, respectivamente.



**Figura 2.7 – Poço de visita (corte)**



**Figura 2.8 – Representação de um PV no UFC9**

Há alguns anos, a utilização de poços de visita era tradicional em projetos de esgoto sanitário. Mas, com o surgimento de novos equipamentos de limpeza das redes, este órgão pôde ser substituído por tubos de inspeção e limpeza (TIL), terminais de limpeza (TL) e caixas de passagem (CP). Sendo que, os poços de visitas são obrigatórios nos seguintes casos:

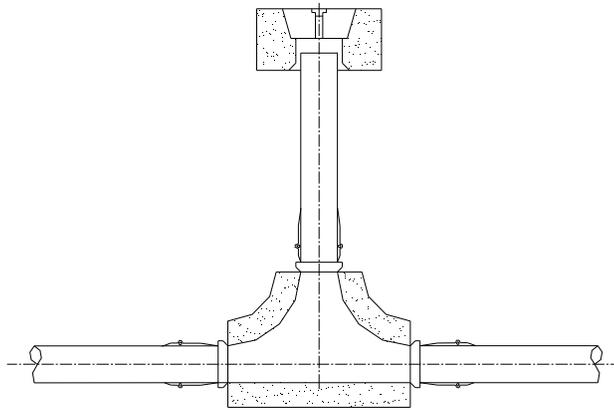
- na reunião de coletores com mais de três entradas;
- na reunião de coletores quando há necessidade de tubo de queda;
- nas mudanças de direção, declividade, diâmetro ou material dos coletores;
- no ingresso e na saída de sifões invertidos e travessias
- profundidades maiores que 3,0 m;
- diâmetro de coletores igual ou superior a 400 mm.

### **2.10.2. Tubo de inspeção e limpeza (TIL) ou poço de inspeção (PI)**

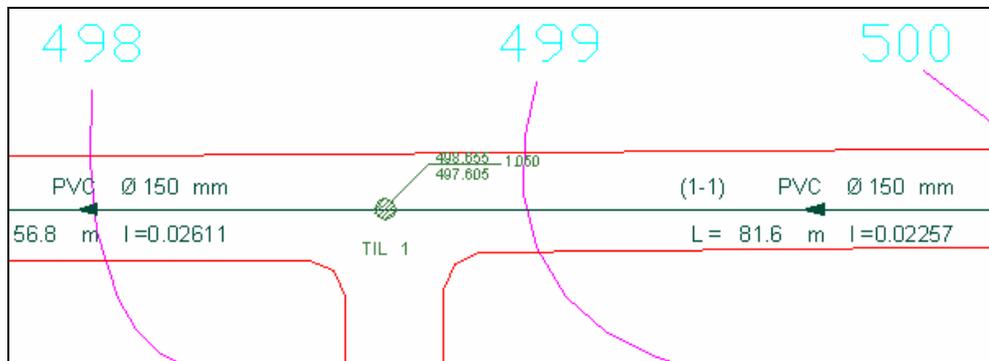
Segundo ABNT (1986), o TIL é um dispositivo não visitável que permite inspeção e introdução de equipamentos de limpeza. Esta singularidade de baixo custo pode ser inserida em trechos retos entre poços de visita, respeitando-se as distâncias máximas alcançadas pelos instrumentos de limpeza. As figuras 2.9 e 2.10 ilustram o TIL e sua representação no UFC9, respectivamente. Por ser de custo inferior, pode ser usado em substituição ao PV nos seguintes casos:

- na reunião de coletores (até três entradas e uma saída);
- nos pontos com degrau de altura inferior variando entre 0,50 a 0,60 m;
- a jusante de ligações prediais cujas contribuições podem acarretar problemas de manutenção;

- em profundidades de até 3,0 m.



**Figura 2.9 –** Tubo de inspeção e limpeza (planta)

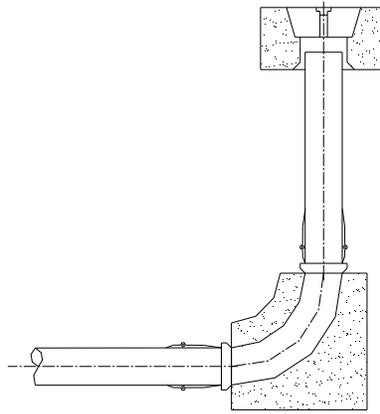


**Figura 2.10 –** Representação de um TIL no UFC9

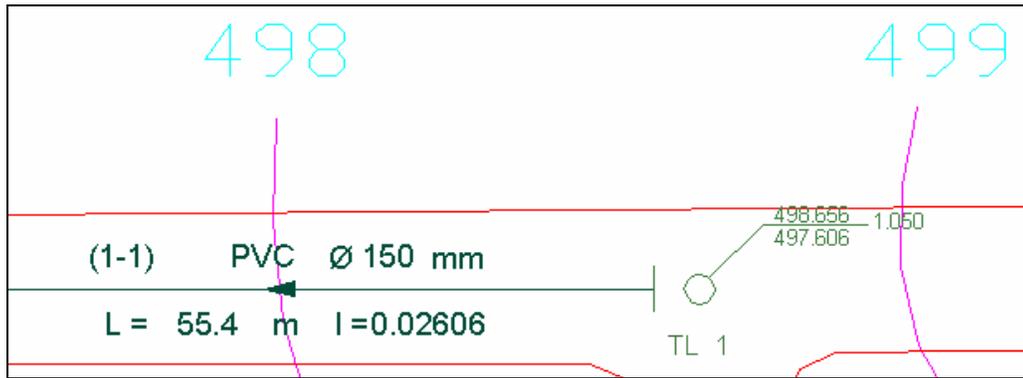
### 2.10.3. Terminal de limpeza (TL)

É um dispositivo que permite a introdução de equipamentos de limpeza através da cabeceira do coletor. Pode ser utilizado em substituição ao PV no início dos coletores.

As figuras 2.11 e 2.12 ilustram o TL e sua representação no UFC9, respectivamente.



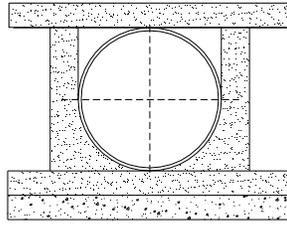
**Figura 2.11 – Terminal de limpeza (planta)**



**Figura 2.12 – Representação de um TL no UFC9**

#### **2.10.4. Caixa de Passagem (CP)**

A definição da CP, segundo ABNT (1986), é de uma câmara subterrânea sem acesso, localizada em pontos singulares da rede coletora por necessidade construtiva (mudanças de direção, declividade, diâmetro ou material), que permite a passagem de equipamento para limpeza do trecho a jusante. A figura 2.13 ilustra uma caixa de passagem.

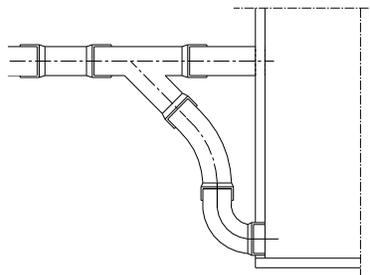


**Figura 2.13 – Caixa de passagem (corte)**

#### **2.10.5. Tubo de queda (TQ)**

É uma tubulação instalada na extremidade de jusante de um coletor, que se interliga um coletor afluente em cota mais alta ao fundo de um PV.

Este dispositivo somente deve ser instalado quando a diferença entre cota de chegada do coletor e a cota de fundo do PV for maior ou igual a 0,50m (ou outro valor estipulado em projeto), evitando assim a ocorrência de respingos que prejudiquem os trabalhos de manutenção no poço. Não é recomendado o uso de tubos de quedas em TIL. A figura 2.14 ilustra um tubo de queda.



**Figura 2.14 – Tubo de queda (corte)**

### 2.10.6. Degrau (DG)

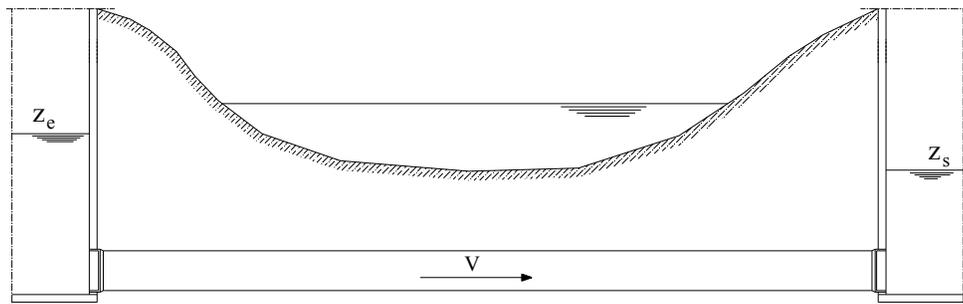
Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) recomendam na chegada do coletor no PV com diferença de cota inferior a 0,60 m, o degraú deve ser executado, ou seja, o coletor aflúente lança seus esgotos diretamente no PV. Pode-se aprofundar o coletor e eliminar o degraú, caso os desníveis sejam maiores ou iguais 0,20 m.

### 2.10.7. Sifão invertido (SI)

Segundo NUVOLARI (2003), trata-se de um trecho rebaixado de coletor com escoamento sob pressão que interrompe o curso do escoamento livre do esgoto e também o fluxo da mistura de ar e gases que ocorre na lâmina livre do tubo.

Sua finalidade é transpor obstáculos como galerias de águas pluviais, cabos elétricos ou de comunicações, adutoras, linhas férreas, depressões do terreno ou cursos d'água.

O sifão invertido apresenta perfil similar a um "U" interligando duas câmaras por uma tubulação subterrânea que funciona como conduto forçado, conforme ilustra a figura 2.15. Isto é devido ao nível da câmara de entrada ser superior ao da câmara de saída, fazendo com que a tubulação esteja completamente preenchida e funcione com pressão superior à atmosférica.



**Figura 2.15** – Sifão invertido (corte)

## 2.11. INTERCEPTORES DE ESGOTOS

### 2.11.1. Introdução

Interceptor é uma tubulação que recebe apenas contribuições de outros coletores, não recebendo de ligações prediais diretas. Geralmente é localizado perto de cursos de água.

Os interceptores de pequeno diâmetro são dimensionados como redes coletoras, obedecendo à norma NBR 9649/1986, da ABNT. No entanto, os de grandes dimensões devem ser dimensionados de acordo com a NB 568 – Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário, de novembro de 1989, da ABNT. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000)

Em interceptores ou coletores tronco com diâmetros superiores a 1,0 m e extensão acima de 5 Km, a suposição de escoamento permanente e uniforme (adotada para dimensionamento da rede coletora) pode acarretar em erros significativos nos resultados finais do dimensionamento, uma vez que há defasagem entre os ciclos de variação de vazão ao longo do conduto e amortecimento dos picos de vazão (efeito de reservatório).

Assim sendo, é usual serem desenvolvidos estudos para definição das ondas de esgotamento, para determinação das vazões de projeto. Quando não se dispõe de dados de vazão no sistema existente, normalmente adotam-se dados (hidrogramas) de sistemas similares em operação.

### 2.11.2. Determinação das vazões

De modo análogo à rede coletora, para cada trecho do interceptor devem ser estimadas as vazões inicial e final.

A vazão inicial de um trecho  $n$  qualquer é dada pela seguinte fórmula:

$$Q_{i,n} = Q_{i,n-1} + Q_{i,a} \quad (2.51)$$

Onde:

$Q_{i,n}$  → vazão inicial do trecho  $n$ , em  $[L^3/T]$ .

$Q_{i,n-1}$  → vazão inicial do trecho de montante, em  $[L^3/T]$ .

$Q_{i,a}$  → vazão inicial do coletor afluyente à singularidade de montante do trecho  $n$ , em  $[L^3/T]$ .

A vazão final de certo trecho  $n$  é dada por:

$$Q_{f,n} = Q_{f,n-1} + Q_{f,a} \quad (2.52)$$

Onde:

$Q_{f,n}$  → vazão final do trecho  $n$ , em  $[L^3/T]$ .

$Q_{f,n-1}$  → vazão final do trecho de montante, em  $[L^3/T]$ .

$Q_{f,a}$  → vazão final do coletor afluyente à singularidade de montante do trecho  $n$ , em  $[L^3/T]$ .

Para o emissário, trecho final do interceptor, a avaliação compreende também a consideração do amortecimento das vazões dos trechos anteriores, decorrentes da defasagem de seus aportes ao emissário. Segundo a norma vigente, a defasagem das vazões das redes afluentes ao emissário deve ser considerada mediante a composição dos seus respectivos hidrogramas com as vazões dos trechos do interceptor imediatamente anteriores. (ARAUJO, 2003c)

Segundo Araujo (2003c apud ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000), outro procedimento estudado pela SABESP propõe que a vazão contribuinte para o último trecho do interceptor ou emissário seja calculada, levando-se em conta a variação do coeficiente de reforço " $K$ ", onde:

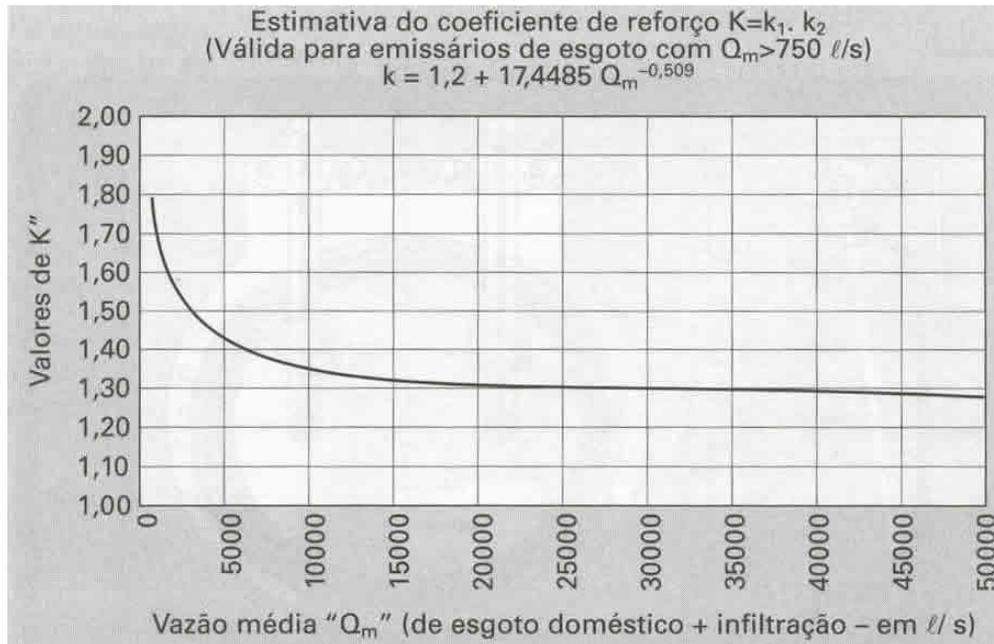
$$K = K_1 K_2 \quad (2.53)$$

Quando as vazões superarem o valor de 750 L/s,  $K$  seria representado por uma curva (ilustrada na figura 2.16), que tende assintoticamente ao valor  $K = 1,2$  e que pode ser calculada pela equação (2.55) a seguir.

$$K = 1,2 + 17,4485 Q_m^{-0,509} \quad (2.54)$$

Onde  $Q_m$  é a vazão média, em L/s.

Já para vazões menores que 750 L/s, Araujo (2003c apud ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000) recomenda utilizar o coeficiente de reforço  $K = 1,80$ .



**Figura 2.16** – Valores do coeficiente de reforço  $K$  para emissários

Fonte: Araujo (2003c)

### 2.11.3. Composição de hidrogramas

A composição de hidrogramas dos coletores-tronco das bacias contribuintes aos interceptores pode atenuar as vazões de pico, considerando as defasagens decorrentes dos tempos de percurso no interceptor e nos próprios coletores-tronco.

Segundo Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) os hidrogramas podem ser obtidos através dos seguintes métodos:

- utilização de modelo matemático;
- medições diretas;
- composição de hidrogramas singelos.

### 2.11.4. Dimensionamento hidráulico de grandes coletores e interceptores

Após a obtenção do hidrograma resultante, isto é, das vazões efluentes a serem consideradas no cálculo dos grandes coletores ou interceptores, devem ser verificadas ainda as seguintes condições:

- a) **Declividade mínima:** para a vazão de início de plano, deve-se considerar uma tensão trativa superior a 1,5 Pa para se garantir a autolimpeza do interceptor. A declividade (para o coeficiente de Manning  $n = 0,013$ ) que satisfaz esta condição é dada pela equação (2.55). As equações para diferentes coeficientes de Manning são apresentadas no capítulo 3.

$$I_{min} = 0,00035 Q_i^{-0,47} \quad (2.55)$$

Onde:

$I_{min}$  → declividade mínima do interceptor, em [L/L].

$Q_i$  → vazão de início de plano, em [L<sup>3</sup>/T].

- b) **Velocidade máxima:** para a vazão de final de plano, deve-se considerar uma velocidade máxima de 5,0 m/s. A declividade que satisfaz esta condição é dada pela seguinte expressão:

$$I_{max} = 4,65 Q_f^{-0,67} \quad (2.56)$$

Onde:

$I_{max}$  → declividade máxima do interceptor, em[L/L].

$Q_f$  → vazão de final de plano, em [L<sup>3</sup>/T].

No dimensionamento dos grandes coletores e interceptores normalmente adota-se uma lâmina máxima de 85% do diâmetro do tubo. Entretanto, de modo similar ao cálculo das redes coletoras, quando a velocidade final  $V_f$  for superior à velocidade crítica  $V_c$ , a lâmina máxima admissível é de 50% do diâmetro do tubo, assegurando-se assim a condição de ventilação do trecho.

- c) **Contribuição do tempo seco:** nos casos em que a vazão inicial for muito pequena, admite-se o lançamento nos interceptores de cursos d'água ou de águas provenientes do sistema de drenagem superficial, excetuando-se as águas de precipitação pluvial da bacia correspondente. Esta admissão, denominada “contribuição de tempo seco”, deve ser feita através de dispositivo que evite a entrada de material grosseiro, detritos e areia e não deve superar 20% da vazão final do trecho a jusante do ponto de admissão.
- d) **Contribuição pluvial parasitária:** A contribuição pluvial parasitária deve ser adicionada à vazão final para verificação do funcionamento do interceptor e dimensionamento dos extravasores instalados ao longo do mesmo.
- Este parâmetro pode ser determinado com base em medições locais. No caso de inexistência de tais medições, ABNT (1992) recomenda a adoção de taxas não superiores a 6,0 L/s.km.

### 2.11.5. Remanso em interceptores de esgoto

Após o dimensionamento dos trechos, deve-se proceder a verificação do comportamento hidráulico dos interceptores e de seus órgãos complementares para as condições de remanso.

Os remansos são perfis de linha d'água que se desenvolvem ao longo dos condutos livres, canais ou rios. Eles apresentam variação de velocidade e de profundidade de seção para seção, apesar de o regime ser permanente, ou seja, a vazão ser constante.

Estes perfis ocorrem em interceptores ou grandes coletores quando por qualquer motivo, o regime de escoamento sofre mudanças de seu estado normal, através de singularidades, de mudanças de declividade e da existência de órgãos de controle de vazão como comportas e extravasores.

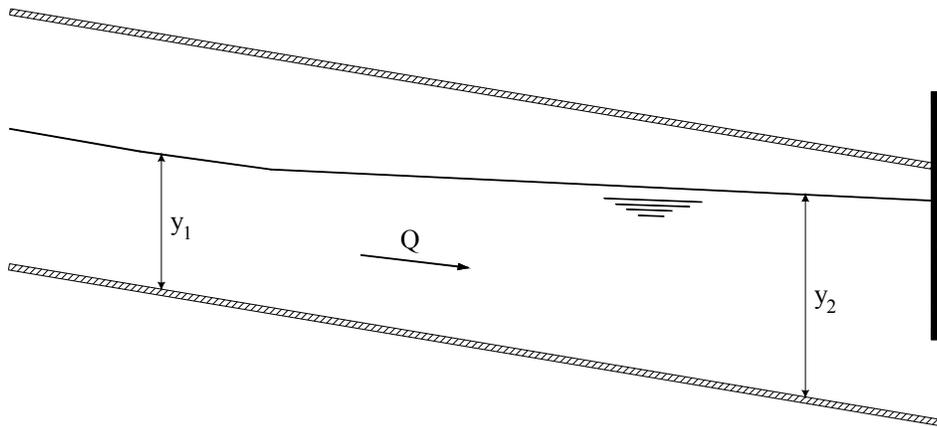
Dentre os diversos métodos existentes para cálculo das curvas de remanso em condutos livres, pode-se destacar o Método de Runge-Kutta de 4ª ordem (integração numérica) e o "Step Method" (planilha eletrônica).

A partir da aplicação desses métodos, resolve-se numericamente a seguinte equação para se estimar a declividade da superfície livre do líquido  $dy/dx$ :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{l_o - l_f}{1 - Fr^2} \quad (2.57)$$

Sendo  $l_o$  e  $l_f$ , respectivamente, as declividades do fundo do coletor e da linha de carga e  $Fr$  o número de Froude.

A figura 2.17 ilustra o perfil de uma curva de remanso em um interceptor, gerada em função da existência de uma comporta de jusante. É importante observar que a altura líquida aumenta de  $y_1$  para  $y_2$  à medida que o escoamento se aproxima da comporta.



**Figura 2.17 – Curva de remanso em um interceptor**

#### **2.11.6. Traçado de interceptores de esgoto**

Segundo a ABNT (1992), o traçado do interceptor deve ser constituído por trechos retos em planta e perfil. Em casos especiais explicitamente justificados, podem ser empregados trechos curvos em planta. O ângulo máximo de deflexão em planta em trechos adjacentes deve ser de 30°; ângulos maiores devem ser justificados técnica e economicamente.

Além dessas características, devem ser verificados os regimes de escoamento nos interceptores de tal forma que os trechos de grande declividade (escoamento supercrítico) sejam interligados aos de baixa declividade (escoamento subcrítico) por um segmento de transição com declividade crítica para a vazão inicial. Esses regimes são caracterizados pelo número de Froude, isto é, para  $Fr = 1$  o regime de escoamento é crítico (declividade crítica),  $Fr < 1$  o regime é subcrítico e  $Fr > 1$  o regime é supercrítico.

## **2.12. MATERIAIS DAS TUBULAÇÕES DE ESGOTO**

### **2.12.1. Introdução**

Atualmente no Brasil, o material mais utilizado em sistemas coleta e transporte de esgoto tem sido o PVC (policloreto de vinila) e seus derivados, RPVC (tubo de PVC rígido) e PRFV (tubos RPVC revestidos com fibra de vidro). Para linhas de recalque, normalmente são utilizados tubos de ferro fundido ou aço.

Alguns materiais como, por exemplo, tubo cerâmico, concreto e cimento-amianto já caíram em desuso no Brasil, mas ainda podem ser encontrados em sistemas de esgotos mais antigos.

Segundo Alem Sobrinho; Tsutiya (2000) as características dos esgotos, as condições locais e os métodos utilizados na construção condicionam a escolha do material a ser utilizado e alguns fatores devem ser observados para uma escolha criteriosa do material:

- resistência às cargas externas;
- resistência à abrasão e ao ataque químico;
- facilidade de transporte;
- disponibilidade de diâmetros necessários;
- custo do material;
- custo de transporte;
- custo de assentamento.

### **2.12.2. PVC**

Estes tubos foram normatizados com a NBR 14486/2000 da ABNT. Esta norma fixa as condições exigíveis para tubos de PVC, destinados à rede coletora e ramais prediais enterrados para a condução de esgotos sanitários e despejos industriais, cuja temperatura do fluido não exceda 40°C.

Cada tubo de PVC tem 6,0 metros de extensão e seus diâmetros (nominais) são de 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 mm.

Os tubos de PVC podem ser revestidos de fibra de vidro. Estes são chamados de PRFV. Podem conter como "liner" (barreira química - superfície interna que entrará em contato direto com o fluido) o PVC, que proporciona alta resistência a produtos químicos e à abrasão. Outro tipo de tubo PRFV é o que contém como liner a resina. Há a possibilidade de se escolher a resina a ser utilizada conforme o tipo de fluido a ser conduzido. A espessura da camada de fibra de vidro depende da classe de pressão e rigidez desejável.

Os tubos de PVC DEFoFo, apenas para condutos forçados, são fabricados com diâmetro externo equivalente ao dos tubos de ferro fundido e suas respectivas juntas elásticas e destinados à aplicação em sistemas fixos enterrados. Sua gama de diâmetros é a mesma dos tubos PVC convencionais.

### **2.12.3. Ferro fundido**

Este tipo de tubo é mais utilizado em estações elevatórias e linhas de recalque. Para o escoamento livre são utilizados em situações que exijam tubos que suportem cargas muito altas, em travessias aéreas ou em passagens sob obstáculos.

Os diâmetros comerciais disponíveis para o ferro fundido são: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 e 1200 mm.

“São sensíveis à corrosão pelos esgotos ácidos ou em estado séptico, e por solos ácidos. Quando ocorrem essas condições desfavoráveis deve ser previstos revestimentos internos e/ou externos.” (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

#### **2.12.4. Cimento-amianto**

Segundo CETESB (1977), são tubos de ponta-bolsa e luva, ou com que qualquer outro tipo de junta, fabricados com uma mistura íntima e uniforme de cimento Portland, amianto e água. Estes tubos já não são fabricados no Brasil há alguns anos.

#### **2.12.5. Aço**

De acordo com Alem Sobrinho; Tsutiya (2000), os tubos de aço são recomendados nos casos quando ocorrem esforços elevados sobre a linha, como no caso de travessias diretas de grandes vãos, cruzamentos subaquáticos, ou ainda quando se deseja uma tubulação com pouco peso, de estanqueidade absoluta e com alta resistência a pressões de ruptura. Estes tubos resistem aos efeitos de choques, deslocamentos e pressões externas.

Os tubos de aço podem ser ponta-bolsa, junta elástica e estão disponíveis nos diâmetros comerciais de 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200 mm. Pode ser, também, de aço soldado, rebitado, sem costura e corrugados.

### **2.12.6. Concreto**

Estes tubos podem ser de concreto simples ou armado. Segundo CETESB (1977), quando se necessitam grandes diâmetros é interessante o emprego de concreto armado, pois os tubos para uma mesma resistência, são mais leves e geralmente mais baratos.

### **2.13. LIGAÇÕES PREDIAIS**

A ligação predial ou ramal predial é o trecho da tubulação que, partindo do coletor, alcança o alinhamento da rua. A partir deste ponto, começa a instalação predial, portanto, dentro dos limites da propriedade beneficiada.

“A execução da ligação predial é feita normalmente por solicitação do interessado quando a rede coletora encontra-se em execução ou já em funcionamento.” (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000)

Em função da posição da rede coletora na via pública, da sua profundidade, do tipo de terreno, do tipo de pavimentação, da época de execução da rede em relação à ocupação dos lotes, do conhecimento das testadas dos lotes não edificados, bem como de razões de ordem econômicas, podem ser previstos os seguintes sistemas de ligações: ortogonal – ligações simples, ortogonal – ligações múltiplas e radial – ligações múltiplas. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000)

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. DESCRIÇÃO GERAL**

O cálculo de redes de esgoto é um processo que, se realizado de forma manual (sem auxílio de um computador) torna-se lento, conseqüentemente de custos mais elevados e sujeito à ocorrência de erros na entrada dos dados.

Atualmente, não se pode pensar em projetos de esgotamento sanitário sem a utilização de aplicativos específicos para o traçado e dimensionamento das redes coletoras.

A utilização de programas computacionais faz-se cada vez mais necessária devido aos processos de otimização e redução do tempo de elaboração de projetos que a cada dia são exigidos por parte das concessionárias e dos construtores.

Partindo desta premissa, traçou-se o objetivo do trabalho em questão: a criação de um programa computacional para a elaboração de projetos de esgotos de manuseio mais simples, incluindo os traçados e os cálculos das redes.

O programa foi denominado UFC9 e faz parte de um conjunto de aplicativos para saneamento da Universidade Federal do Ceará, desenvolvidos pelo Grupo de Estudos em Hidráulica Computacional (GEHC).

As linguagens de programação utilizadas foram o AutoLISP, Visual Basic for Applications e Visual Basic, sendo as duas primeiras partes integrantes do AutoCAD.

Desde que foi lançado, o Autocad é uma referência quando se fala em computação gráfica. Utilizado na projeção dos mais variados produtos, como automóveis, construção civil, arquitetura, engenharia e na própria informática, muitos projetistas o utilizam para desenvolver suas atividades, sendo estes os principais motivos para a utilização do AutoCAD como base para o UFC9. (RODRIGUES; CORDEIRO; CASTRO, 2005)

O VBA e o AutoLISP são capazes de oferecer recursos que facilitam diversos tipos de incrementos que sem eles não seria possível. Ao se criar um conjunto de rotinas pode-se, por exemplo, instituir novos comandos além dos existentes no AutoCAD.

Segundo Almeida (2000), a linguagem LISP é usada, principalmente, em inteligência artificial. O objetivo do LISP é o processamento de listas. Uma lista é simplesmente um parêntese à esquerda, uma seqüência de palavras ou números que é interpretada pela linguagem.

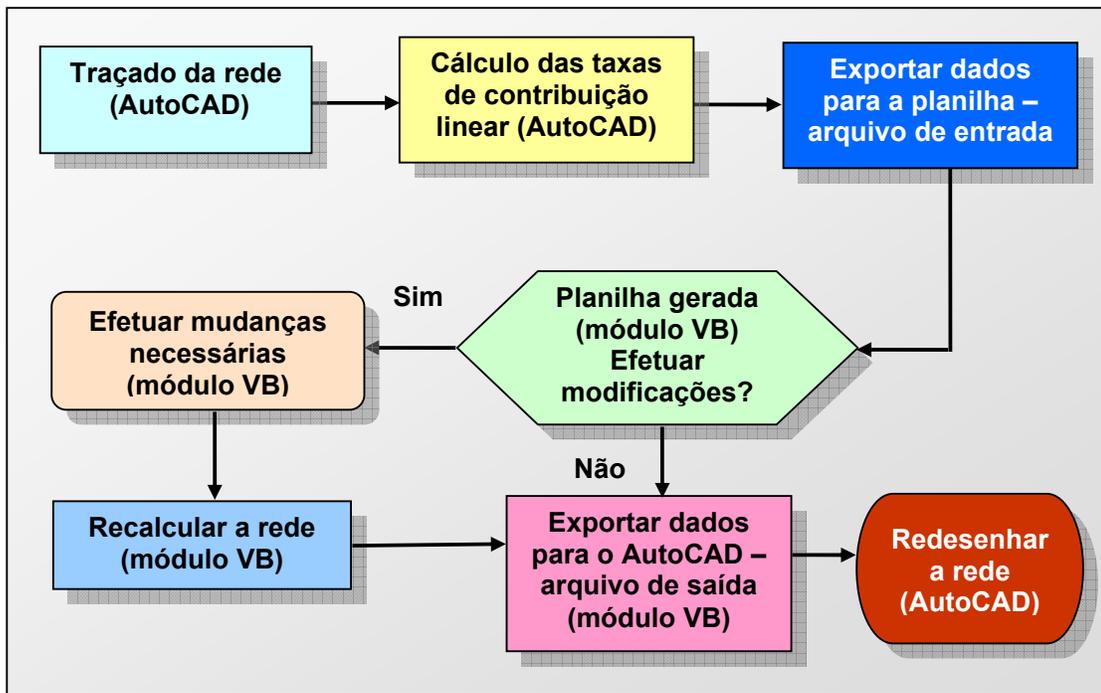
O AutoLISP foi utilizado para a criação do traçado da rede. Todos os desenhos dos tubos, linhas de chamada e órgãos acessórios foram baseados nesta linguagem.

Kramer; Gibb (1999) citam que soluções em Visual Basic for Applications são interativas e podem fazer uso mais extensivo de caixas de diálogo. Alguns comandos feitos em VBA, tornar-se-iam muito mais complexos se programados em AutoLISP.

O AutoLISP e o VBA, se utilizados em conjunto, resultam em ferramentas poderosas para aplicações no AutoCAD. As três linguagens envolvidas trazem um resultado satisfatório para o método proposto e, conseqüentemente, para o aplicativo final (UFC9).

De acordo com Rodrigues; Cordeiro; Castro (2005 apud CANADY, 2000), o Visual Basic teve sua origem na linguagem Basic, que é uma linguagem de programação estruturada. No entanto, o Visual Basic usa um modelo de programação dirigido por eventos. Tanto o VB como o VBA são linguagens desenvolvidas pela empresa americana *Microsoft Corporation*.

A figura 3.1 apresenta o esquema do método proposto.



**Figura 3.1 – Esquema do método proposto (UFC9)**

## **3.2. MODELO COMPUTACIONAL (UFC9) – MÓDULO AUTOCAD**

### **3.2.1. Introdução**

O UFC9 divide-se em dois módulos: AutoCAD e Visual Basic (VB). Sendo o primeiro, onde as linguagens AutoLISP e Visual Basic for Applications estão implementadas. O segundo módulo é baseado na linguagem Visual Basic e é executado a partir de um botão criado para o módulo AutoCAD.

### **3.2.2. Traçado da rede**

O uso da computação gráfica tem seu início a partir do traçado da rede, após esta etapa ter sido concluída, pode-se realizar o cálculo das taxas de contribuição linear e, por conseguinte, o dimensionamento da rede.

Uma vantagem apresentada pelo UFC9 é a interpolação automática das curvas de nível do terreno. À medida que o usuário traça a rede, uma rotina computacional calcula automaticamente a cota do terreno. Caso as curvas de nível não sejam reconhecidas pelo programa uma caixa de diálogo surge na tela e o usuário pode entrar com a cota manualmente.

As singularidades são adicionadas clicando-se no botão correspondente e localizando-as nas extremidades ou nas chegadas/saídas dos tubos. A numeração segue um caráter seqüencial e crescente. Não é possível repetir-se números em singularidades iguais. Por exemplo, não se pode ter dois PV-1 ou dois TL-2.

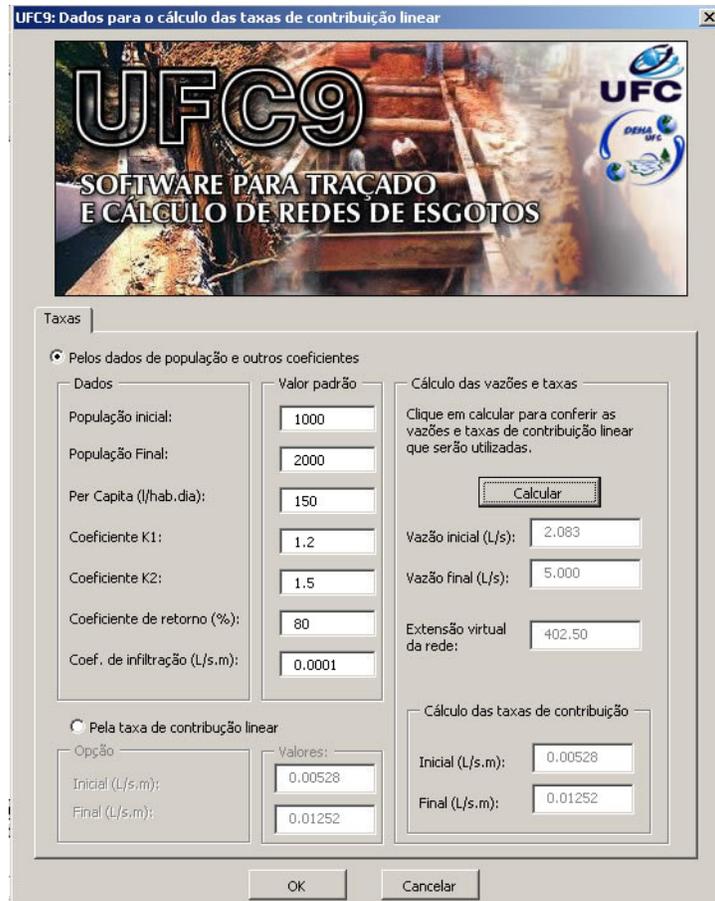
Qualquer mudança que se queira efetuar no tubo ou singularidade é feita através do botão EDIT no AutoCAD (ver apêndice C). Podem ser efetuadas mudanças no diâmetro e numeração dos trechos, numeração e profundidades das singularidades, vazões concentradas, etc.

Tendo uma visualização da rede, o projetista pode fazer as mudanças que julgar necessário sem ter que dimensioná-la primeiro ou, se assim desejar, poderá dimensionar e posteriormente efetuar alguma modificação.

O apêndice C apresenta uma explicação detalhada sobre todos os passos do traçado de uma rede no UFC9, bem como o cálculo das taxas de contribuição linear.

### **3.2.3. Cálculo das taxas de contribuição linear**

O cálculo das taxas de contribuição linear foi desenvolvido em VBA, por possuir maior flexibilidade no uso de caixas de dialogo, facilitando a interface para o usuário. Conforme ilustra a figura 3.2, pode-se optar pelo cálculo das taxas partindo dos parâmetros necessários para tal (populações, coeficientes, contribuição per capita, etc.) ou digitando diretamente as taxas de início e fim de plano, se as tiver previamente calculado.



**Figura 3.2** – Tela de cálculo das taxas de contribuição linear do UFC9 – módulo AutoCAD

Os parâmetros de entrada e as taxas ficam armazenados no desenho da rede, evitando que o usuário as digite novamente.

Os cálculos das vazões e taxas de contribuições estão explanados no capítulo 2, itens 2.9.1 e 2.9.2. Vale ressaltar que nas caixas de diálogo dos cálculos das vazões apresentados na figura 3.2 não se considera a taxa de infiltração na rede.

Para que o módulo VB seja executado, a tela com o cálculo das taxas deve ser preenchida. Em se confirmando as taxas (clicando-se em ok), um arquivo de entrada é gerado (entrada.u9e), que é necessário para o Visual Basic e, conseqüentemente, para o dimensionamento da rede.

### 3.3. MODELO COMPUTACIONAL (UFC9) – MÓDULO VISUAL BASIC

#### 3.3.1. Introdução

Este é o módulo que contém todos os passos para o dimensionamento de uma rede coletora de esgotos. O modelo computacional proposto é baseado na geometria e hidráulica dos coletores de esgoto, discutidos no capítulo 2.

A figura 3.3 apresenta a tela inicial do UFC9 – módulo VB.



**Figura 3.3** – Tela inicial do UFC9 – módulo Visual Basic

#### 3.3.2. Estrutura do UFC9

O Visual Basic proporciona ao programador ferramentas diversas, para que este desenvolva um aplicativo com uma interface amigável e intuitiva. Os formulários, recursos numéricos e gráficos, facilidade de uso e o sistema de tratamento de erros são adequados ao modelo computacional proposto, sendo os principais motivos da escolha do VB.

A partir do arquivo de entrada (entrada.u9e – um exemplo pode ser encontrado no apêndice A), o módulo VB começa a executar as instruções para o cálculo da rede. Este arquivo fornece o comprimento do trecho, singularidades de montante e jusante, vazões concentradas, profundidades de montante e jusante, etc.

Alguns dos parâmetros que se pode destacar no arquivo de entrada são a ponta-seca e o tipo de contribuição. A ponta-seca indica que o trecho não recebe vazão de nenhum outro, exceto se foi previsto alguma vazão concentrada no órgão acessório de montante do trecho em questão. Caso o trecho não seja ponta-seca, o mesmo recebe contribuições de vazão de outros trechos.

A vazão de um trecho pode ser dividida em três tipos de contribuição: bilateral, unilateral e sem contribuição. O primeiro tem sua vazão dada pela equação (3.1) abaixo, o segundo pela equação (3.2) e o terceiro não tem vazão no trecho (vazão nula).

$$Q_t = L T_x \quad (3.1)$$

$$Q_t = \frac{L T_x}{2} \quad (3.2)$$

Onde:

$Q_t \rightarrow$  vazão no trecho, em L/s.

$T_x \rightarrow$  taxa de contribuição linear (inicial ou final), em L/s.m

### 3.3.3. Algoritmo das vazões

Este algoritmo registra cada trecho identificando qual o tipo de contribuição, se o trecho é ponta-seca ou recebe contribuições de outros condutos. Em seguida, faz os devidos cálculos para a determinação das vazões.

Esta rotina é um teste que exige que algumas variáveis computacionais referentes aos trechos sejam do tipo *booleana*. Este tipo de variável só admite dois estados: *true* (verdadeiro) ou *false* (falso).

O trecho final só pode ser calculado se todos os anteriores já tiverem sido calculados, sendo este outro ponto a ser destacado.

Criou-se uma variável *booleana* chamada “ponta-seca”. Se no trecho a ser calculado a hipótese de o mesmo ser uma ponta-seca for verdadeira o estado da variável torna-se *true* (verdadeiro), caso contrário torna-se *false* (falsa). A figura 3.4 ilustra o esquema do algoritmo das vazões.

Outra variável *booleana* utilizada nos trechos refere-se ao estado de cálculo, que pode ser marcado como calculado ou não calculado. Conforme ilustra a figura 3.4, se o teste hipotético for verdadeiro, ou seja, se o trecho puder ser calculado, o mesmo será calculado e a variável será marcada como verdadeira, caso contrário será marcada como falsa.

Para o completo ciclo do algoritmo das vazões é necessário que seja calculado um trecho antes de se passar para o próximo, sempre seguindo o esquema mostrado na figura 3.4.

O dimensionamento de cada trecho consiste em determinar as lâminas líquidas, a tensão trativa, os degraus, as cotas do coletor, as velocidades, o diâmetro, a declividade e as profundidades, que serão explanadas nos itens a seguir.

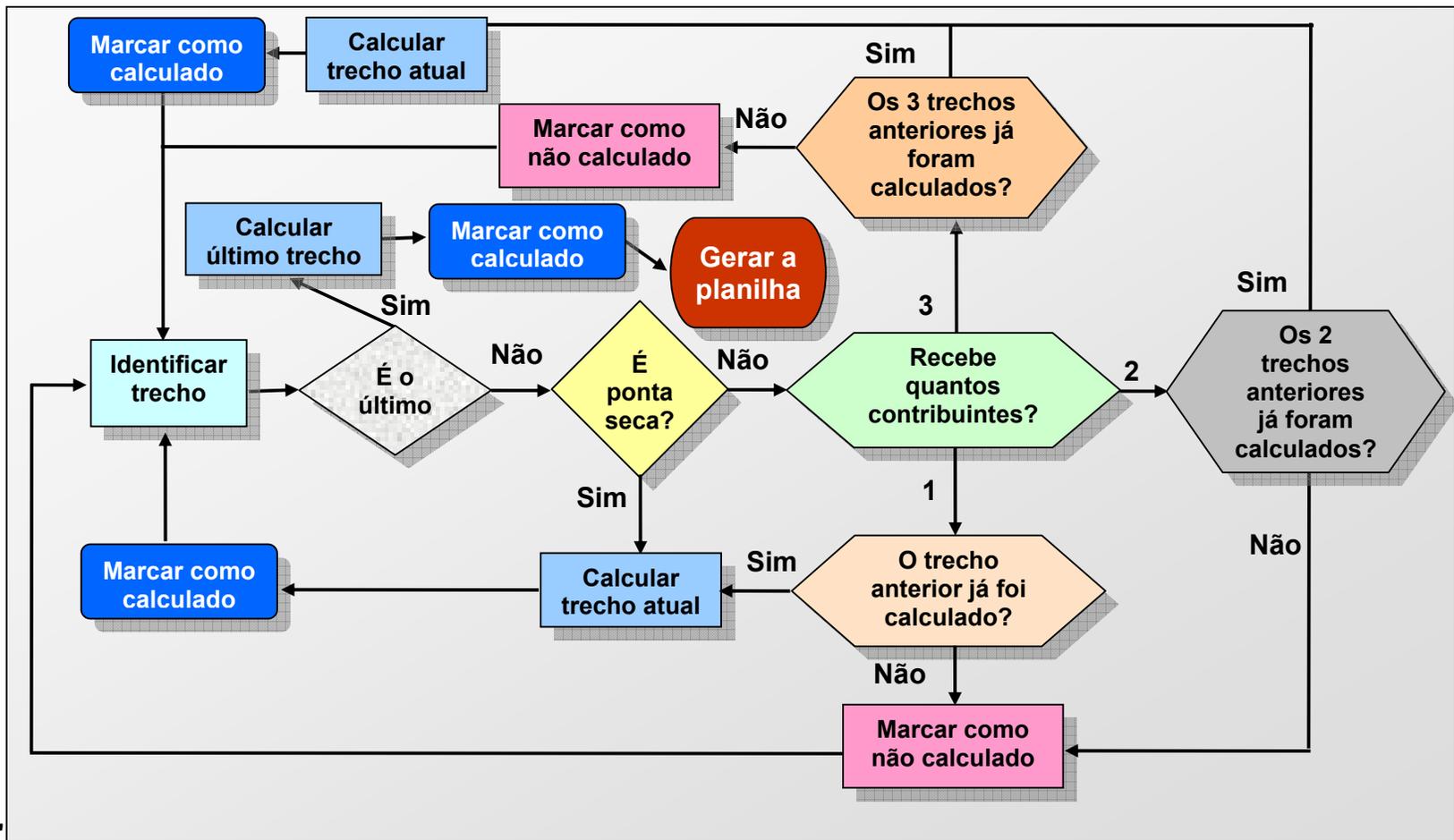


Figura 3.4 – Esquema do algoritmo das vazões

### 3.3.4. Considerações sobre a tensão trativa e declividade

A tensão trativa está intrinsecamente relacionada com o arraste de materiais sólidos, pois estes últimos quando encontrados no esgoto, consistem de partículas orgânicas e inorgânicas.

Devido ao efeito da gravidade, qualquer destas partículas com densidade maior que a da água tenderá a depositar-se nas tubulações de esgoto. O estudo da deposição dessas partículas é bastante complexo, uma vez que a vazão de esgoto varia ao longo do tempo. Nessas condições, o movimento do líquido é na realidade variado, embora se admita para o dimensionamento das tubulações de esgoto, o movimento permanente e uniforme. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000)

Nas horas de menor contribuição, as partículas sólidas são depositadas nas tubulações. De acordo com Alem Sobrinho; Tsutiya (2000), a tensão trativa crítica é definida como uma tensão mínima necessária para o início do movimento das partículas depositadas nas tubulações de esgoto.

Para projetos de redes coletoras de esgoto, ABNT (1986) exige que cada trecho deve ser verificado pelo critério da tensão trativa média de valor mínimo de 1,0 Pa, calculada para a vazão inicial e coeficiente de Manning  $n = 0,013$ .

Para outros coeficientes de Manning, outras fórmulas de declividade mínima são necessárias. Tendo como base a tensão trativa de 1,0 Pa, Fadiga Junior (2000) propôs utilizar as equações (2.27), (2.33) e (2.34) que são, respectivamente, da tensão trativa, de Chèzy e de Manning.

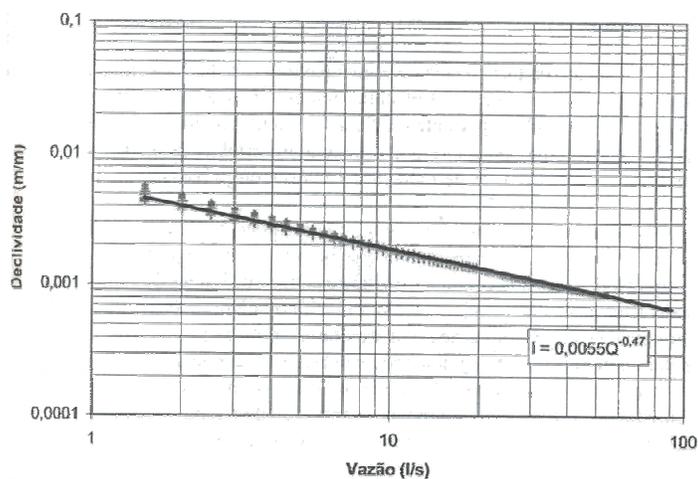
Substituindo a equação (2.34) na (2.33) e reagrupando a equação resultante com a (2.27), tem-se a equação (3.3):

$$I = \left( \frac{nQ}{R_H^{2/3}} \right)^2 \frac{y}{\sigma} \quad (3.3)$$

Segundo Fadiga Junior (2000), com a equação (3.3) é possível calcular a declividade com base nas características do escoamento. No entanto, como não são conhecidos os comportamentos da vazão e do raio hidráulico, que são dependentes dos outros parâmetros existentes na equação, além da forma (circular para tubos de esgoto) e das dimensões da seção transversal, faz-se necessário fixar um valor para o coeficiente de Manning e para a tensão de arraste mínima (trativa) de modo a reduzir o número de variáveis e para poder-se calcular o valor de  $I$  tal que  $\sigma \geq \sigma_{\min}$ . Para a resolução da equação (3.3), Fadiga Junior (2000) utilizou o algoritmo de Newton-Raphson

O coeficiente de Manning  $n = 0,013$  é o que a ABNT sugere para ser adotado, mas, com novas pesquisas em materiais advindos do PVC e até mesmo outros que possam surgir com novas tecnologias, os engenheiros projetistas estão diante de novas possibilidades de valores do coeficiente de Manning.

Fadiga Junior (2000) utilizou nos cálculos diâmetros que variam entre 100 e 400 mm, já que as redes coletoras de esgotos prediais possuem dimensões reduzidas. A figura 3.5 apresenta o ajuste obtido de uma reta considerando-se  $\sigma = 1,0$  Pa e  $n = 0,013$ , para diâmetros que variam de 100 a 400 mm e lâmina d'água limitada a  $0,75 Y/D$ .



**Figura 3.5** – Ajuste para  $\sigma = 1,0$  Pa e  $n = 0,013$ , determinação da equação  $I$  em função de  $Q$

Fonte: Fadiga Junior (2000)

Variando-se o coeficiente de Manning, podem ser obtidas diferentes fórmulas de declividade mínima para a tensão trativa mínima de 1,0 Pa. A tabela 3.1 apresenta as equações de declividade mínima obtidas para o coeficiente de Manning variando entre 0,009 e 0,016.

**Tabela 3.1** – Valores do coeficiente n de Manning e suas respectivas fórmulas de declividade mínima para uma tensão trativa mínima de 1,0 Pa

Coeficiente de Manning	Fórmulas de declividade
0,009	$I_{min} = 0,0065 Q^{-0,49}$
0,010	$I_{min} = 0,0061 Q^{-0,49}$
0,011	$I_{min} = 0,0058 Q^{-0,49}$
0,012	$I_{min} = 0,0056 Q^{-0,48}$
0,013	$I_{min} = 0,0055 Q^{-0,47}$
0,014	$I_{min} = 0,0051 Q^{-0,47}$
0,015	$I_{min} = 0,0049 Q^{-0,47}$
0,016	$I_{min} = 0,0048 Q^{-0,47}$

Fonte: Fadiga Junior (2000)

Logo, este estudo pôde ser utilizado para o aplicativo UFC9, com o intuito de se calcular as declividades mínimas baseadas em diferentes tipos de material escolhido pelo usuário, de modo a se ter sempre uma tensão trativa mínima de 1,0 Pa.

Para diâmetros maiores que 400 mm, que sairia do escopo do estudo proposto por Fadiga Junior (2000), o UFC9 automaticamente utiliza-se do coeficiente de Manning  $n = 0,013$  (o material escolhido foi o concreto). Ficando, assim, dentro da norma 9649/1986 da ABNT, tendo a declividade mínima calculada pela equação (3.7) abaixo.

$$I_{min} = 0,0055 Q^{-0,47} \quad (3.4)$$

Para os interceptores, a utilização da tensão trativa média de 1,5 Pa, superior à da rede coletora (que é 1,0 Pa), justifica-se pelo fato de que, essa tensão além de atender as condições da autolimpeza, irá diminuir a formação da película de limo nas paredes das tubulações e, conseqüentemente, a geração de sulfetos. Como os materiais dos interceptores são geralmente de concreto que são atacados pelo ácido sulfúrico, é de fundamental importância que os interceptores sejam projetados com tensão trativa igual ou maior que 1,5 Pa, para prevenir a formação de sulfetos. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000)

De modo análogo ao estudo anterior, Fadiga Junior (2000) obteve diferentes fórmulas para tensão trativa igual ou maior que 1,5 Pa.

A tabela 3.2 apresenta as equações de declividade mínima obtidas para o coeficiente de Manning variando entre 0,009 e 0,016, com base em um ajuste obtido para diâmetros variando entre 400 e 2000 mm e lâmina líquida máxima de 0,75 y/D.

**Tabela 3.2** – Valores do coeficiente n de Manning e suas respectivas fórmulas de declividade mínima para uma tensão trativa mínima de 1,5 Pa

Coeficiente de Manning	Fórmulas de declividade
0,009	$I_{\min} = 0,0041 Q^{-0,48}$
0,010	$I_{\min} = 0,0039 Q^{-0,48}$
0,011	$I_{\min} = 0,0037 Q^{-0,48}$
0,012	$I_{\min} = 0,0036 Q^{-0,48}$
0,013	$I_{\min} = 0,0035 Q^{-0,47}$
0,014	$I_{\min} = 0,0033 Q^{-0,47}$
0,015	$I_{\min} = 0,0032 Q^{-0,47}$
0,016	$I_{\min} = 0,0031 Q^{-0,47}$

Fonte: Fadiga Junior (2000)

A declividade do terreno é calculada pela equação (3.5).

$$I = \frac{CTM - CTJ}{L} \quad (3.5)$$

Onde:

CTM → cota do terreno de montante, em [L].

CTJ → cota do terreno de jusante, em [L].

L → comprimento do trecho, em [L].

Se a declividade do terreno for maior que a mínima ( $I_{min}$ ), adota-se a do terreno, caso contrário a mínima é adotada para os cálculos hidráulicos. O usuário do UFC9 pode optar pelo dimensionamento seguindo a norma NBR 14486/2000, cuja tensão trativa mínima passa a ser de 0,60 Pa. Esta norma só vale para tubos de PVC. Caso algum trecho não seja deste material, será calculado de acordo com a opção que o usuário marcou, ou seja, para uma tensão trativa mínima de 1,0 ou 1,5 Pa.

ABNT (2000) recomenda utilizar, para a declividade mínima, a equação (3.6) para tubos de PVC de modo a se ter uma tensão trativa mínima de 0,6 Pa.

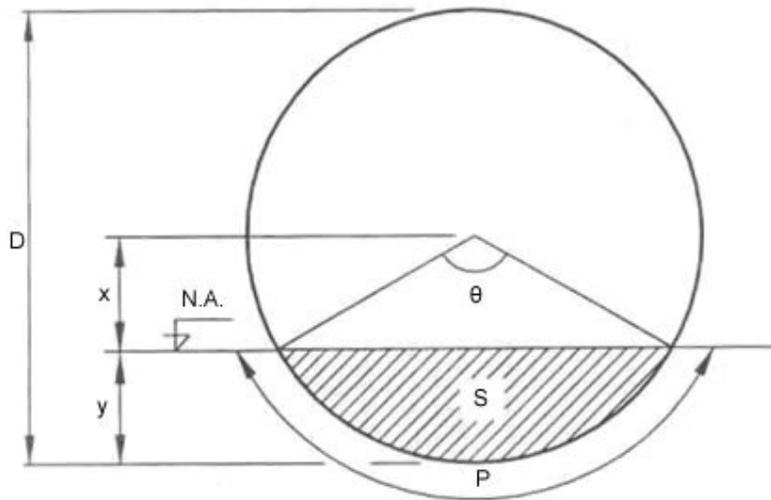
$$I_{min} = 0,0031 Q^{-0,47} \quad (3.6)$$

### 3.3.5. Metodologia de dimensionamento hidráulico de qualquer trecho

Independente de o trecho ser ponta-seca ou não, receber um, dois ou três contribuintes, o dimensionamento hidráulico é calculado de forma similar.

O dimensionamento hidráulico em coletores de esgoto é baseado nos elementos geométricos da seção de um tubo e na equação de Manning. Para este cálculo utilizaram-se dos equacionamentos a seguir propostos por Alem Sobrinho; Tsutiya (2000).

A figura 3.6 ilustra a seção transversal de um coletor de esgoto.



**Figura 3.6** – Seção transversal de um coletor de esgoto

Fonte: Alem Sobrinho; Tsutiya (2000)

Pela geometria do tubo, têm-se as equações (2.11), (2.12), (2.13), (2.14), (2.15) contidas no item 2.7.4, além da (3.7) a seguir.

$$x = \frac{D}{2} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3.7)$$

Onde:

$x$  → diferença entre a altura do centro da seção e da altura da lâmina líquida, em [L].

A fórmula de Manning é dada pela equação (2.36).

Substituindo-se o raio hidráulico ( $R_H$ ) e a área molhada ( $A$ ) na equação (2.36), obtém-se:

$$Q = \frac{1}{n} (\theta - \text{sen}\theta) \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen}\theta) \frac{D^2}{8} \frac{2\sqrt{I}}{\theta D} \quad (3.8)$$

Fazendo as devidas simplificações, resulta.

$$Q n = \frac{(\theta - \text{sen}\theta)^{5/3} D^{8/3} I^{1/2}}{\theta^{2/3} 2^{13/3}} \quad (3.9)$$

Definindo-se a função em  $\theta$ , resulta na equação (3.10).

$$f(\theta) = \frac{(\theta - \text{sen}\theta)^{5/3} D^{8/3} I^{1/2}}{\theta^{2/3} 2^{13/3}} - Q n \quad (3.10)$$

Com os valores do diâmetro, da vazão de início ou fim de plano, da declividade adotada, uma rotina computacional contendo um processo iterativo para se calcular o ângulo central é necessária, já que a equação (3.10) não tem solução analítica.

Esta rotina é adaptada de um modelo proposto por Souza; Hirata (2000), que se utiliza das equações (2.11) a (2.15) e (3.7) a (3.10). Através deste modelo, pode-se determinar os valores de tensão trativa, velocidades e lâminas líquidas de cada trecho da rede.

Este processo iterativo se dá através de um *loop* (laço), dentro de uma rotina no Visual Basic. Para Perry (1999), um *loop* consiste em uma instrução ou uma série de instruções executadas mais de uma vez. A instrução de *loop* repete-se até que uma condição pré-determinada seja alcançada.

O raio hidráulico, tanto para início como fim de plano, é calculado pela equação (2.15). As lâminas iniciais e finais podem ser calculadas através da equação (2.11).

A tensão trativa é determinada através da equação (3.11).

$$\sigma = \gamma R_H I \quad (3.11)$$

As velocidades iniciais e finais são calculadas através da equação da continuidade, dada pela equação (3.12). A velocidade crítica pode ser determinada utilizando-se a equação (3.13).

$$V = Q/A \quad (3.12)$$

$$V_c = 6\sqrt{gR_H^*} \quad (3.13)$$

Onde:

$R_H^* \rightarrow$  raio hidráulico (fim de plano), em [L].

Segundo a norma 9649/1986 da ABNT, quando a velocidade final é superior a velocidade crítica, a maior lâmina admissível deve ser 50% do diâmetro do coletor, de modo a assegurar-se a ventilação do trecho. Quando isto ocorre, o UFC9 aumenta o diâmetro do trecho para um comercial imediatamente superior, refazendo em seguida os cálculos com o novo diâmetro adotado.

De posse dos valores das velocidades, tensão trativa, lâminas líquidas, declividade, as profundidades do coletor podem ser calculadas, conforme os itens 3.3.7 e 3.3.9 a seguir.

### **3.3.6 Verificação das condições de controle de remanso**

Segundo Alem Sobrinho; Tsutiya (2000), sempre que a cota do nível de água na saída de qualquer órgão acessório ficar acima de qualquer das cotas dos níveis de água de entrada, deve ser verificada a influência do remanso no trecho de montante.

Nos projetos de redes coletoras de esgoto, onde há um aumento do diâmetro da tubulação, isto é, o diâmetro do coletor de jusante é maior que o de montante, na prática, para se evitar o remanso pode-se fazer coincidir a geratriz superior dos tubos. Isso sempre ocorrerá quando se trabalha com profundidades mínimas. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000)

Com o objetivo de evitar o remanso, utilizou-se o degrau, ou seja, o rebaixamento da singularidade. Este processo faz com que as cotas das lâminas líquidas sejam, no mínimo, igualadas.

São dois os casos para a verificação da execução do degrau: quando os diâmetros dos coletores que chegam à singularidade forem menores que o de saída e quando os diâmetros de todos os coletores forem iguais em uma mesma singularidade. Então, quando a cota da lâmina de um coletor de saída estiver acima de alguma de entrada o degrau é executado pela equação (3.14).

$$D_g = \left( \frac{Y'}{D'} - \frac{y'}{d'} \right) \quad (3.14)$$

Onde:

$D_g \rightarrow$  degrau adotado, em [L].

$Y' \rightarrow$  lâmina líquida (final de plano) do coletor de saída, em [L].

$y' \rightarrow$  menor lâmina líquida (final de plano) dos coletores que chegam, em [L].

$D' \rightarrow$  diâmetro do coletor de saída, em [L].

$d' \rightarrow$  diâmetro do coletor de chegada que tem a menor lâmina, em [L].

No módulo AutoCAD, o programa traz como padrão um degrau mínimo de 1 cm. Este degrau mínimo pode ser modificado dentro do módulo VB para valores menores que 1,0 m. Ainda, o UFC9 pode desprezar o degrau caso o valor mínimo não seja atingido. Estas opções ficam a cargo do usuário (ver apêndice C).

O UFC9 também executa o degrau quando a lâmina de saída for igual a de entrada por motivos de segurança no controle do remanso.

### 3.3.7. Cálculos das profundidades dos trechos que são pontas-secas

Depois de os cálculos hidráulicos efetuados, as cotas de montante e jusante do coletor e suas respectivas profundidades podem ser encontradas através das equações (3.15), (3.16), (3.17) e (3.18).

$$CCM = CTM - (rec + D) \quad (3.15)$$

$$CCJ = CCM - (I L) \quad (3.16)$$

$$ProfM = CTM - CCM \quad (3.17)$$

$$ProfJ = CTJ - CCJ \quad (3.18)$$

Onde:

CCM → cota do coletor de montante, em [L].

CCJ → cota do coletor de jusante, em [L].

ProfM → profundidade de montante do coletor, em [L].

ProfJ → profundidade de jusante do coletor, em [L].

rec → recobrimento mínimo adotado, em [L].

### **3.3.8. Algoritmo para diminuir a profundidade da singularidade de jusante**

Com o objetivo de diminuir o volume de escavação, o UFC9 traz uma rotina computacional que avalia a redução da profundidade da singularidade de jusante. Para tal, a rotina verifica a condição das cotas do terreno e das profundidades do coletor. Uma não verificação desta condição acarretaria em um aumento significativo das profundidades das singularidades.

Sempre que a declividade adotada não for a mínima e a profundidade do coletor de montante for maior que o recobrimento mínimo adotado somado com o diâmetro do trecho, a rotina entra em funcionamento. Se esta hipótese é verdadeira, o valor da profundidade de jusante do coletor passa a ser a soma do recobrimento mínimo com o diâmetro do trecho.

Se, após o passo anterior, a cota do coletor de montante é inferior a de jusante, o coletor estaria "subindo", ou seja, contra a gravidade. Isto significa que a profundidade mínima da singularidade de jusante não pode ser adotada como a profundidade de jusante do coletor. Logo, as cotas do coletor de montante e jusante são igualadas e a declividade mínima é adotada, sendo a cota jusante do coletor recalculada pela equação (3.16).

A figura 3.7 ilustra o funcionamento computacional da rotina abordada neste item.

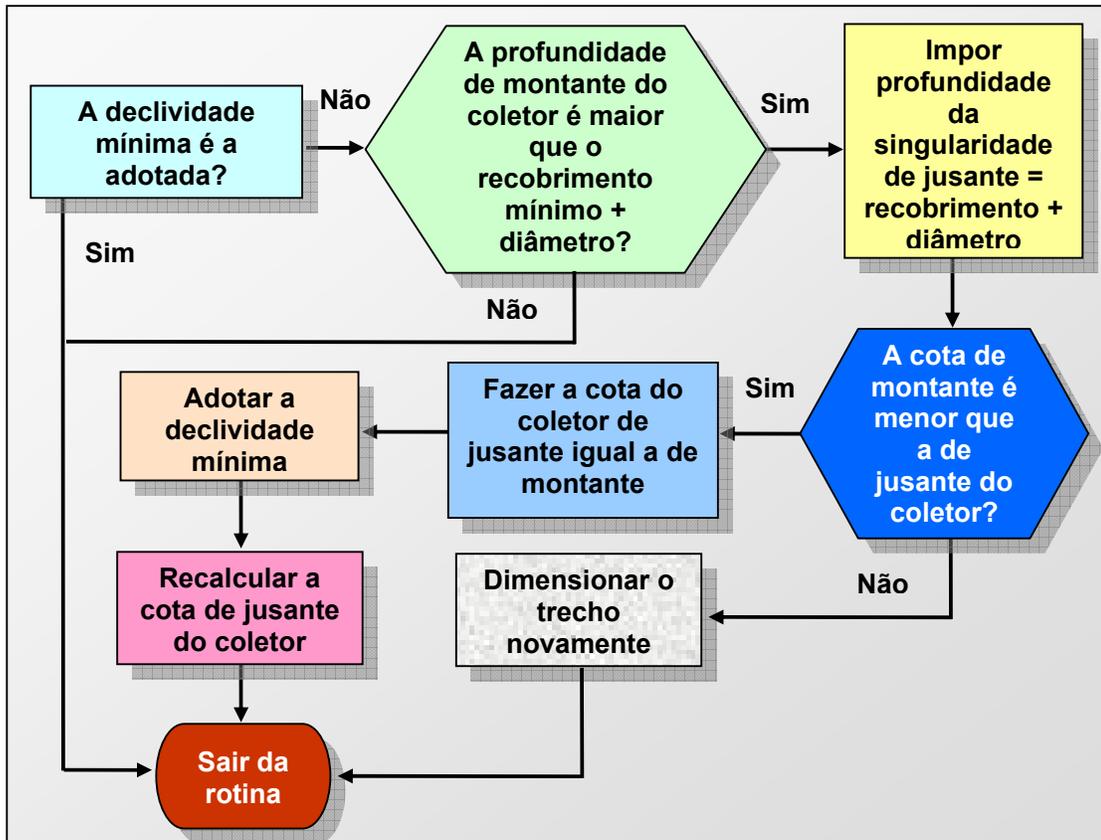


Figura 3.7 – Esquema do algoritmo para diminuir a profundidade da singularidade de jusante

### 3.3.9. Cálculos de trechos que recebem coletor afluyente

Um poço de visita ou tubo de inspeção e limpeza pode receber um, dois ou no máximo três trechos.

De acordo com o algoritmo das vazões, os trechos que recebem contribuição só podem ser dimensionados após as pontas-secas. Depois de efetuados os cálculos hidráulicos em trechos que recebem contribuições, as cotas de montante e jusante e as profundidades de montante e jusante do coletor podem ser encontradas.

Os cálculos das profundidades dos coletores foram efetuados seguindo o método de Crespo (1997), ou seja, a cota do órgão acessório de jusante é igual à cota da soleira do coletor afluente a esse órgão. Caso haja vários coletores chegando à singularidade, prevalecerá a cota do coletor com a soleira situada em cota inferior.

Sempre que os diâmetros dos coletores de chegada e saída forem iguais, as cotas das soleiras dos coletores e do fundo da singularidade serão as mesmas. Estas condições servem para os coletores de saída que recebem de um a três trechos.

### **3.3.10. Previsão de tubo de queda**

Este dispositivo é apresentado quando a diferença entre a menor cota de chegada do coletor e a cota de fundo da singularidade for maior ou igual a 0,50 m, valor recomendado pela NBR 9469/1986. O usuário pode modificar este valor no módulo VB.

### **3.3.11. Geração da planilha**

Após todos os cálculos efetuados, uma planilha é apresentada com os valores pertinentes ao dimensionamento hidráulico da rede. A figura 3.8 ilustra a forma como a planilha é exibida ao usuário.

Um arquivo de saída é criado para que a rede possa ser redesenhada no módulo AutoCAD (ver apêndice B).

UFC9 - Software para traçado e cálculo de redes de esgotos

Arquivo Modificar Dimensionamento Exibir Exportar Ajuda

UFC9: Software para traçado e cálculo de Universidade Federal do Ceará - Departamento de Engenharia Hidráulica e Professor Responsável: Marco Aurélio Holanda

Trecho	Sing. Mon.:	Sing. Jus.:	Comprim. (m):	CTM (m)	CTJ (m)	CCM (m)	CCJ (m)	Prof. Mon (m):	Prof. Jus. (m):	Diâmetro (mm):	Declividade (m/m):	Q conc. ini (l/s):	C
(1-6)	PV6	Fim	20	243.850	243.800	242.116	242.016	1.734	1.784	150	0.00500	0.000	C
(1-5)	PV5	PV6	15	243.860	243.850	242.762	242.687	1.098	1.163	150	0.00500	0.000	C
(1-4)	PV4	PV5	30	244.000	243.860	242.933	242.783	1.067	1.077	150	0.00500	0.000	C
(1-3)	PV3	PV4	65	247.180	244.000	244.066	242.950	3.114	1.050	150	0.04892	0.000	C
(1-2)	PV2	PV3	34.6	248.000	247.180	244.249	244.076	3.751	3.104	150	0.00500	0.000	C
(1-1)	PV1	PV2	55.4	247.530	248.000	244.546	244.269	2.984	3.731	150	0.00500	0.000	C
(2-2)	PV8	PV1	41.2	245.830	247.530	244.763	244.557	1.067	2.973	150	0.00500	0.000	C
(2-1)	TL7	PV8	71.3	251.410	245.830	250.360	244.780	1.050	1.050	150	0.07826	0.000	C
(3-3)	PV11	PV8	73.9	247.800	245.830	246.183	244.780	1.617	1.050	150	0.02666	0.000	C
(3-2)	PV10	PV11	13.4	247.320	247.800	246.250	246.183	1.070	1.617	150	0.00500	0.000	C
(3-1)	PV9	PV10	28.8	248.860	247.320	247.810	246.270	1.050	1.050	150	0.05347	0.000	C
(4-2)	PV9	PV1	48.4	248.860	247.530	247.800	246.470	1.060	1.060	150	0.02748	0.000	C
(4-1)	TL12	PV9	39.5	250.990	248.860	249.940	247.810	1.050	1.050	150	0.05392	0.000	C
(5-1)	TL13	PV10	49.9	254.820	247.320	253.770	246.270	1.050	1.050	150	0.15030	0.000	C
(6-2)	PV15	PV10	31.3	253.810	247.320	252.760	246.270	1.050	1.050	150	0.20735	0.000	C
(6-1)	PV14	PV15	57.2	256.420	253.810	255.370	252.760	1.050	1.050	150	0.04563	0.000	C
(7-1)	TL16	PV15	34.5	256.730	253.810	255.680	252.760	1.050	1.050	150	0.08464	0.000	C
(8-3)	PV18	PV2	38.3	251.930	248.000	250.870	246.940	1.060	1.060	150	0.10261	0.000	C
(8-2)	PV14	PV18	41	256.420	251.930	255.370	250.880	1.050	1.050	150	0.10951	0.000	C
(8-1)	TL17	PV14	35.4	258.730	256.420	257.680	255.370	1.050	1.050	150	0.06525	0.000	C
(9-2)	PV20	PV3	46.7	251.000	247.180	249.045	246.130	1.955	1.050	150	0.08180	0.000	C
(9-1)	PV19	PV20	37.1	253.470	251.000	252.420	249.950	1.050	1.050	150	0.06658	0.000	C
(10-3)	PV22	PV20	18	250.210	251.000	249.135	249.045	1.075	1.955	150	0.00500	0.000	C
(10-2)	PV21	PV22	37.8	252.390	250.210	251.330	249.150	1.060	1.060	150	0.05767	0.000	C
(10-1)	PV19	PV21	17.1	253.470	252.390	252.420	251.340	1.050	1.050	150	0.06316	0.000	C
(11-3)	PV25	PV5	84.6	247.000	243.860	245.940	242.810	1.060	1.050	150	0.03712	0.000	C
(11-2)	PV24	PV25	60	248.510	247.000	247.450	245.940	1.060	1.060	150	0.02517	0.000	C
(11-1)	TL23	PV24	30	251.330	248.510	250.280	247.460	1.050	1.050	150	0.09400	0.000	C
(12-4)	PV29	PV6	42.8	244.280	243.850	242.344	242.130	1.936	1.720	150	0.00500	0.000	C
(12-3)	PV28	PV29	60	245.680	244.280	242.654	242.354	3.026	1.926	150	0.00500	0.000	C
(12-2)	PV27	PV28	36.1	243.910	245.680	242.846	242.666	1.064	3.014	150	0.00500	0.000	C
(12-1)	TL26	PV27	45	245.870	243.910	244.820	242.860	1.050	1.050	150	0.04356	0.000	C
(13-1)	TL30	PV28	41.4	247.000	245.680	245.950	244.630	1.050	1.050	150	0.03188	0.000	C

Status 31/3/2006 15:45

Figura 3.8 – Planilha gerada no UFC9 - módulo Visual Basic

### 3.3.12. Mudanças de dados e parâmetros no UFC9

Alguns dos valores contidos podem ser alterados, se o usuário assim o desejar, e a planilha pode ser gerada novamente. Os parâmetros referentes à rede que podem ser alterados são: tipo de contribuição, diâmetro mínimo, recobrimento mínimo, degrau mínimo, altura mínima para o tubo de queda, material do tubo e vazões concentradas. Qualquer mudança que seja feita, só surtirá efeito ao se recalcular a rede.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e as discussões do dimensionamento de dois projetos executivos de sistemas de esgotamento sanitário elaborados pela empresa de consultoria em saneamento NE-CONSULT – Consultores Associados Ltda., utilizando-se o modelo computacional desenvolvido (UFC9 – Software para traçado e cálculos de redes de esgotos).

Para a validação dos cálculos do UFC9, uma comparação com um programa similar disponível no mercado foi realizada. Para tal, utilizou-se o programa SANCAD – Módulo ESG, desenvolvido pela Sanegraph<sup>1</sup> – Consultoria em Sistemas de Informática e Saneamento, que é bastante utilizado entre empresas de saneamento e tem sua interface, também, ligada ao software gráfico AutoCAD.

As comparações foram realizadas com dados referentes aos sistemas de esgotamento sanitário das cidades de Caxias-MA (Bacia B) e Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A).

Como os dois projetos executivos foram calculados com o software SANCAD, já se dispunha dos resultados finais deste programa para a comparação. As redes traçadas no UFC9 foram idênticas ao SANCAD – Módulo ESG, pois as mesmas foram sobrepostas (traçadas em cima) da original, conservando, assim, o comprimento de cada trecho. As singularidades utilizadas também foram as mesmas e seguiram a numeração das redes originais.

Os parâmetros referentes aos dois sistemas, como o material da tubulação, diâmetro mínimo, recobrimento mínimo, taxas de contribuição linear, degrau mínimo, altura mínima do tubo de queda, extensão virtual da rede, estão apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente, para Caxias e Mombaça.

---

<sup>1</sup> Mais informações sobre a Sanegraph e o SANCAD podem ser encontradas no *website* da empresa, disponível em <http://www.sanegraph.com.br>.

**Tabela 4.1 – Parâmetros para o SES de Caxias-MA (Bacia B)**

Parâmetro	Valor
Material da tubulação	PVC
Diâmetro mínimo	150 mm
Recobrimento mínimo	0,90 m
Degrau mínimo	0,01 m
Altura mínima do tubo de queda	0,50 m
Taxa de contribuição linear (início de plano)	0,00080 (L/s.m)
Taxa de contribuição linear (fim de plano)	0,00180 (L/s.m)
Extensão virtual da rede	1.478 m
Lâmina líquida máxima	0,75
Tensão trativa mínima	1,0 Pa

**Tabela 4.2 – Parâmetros para o SES de Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A)**

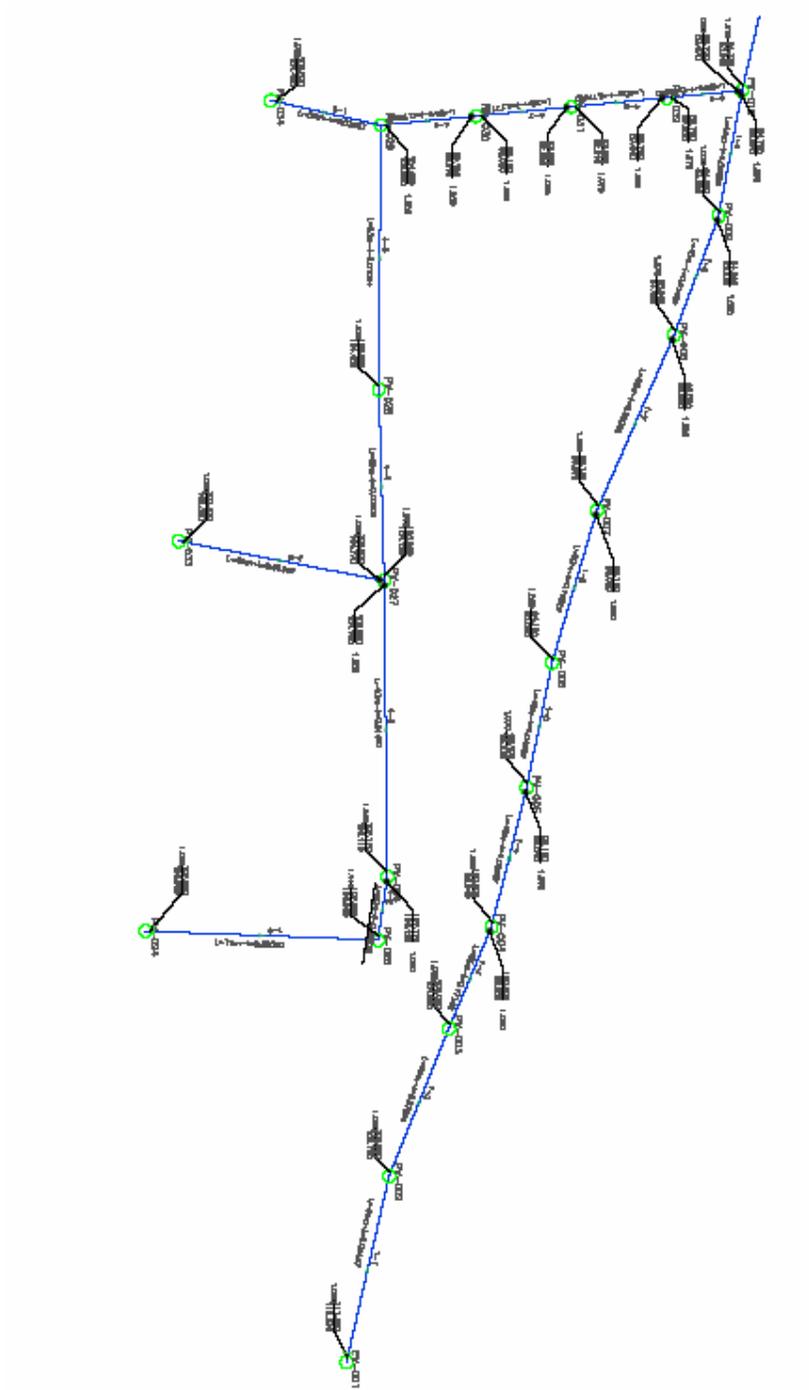
Parâmetro	Valor
Material da tubulação	PVC
Diâmetro mínimo	150 mm
Recobrimento mínimo	0,90 m
Degrau mínimo	0,01 m
Altura mínima do tubo de queda	0,50 m
Taxa de contribuição linear (início de plano)	0,00190 (L/s.m)
Taxa de contribuição linear (fim de plano)	0,00363 (L/s.m)
Extensão virtual da rede	1.371 m
Lâmina líquida máxima	0,75
Tensão trativa mínima	1,0 Pa

A figura 4.1 ilustra um setor da rede de Caxias e a 4.2 apresenta a rede completa. As tabelas 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6 apresentam os resultados do dimensionamento hidráulico das duas redes para o SANCAD e o UFC9.

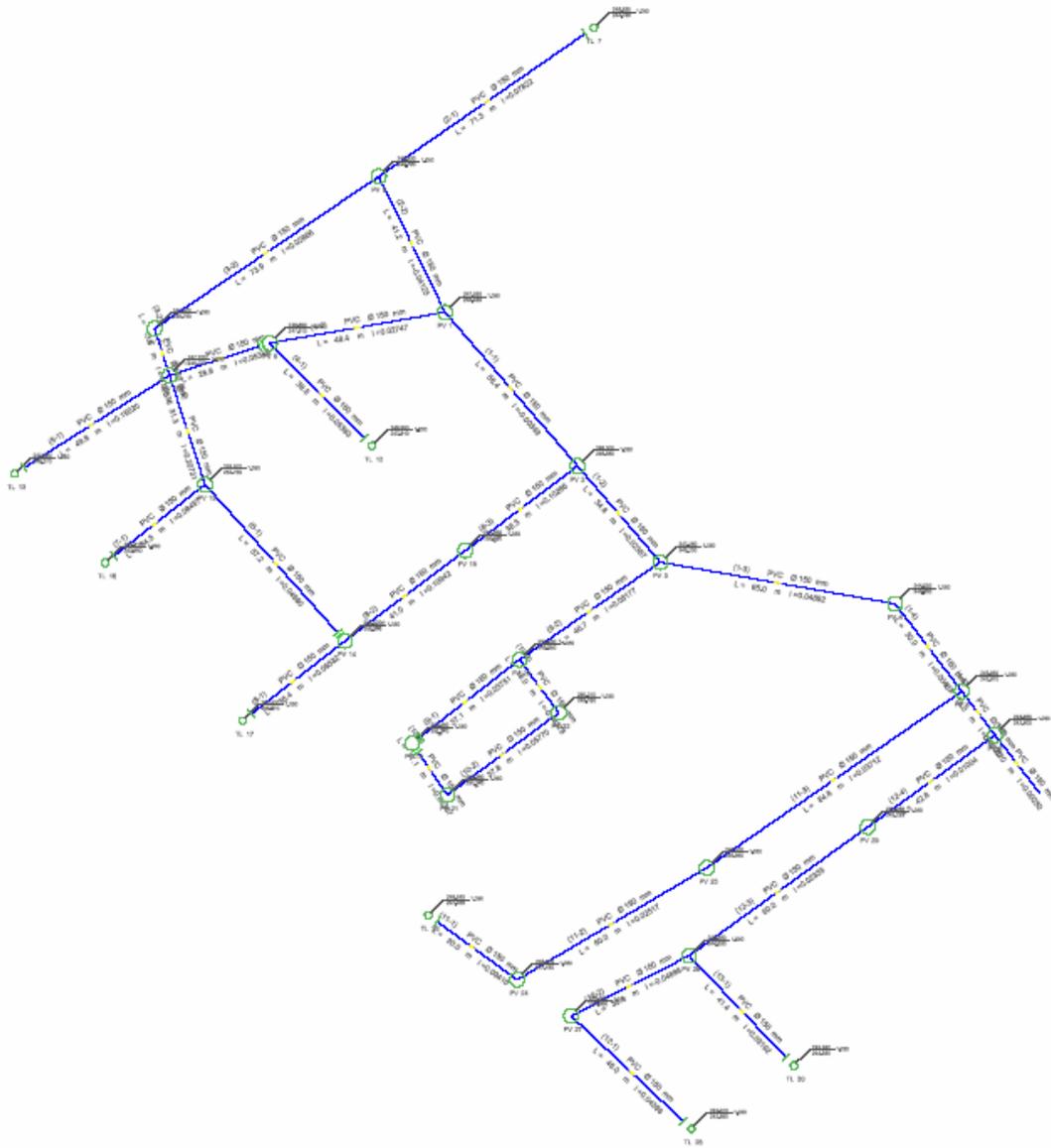
Em ambos os sistemas havia todos os tipos de contribuição possíveis: bilateral, unilateral e sem contribuição. Partindo dos valores das taxas de contribuição linear, comprimento de cada trecho e seu respectivo tipo de contribuição, determinou-se manualmente as vazões para todos os trechos das duas redes. De acordo com estes resultados comprovou-se que todos os cálculos do UFC9 referentes às vazões estão corretos e são iguais aos do SANCAD (para todos os trechos das duas redes testadas).

Avaliando-se os dimensionamentos obtidos com o UFC9, pôde-se constatar que os mesmos foram bastante similares aos do SANCAD. As discrepâncias mais relevantes encontradas são referentes ao algoritmo para diminuir a profundidade da singularidade de jusante. O UFC9 tenta levantar a mesma o máximo possível (somando o recobrimento mínimo com o diâmetro adotado) e este procedimento no SANCAD, apesar de desconhecido, é notadamente diferente.

Por este motivo, alguns valores de declividade não tiveram seus resultados exatamente iguais. Esta pequena diferença de declividade tem como consequência valores de tensão trativa, velocidades e degraus distintos.



**Figura 4.1 – Setor da rede do SES de Caxias, MA (Bacia B)**



**Figura 4.2 – Rede do SES de Mombaça, CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A)**

**Tabela 4.3 – Resultados do dimensionamento do SES de Caxias-MA (Bacia B) – SANCAD**

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. ori (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
006-001	PV-034	PV-029	35.00	105.530	104.600	104.480	103.550	1.050	1.050	150	0.02657	0.0000	0.0000	0.0280	0.0630	0.93	0.93	2.20	3.629	0.15	0.15	
005-001	PV-033	PV-027	66.00	107.370	105.820	106.320	104.770	1.050	1.050	150	0.02348	0.0000	0.0000	0.0528	0.1188	0.89	0.89	2.23	3.297	0.15	0.15	DG 0.020
004-001	PV-024	PV-025	73.00	107.980	107.980	106.930	106.565	1.050	1.415	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.0584	0.1314	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
004-002	PV-025	PV-026	20.00	107.980	107.170	106.565	106.120	1.415	1.050	150	0.02225	0.0000	0.0000	0.0744	0.1674	0.88	0.88	2.24	3.161	0.15	0.15	DG 0.010
004-003	PV-026	PV-027	93.00	107.170	105.820	106.110	104.760	1.060	1.060	150	0.01452	0.0000	0.0000	0.1488	0.3348	0.75	0.75	2.35	2.268	0.17	0.17	DG 0.010
004-004	PV-027	PV-028	60.00	105.820	105.680	104.750	104.450	1.070	1.230	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.2496	0.5616	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
004-005	PV-028	PV-029	83.00	105.680	104.600	104.450	103.550	1.230	1.050	150	0.01084	0.0000	0.0000	0.3160	0.7110	0.68	0.68	2.43	1.807	0.18	0.18	
004-006	PV-029	PV-030	30.00	104.600	99.120	103.550	98.070	1.050	1.050	150	0.18267	0.0000	0.0000	0.3440	0.7740	1.83	1.83	1.77	16.163	0.09	0.09	DG 0.010
004-007	PV-030	PV-031	30.00	99.120	93.980	98.060	92.920	1.060	1.060	150	0.17133	0.0000	0.0000	0.3440	0.7740	1.79	1.79	1.78	15.382	0.09	0.09	DG 0.010
004-008	PV-031	PV-032	30.00	93.980	88.700	92.910	87.640	1.070	1.060	150	0.17567	0.0000	0.0000	0.3440	0.7740	1.80	1.80	1.78	15.682	0.09	0.09	DG 0.010
004-009	PV-032	PV-010	24.00	88.700	84.730	87.630	83.670	1.070	1.060	150	0.16500	0.0000	0.0000	0.3440	0.7740	1.76	1.76	1.79	14.940	0.09	0.09	DG 0.010
003-001	PV-022	PV-023	22.00	71.200	71.500	70.150	70.040	1.050	1.460	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.0176	0.0396	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
003-002	PV-023	PV-020	36.00	71.500	69.870	70.040	68.820	1.460	1.050	150	0.03389	0.0000	0.0000	0.0464	0.1044	1.01	1.01	2.14	4.383	0.14	0.14	DG 0.010
002-001	PV-017	PV-018	80.00	80.690	78.300	79.640	77.250	1.050	1.050	150	0.02988	0.0000	0.0000	0.0640	0.1440	0.97	0.97	2.17	3.974	0.14	0.14	
002-002	PV-018	PV-019	30.00	78.300	75.000	77.250	73.950	1.050	1.050	150	0.11000	0.0000	0.0000	0.0880	0.1980	1.53	1.53	1.87	10.916	0.10	0.10	
002-003	PV-019	PV-020	28.00	75.000	69.870	73.950	68.820	1.050	1.050	150	0.18321	0.0000	0.0000	0.1104	0.2484	1.83	1.83	1.77	16.200	0.09	0.09	DG 0.010
002-004	PV-020	PV-021	30.00	69.870	67.420	68.810	66.360	1.060	1.060	150	0.08167	0.0000	0.0000	0.1808	0.4068	1.38	1.38	1.94	8.668	0.11	0.11	DG 0.010
002-005	PV-021	PV-016	26.00	67.420	66.000	66.350	64.940	1.070	1.060	150	0.05423	0.0000	0.0000	0.2016	0.4536	1.20	1.20	2.03	6.311	0.12	0.12	DG 0.010
001-001	PV-001	PV-002	60.00	111.280	109.800	110.230	108.750	1.050	1.050	150	0.02467	0.0000	0.0000	0.0480	0.1080	0.91	0.91	2.21	3.425	0.15	0.15	
001-002	PV-002	PV-003	50.00	109.800	106.000	108.750	104.950	1.050	1.050	150	0.07600	0.0000	0.0000	0.0880	0.1980	1.35	1.35	1.95	8.198	0.11	0.11	
001-003	PV-003	PV-004	35.00	106.000	100.000	104.950	98.950	1.050	1.050	150	0.17143	0.0000	0.0000	0.1160	0.2610	1.79	1.79	1.78	15.388	0.09	0.09	DG 0.010
001-004	PV-004	PV-005	45.00	100.000	96.100	98.940	95.040	1.060	1.060	150	0.08667	0.0000	0.0000	0.1520	0.3420	1.41	1.41	1.92	9.076	0.11	0.11	DG 0.010
001-005	PV-005	PV-006	40.00	96.100	94.150	95.030	93.090	1.070	1.060	150	0.04850	0.0000	0.0000	0.1840	0.4140	1.15	1.15	2.05	5.788	0.13	0.13	
001-006	PV-006	PV-007	50.00	94.150	89.130	93.090	88.080	1.060	1.050	150	0.10020	0.0000	0.0000	0.2240	0.5040	1.48	1.48	1.89	10.155	0.11	0.11	DG 0.010
001-007	PV-007	PV-008	60.00	89.130	85.560	88.070	84.500	1.060	1.060	150	0.05950	0.0000	0.0000	0.2720	0.6120	1.24	1.24	2.01	6.782	0.12	0.12	DG 0.010
001-008	PV-008	PV-009	40.00	85.560	84.990	84.490	83.930	1.070	1.060	150	0.01400	0.0000	0.0000	0.2880	0.6480	0.74	0.74	2.36	2.205	0.17	0.17	DG 0.010
001-009	PV-009	PV-010	40.00	84.990	84.730	83.920	83.670	1.070	1.060	150	0.00625	0.0000	0.0000	0.3040	0.6840	0.56	0.56	2.58	1.176	0.21	0.21	DG 0.010
001-010	PV-010	PV-011	64.00	84.730	82.400	83.660	81.340	1.070	1.060	150	0.03625	0.0000	0.0000	0.6736	1.5156	1.04	1.04	2.13	4.618	0.14	0.14	
001-011	PV-011	PV-012	50.00	82.400	76.000	81.340	74.950	1.060	1.050	150	0.12780	0.0000	0.0000	0.6936	1.5606	1.61	1.63	1.86	12.260	0.10	0.10	DG 0.010
001-012	PV-012	PV-013	50.00	76.000	70.970	74.940	69.910	1.060	1.060	150	0.10060	0.0000	0.0000	0.7136	1.6056	1.48	1.52	1.92	10.186	0.11	0.11	DG 0.019
001-013	PV-013	PV-014	100.00	70.970	70.530	69.891	69.391	1.079	1.139	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.7936	1.7856	0.52	0.54	2.74	1.000	0.22	0.24	
001-014	PV-014	PV-015	70.00	70.530	66.920	69.391	65.870	1.139	1.050	150	0.05030	0.0000	0.0000	0.8496	1.9116	1.16	1.25	2.16	5.954	0.13	0.14	DG 0.010
001-015	PV-015	PV-016	21.00	66.920	66.000	65.860	64.940	1.060	1.060	150	0.04381	0.0000	0.0000	0.8664	1.9494	1.11	1.20	2.20	5.349	0.13	0.15	DG 0.010
001-016	PV-016	FIM	4.00	66.000	65.700	64.930	64.640	1.070	1.060	150	0.07250	0.0000	0.0000	1.0712	2.4102	1.32	1.53	2.18	7.904	0.12	0.14	FIM

**Tabela 4.4 – Resultados do dimensionamento do SES de Caxias-MA (Bacia B) – UFC9**

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
006-001	PV-034	PV-029	35.00	105.530	104.600	104.40	103.550	1.050	1.050	150	0.02657	0.0000	0.0000	0.0280	0.0630	0.93	0.93	2.20	3.628	0.15	0.15	
005-001	PV-033	PV-027	66.00	107.370	105.820	106.320	104.770	1.050	1.050	150	0.02348	0.0000	0.0000	0.0528	0.1188	0.89	0.89	2.23	3.296	0.15	0.15	DG 0.011
004-001	PV-024	PV-025	73.00	107.980	107.980	106.930	106.565	1.050	1.415	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.0584	0.1314	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
004-002	PV-025	PV-026	20.00	107.980	107.170	106.565	106.120	1.415	1.050	150	0.02225	0.0000	0.0000	0.0744	0.1674	0.88	0.88	2.24	3.16	0.15	0.15	DG 0.010
004-003	PV-026	PV-027	93.00	107.170	105.820	106.110	104.770	1.060	1.050	150	0.01441	0.0000	0.0000	0.1488	0.3348	0.75	0.75	2.35	2.269	0.17	0.17	DG 0.011
004-004	PV-027	PV-028	60.00	105.820	105.680	104.759	104.459	1.061	1.221	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.2496	0.5616	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
004-005	PV-028	PV-029	83.00	105.680	104.600	104.459	103.550	1.221	1.050	150	0.01095	0.0000	0.0000	0.3160	0.7110	0.68	0.68	2.42	1.820	0.18	0.18	
004-006	PV-029	PV-030	30.00	104.600	99.120	103.550	98.070	1.050	1.050	150	0.18267	0.0000	0.0000	0.3440	0.7740	1.83	1.83	1.77	16.163	0.09	0.09	DG 0.010
004-007	PV-030	PV-031	30.00	99.120	93.980	98.060	92.930	1.060	1.050	150	0.17100	0.0000	0.0000	0.3440	0.7740	1.79	1.79	1.78	15.381	0.09	0.09	DG 0.010
004-008	PV-031	PV-032	30.00	93.980	88.700	92.920	87.650	1.060	1.050	150	0.17567	0.0000	0.0000	0.3440	0.7740	1.80	1.80	1.78	15.705	0.09	0.09	DG 0.010
004-009	PV-032	PV-010	24.00	88.700	84.730	87.640	83.680	1.060	1.050	150	0.16500	0.0000	0.0000	0.3440	0.7740	1.77	1.77	1.79	14.969	0.09	0.09	DG 0.010
003-001	PV-022	PV-023	22.00	71.200	71.500	70.150	70.040	1.050	1.460	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.0176	0.0396	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
003-002	PV-023	PV-020	36.00	71.500	69.870	70.040	68.820	1.460	1.050	150	0.03389	0.0000	0.0000	0.0464	0.1044	1.01	1.01	2.14	4.380	0.14	0.14	DG 0.010
002-001	PV-017	PV-018	80.00	80.690	78.300	79.640	77.250	1.050	1.050	150	0.02988	0.0000	0.0000	0.0640	0.1440	0.97	0.97	2.17	3.975	0.14	0.14	
002-002	PV-018	PV-019	30.00	78.300	75.000	77.250	73.950	1.050	1.050	150	0.11000	0.0000	0.0000	0.0880	0.1980	1.53	1.53	1.87	10.916	0.1	0.1	
002-003	PV-019	PV-020	28.00	75.000	69.870	73.950	68.820	1.050	1.050	150	0.18321	0.0000	0.0000	0.1104	0.2484	1.83	1.83	1.77	16.200	0.09	0.09	DG 0.010
002-004	PV-020	PV-021	30.00	69.870	67.420	68.810	66.370	1.060	1.050	150	0.08133	0.0000	0.0000	0.1808	0.4068	1.38	1.38	1.94	8.668	0.11	0.11	DG 0.010
002-005	PV-021	PV-016	26.00	67.420	66.000	66.360	64.950	1.060	1.050	150	0.05423	0.0000	0.0000	0.2016	0.4536	1.20	1.20	2.03	6.346	0.12	0.12	DG 0.010
001-001	PV-001	PV-002	60.00	111.280	109.800	110.230	108.750	1.050	1.050	150	0.02467	0.0000	0.0000	0.0480	0.1080	0.91	0.91	2.21	3.425	0.15	0.15	
001-002	PV-002	PV-003	50.00	109.800	106.000	108.750	104.950	1.050	1.050	150	0.07600	0.0000	0.0000	0.0880	0.1980	1.35	1.35	1.95	8.198	0.11	0.11	
001-003	PV-003	PV-004	35.00	106.000	100.000	104.950	98.950	1.050	1.050	150	0.17143	0.0000	0.0000	0.1160	0.2610	1.79	1.79	1.78	15.388	0.09	0.09	DG 0.010
001-004	PV-004	PV-005	45.00	100.000	96.100	98.940	95.050	1.060	1.050	150	0.08644	0.0000	0.0000	0.1520	0.3420	1.41	1.41	1.92	9.076	0.11	0.11	DG 0.010
001-005	PV-005	PV-006	40.00	96.100	94.150	95.040	93.100	1.060	1.050	150	0.04850	0.0000	0.0000	0.1840	0.4140	1.15	1.15	2.05	5.811	0.13	0.13	
001-006	PV-006	PV-007	50.00	94.150	89.130	93.100	88.080	1.050	1.050	150	0.10040	0.0000	0.0000	0.2240	0.5040	1.48	1.48	1.89	10.171	0.11	0.11	DG 0.010
001-007	PV-007	PV-008	60.00	89.130	85.560	88.070	84.510	1.060	1.050	150	0.05933	0.0000	0.0000	0.2720	0.6120	1.24	1.24	2.01	6.781	0.12	0.12	DG 0.010
001-008	PV-008	PV-009	40.00	85.560	84.990	84.500	83.940	1.060	1.050	150	0.01400	0.0000	0.0000	0.2880	0.6480	0.75	0.75	2.35	2.236	0.17	0.17	DG 0.010
001-009	PV-009	PV-010	40.00	84.990	84.730	83.930	83.680	1.060	1.050	150	0.00625	0.0000	0.0000	0.3040	0.6840	0.57	0.57	2.57	1.213	0.21	0.21	DG 0.010
001-010	PV-010	PV-011	64.00	84.730	82.400	83.670	81.350	1.060	1.050	150	0.03625	0.0000	0.0000	0.6736	1.5156	1.04	1.04	2.12	4.634	0.14	0.14	
001-011	PV-011	PV-012	50.00	82.400	76.000	81.350	74.950	1.050	1.050	150	0.12800	0.0000	0.0000	0.6936	1.5606	1.61	1.63	1.86	12.274	0.1	0.1	DG 0.010
001-012	PV-012	PV-013	50.00	76.000	70.970	74.940	69.920	1.060	1.050	150	0.10040	0.0000	0.0000	0.7136	1.6056	1.48	1.52	1.92	10.186	0.11	0.11	DG 0.020
001-013	PV-013	PV-014	100.00	70.970	70.530	69.900	69.400	1.070	1.130	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.7936	1.7856	0.52	0.54	2.74	1.000	0.22	0.24	
001-014	PV-014	PV-015	70.00	70.530	66.920	69.400	65.870	1.130	1.050	150	0.05043	0.0000	0.0000	0.8496	1.9116	1.17	1.25	2.16	5.970	0.13	0.14	DG 0.010
001-015	PV-015	PV-016	21.00	66.920	66.000	65.860	64.950	1.060	1.050	150	0.04333	0.0000	0.0000	0.8664	1.9494	1.11	1.20	2.20	5.349	0.13	0.15	DG 0.010
001-016	PV-016	FIM	4.00	66.000	65.700	64.940	64.650	1.060	1.050	150	0.07250	0.0000	0.0000	1.0712	2.4102	1.34	1.54	2.17	8.114	0.11	0.14	

**Tabela 4.5 – Resultados do dimensionamento do SES de Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A) – SANCAD**

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
013-001	TL-030	PV-028	41.00	247.000	245.680	245.950	244.630	1.050	1.050	150	0.03220	0.0000	0.0000	0.0390	0.0744	1.00	1.00	2.15	4.212	0.14	0.14	TQ 1.973
012-001	TL-026	PV-027	45.00	245.870	243.910	244.820	242.860	1.050	1.050	150	0.04356	0.0000	0.0000	0.0428	0.0817	1.11	1.11	2.08	5.325	0.13	0.13	DG 0.013
012-002	PV-027	PV-028	36.00	243.910	245.680	242.847	242.667	1.063	3.013	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.0770	0.1470	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.010
012-003	PV-028	PV-029	60.00	245.680	244.280	242.657	242.357	3.023	1.923	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.1730	0.3303	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.010
012-004	PV-029	PV-006	43.00	244.280	243.850	242.347	242.132	1.933	1.718	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.2139	0.4083	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.012
011-001	TL-023	PV-024	30.00	251.330	248.510	250.280	247.460	1.050	1.050	150	0.09400	0.0000	0.0000	0.0285	0.0545	1.45	1.45	1.91	9.665	0.11	0.11	DG 0.010
011-002	PV-024	PV-025	60.00	248.510	247.000	247.450	245.940	1.060	1.060	150	0.02517	0.0000	0.0000	0.0855	0.1634	0.91	0.91	2.21	3.479	0.15	0.15	
011-003	PV-025	PV-005	85.00	247.000	243.860	245.940	242.810	1.060	1.050	150	0.03682	0.0000	0.0000	0.1663	0.3177	1.04	1.04	2.12	4.674	0.14	0.14	DG 0.031
010-001	PV-019	PV-021	15.00	253.470	252.390	252.420	251.340	1.050	1.050	150	0.07200	0.0000	0.0000	0.0143	0.0272	1.32	1.32	1.96	7.862	0.12	0.12	DG 0.010
010-002	PV-021	PV-022	38.00	252.390	250.210	251.330	249.150	1.060	1.060	150	0.05737	0.0000	0.0000	0.0504	0.0962	1.22	1.22	2.01	6.593	0.12	0.12	DG 0.015
010-003	PV-022	PV-020	18.00	250.210	251.000	249.135	249.045	1.075	1.955	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.0675	0.1289	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
009-001	PV-019	PV-020	35.00	253.470	251.000	252.420	249.950	1.050	1.050	150	0.07057	0.0000	0.0000	0.0333	0.0635	1.31	1.31	1.97	7.740	0.12	0.12	TQ 0.905
009-002	PV-020	PV-003	47.00	251.000	247.180	249.045	246.130	1.955	1.050	150	0.06202	0.0000	0.0000	0.1455	0.2777	1.25	1.25	2.00	7.003	0.12	0.12	TQ 2.041
008-001	TL-017	PV-014	35.00	258.730	256.420	257.680	255.370	1.050	1.050	150	0.06600	0.0000	0.0000	0.0665	0.1271	1.28	1.28	1.98	7.349	0.12	0.12	
008-002	PV-014	PV-018	41.00	256.420	251.930	255.370	250.880	1.050	1.050	150	0.10951	0.0000	0.0000	0.1444	0.2759	1.53	1.53	1.87	10.878	0.10	0.10	
008-003	PV-018	PV-002	38.00	251.930	248.000	250.880	246.950	1.050	1.050	150	0.10342	0.0000	0.0000	0.2166	0.4138	1.50	1.50	1.89	10.407	0.11	0.11	TQ 2.686
007-001	TL-016	PV-015	35.00	256.730	253.810	255.680	252.760	1.050	1.050	150	0.08343	0.0000	0.0000	0.0665	0.1271	1.39	1.39	1.93	8.812	0.11	0.11	
006-001	PV-014	PV-015	55.00	256.420	253.810	255.370	252.760	1.050	1.050	150	0.04745	0.0000	0.0000	0.1045	0.1997	1.14	1.14	2.06	5.691	0.13	0.13	
006-002	PV-015	PV-010	31.00	253.810	247.320	252.760	246.270	1.050	1.050	150	0.20935	0.0000	0.0000	0.2299	0.4393	1.92	1.92	1.74	17.961	0.09	0.09	DG 0.020
005-001	TL-013	PV-010	50.00	254.820	247.320	253.770	246.270	1.050	1.050	150	0.15000	0.0000	0.0000	0.0950	0.1815	1.71	1.71	1.81	13.878	0.10	0.10	DG 0.020
004-001	TL-012	PV-009	39.00	250.990	248.860	249.940	247.810	1.050	1.050	150	0.05462	0.0000	0.0000	0.0741	0.1416	1.20	1.20	2.03	6.346	0.12	0.12	DG 0.010
004-002	PV-009	PV-001	48.00	248.860	247.530	247.800	246.470	1.060	1.060	150	0.02771	0.0000	0.0000	0.1653	0.3158	0.95	0.95	2.19	3.748	0.15	0.15	TQ 1.921
003-001	PV-009	PV-010	27.00	248.860	247.320	247.810	246.270	1.050	1.050	150	0.05704	0.0000	0.0000	0.0257	0.0490	1.22	1.22	2.02	6.563	0.12	0.12	DG 0.020
003-002	PV-010	PV-011	13.00	247.320	247.800	246.250	246.185	1.070	1.615	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.3630	0.6934	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
003-003	PV-011	PV-008	74.00	247.800	245.830	246.185	244.780	1.615	1.050	150	0.01899	0.0000	0.0000	0.4333	0.8277	0.83	0.83	2.28	2.795	0.16	0.16	DG 0.016
002-001	TL-007	PV-008	71.00	251.410	245.830	250.360	244.780	1.050	1.050	150	0.07859	0.0000	0.0000	0.0675	0.1289	1.36	1.36	1.94	8.414	0.11	0.11	DG 0.016
002-002	PV-008	PV-001	41.00	245.830	247.530	244.764	244.559	1.066	2.971	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.5398	1.0310	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.010
001-001	PV-001	PV-002	55.00	247.530	248.000	244.549	244.274	2.981	3.726	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.7051	1.3468	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.010
001-002	PV-002	PV-003	35.00	248.000	247.180	244.264	244.089	3.736	3.091	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.9217	1.7606	0.52	0.54	2.74	1.000	0.22	0.24	
001-003	PV-003	PV-004	65.00	247.180	244.000	244.089	242.950	3.091	1.050	150	0.01752	0.0000	0.0000	1.0672	2.0383	0.80	0.88	2.46	2.626	0.16	0.19	DG 0.011
001-004	PV-004	PV-005	30.00	244.000	243.860	242.939	242.789	1.061	1.071	150	0.00500	0.0000	0.0000	1.0672	2.0383	0.52	0.56	2.82	1.000	0.22	0.26	DG 0.010
001-005	PV-005	PV-006	15.00	243.860	243.850	242.779	242.704	1.081	1.146	150	0.00500	0.0000	0.0000	1.2335	2.3560	0.52	0.59	2.91	1.000	0.22	0.28	TQ 0.584
001-006	PV-006	FIM	20.00	243.850	243.800	242.120	242.020	1.730	1.780	150	0.00500	0.0000	0.0000	1.4474	2.7643	0.52	0.62	3.01	1.000	0.22	0.30	FIM

**Tabela 4.6 – Resultados do dimensionamento do SES de Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio – Bacia A) – UFC9**

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comp.(m)	CTM(m)	CTJ(m)	CCM(m)	CCJ(m)	Pr. Mon.(m)	Pr. Jus.(m)	D (mm)	Dec. (m/m)	Q c. ini (L/s)	Q c. fim (L/s)	Q ini. (L/s)	Q fim (L/s)	Vel. Ini (m/s)	Vel. fim (m/s)	Vel. cri (m/s)	T. Trat. (Pa)	Y/D ini	Y/D fim	Obs.
013-001	TL-030	PV-028	41.00	247.000	245.680	245.950	244.630	1.050	1.050	150	0.03220	0.0000	0.0000	0.0390	0.0744	1.00	1.00	2.15	4.212	0.14	0.14	TQ 1.976
012-001	TL-026	PV-027	45.00	245.870	243.910	244.820	242.860	1.050	1.050	150	0.04356	0.0000	0.0000	0.0428	0.0817	1.11	1.11	2.08	5.325	0.13	0.13	DG 0.014
012-002	PV-027	PV-028	36.00	243.910	245.680	242.846	242.666	1.064	3.014	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.0770	0.1470	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.012
012-003	PV-028	PV-029	60.00	245.680	244.280	242.654	242.354	3.026	1.926	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.1729	0.3303	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.010
012-004	PV-029	PV-006	43.00	244.280	243.850	242.344	242.129	1.936	1.721	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.2138	0.4084	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.012
011-001	TL-023	PV-024	30.00	251.330	248.510	250.280	247.460	1.050	1.050	150	0.09400	0.0000	0.0000	0.0285	0.0545	1.45	1.45	1.91	9.665	0.11	0.11	DG 0.010
011-002	PV-024	PV-025	60.00	248.510	247.000	247.450	245.950	1.060	1.050	150	0.02500	0.0000	0.0000	0.0855	0.1634	0.91	0.91	2.21	3.479	0.15	0.15	
011-003	PV-025	PV-005	85.00	247.000	243.860	245.950	242.810	1.050	1.050	150	0.03694	0.0000	0.0000	0.1663	0.3176	1.05	1.05	2.12	4.686	0.14	0.14	DG 0.042
010-001	PV-019	PV-021	15.00	253.470	252.390	252.420	251.340	1.050	1.050	150	0.07200	0.0000	0.0000	0.0143	0.0272	1.32	1.32	1.96	7.861	0.12	0.12	DG 0.010
010-002	PV-021	PV-022	38.00	252.390	250.210	251.330	249.160	1.060	1.050	150	0.05711	0.0000	0.0000	0.0504	0.0962	1.22	1.22	2.01	6.593	0.12	0.12	DG 0.015
010-003	PV-022	PV-020	18.00	250.210	251.000	249.145	249.055	1.065	1.945	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.0675	0.1289	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
009-001	PV-019	PV-020	35.00	253.470	251.000	252.420	249.950	1.050	1.050	150	0.07057	0.0000	0.0000	0.0333	0.0635	1.31	1.31	1.97	7.740	0.12	0.12	TQ 0.895
009-002	PV-020	PV-003	47.00	251.000	247.180	249.055	246.130	1.945	1.050	150	0.06223	0.0000	0.0000	0.1454	0.2777	1.25	1.25	2.00	7.020	0.12	0.12	TQ 2.064
008-001	TL-017	PV-014	35.00	258.730	256.420	257.680	255.370	1.050	1.050	150	0.06600	0.0000	0.0000	0.0665	0.1271	1.28	1.28	1.98	7.349	0.12	0.12	
008-002	PV-014	PV-018	41.00	256.420	251.930	255.370	250.880	1.050	1.050	150	0.10951	0.0000	0.0000	0.1444	0.2759	1.53	1.53	1.87	10.878	0.10	0.10	DG 0.010
008-003	PV-018	PV-002	38.00	251.930	248.000	250.870	246.950	1.060	1.050	150	0.10316	0.0000	0.0000	0.2166	0.4138	1.50	1.50	1.89	10.407	0.11	0.11	TQ 2.698
007-001	TL-016	PV-015	35.00	256.730	253.810	255.680	252.760	1.050	1.050	150	0.08343	0.0000	0.0000	0.0665	0.1271	1.39	1.39	1.93	8.812	0.11	0.11	
006-001	PV-014	PV-015	55.00	256.420	253.810	255.370	252.760	1.050	1.050	150	0.04745	0.0000	0.0000	0.1045	0.1997	1.14	1.14	2.06	5.690	0.13	0.13	
006-002	PV-015	PV-010	31.00	253.810	247.320	252.760	246.270	1.050	1.050	150	0.20935	0.0000	0.0000	0.2299	0.4392	1.92	1.92	1.74	17.960	0.09	0.09	DG 0.020
005-001	TL-013	PV-010	50.00	254.820	247.320	253.770	246.270	1.050	1.050	150	0.15000	0.0000	0.0000	0.0950	0.1815	1.71	1.71	1.81	13.878	0.10	0.10	DG 0.020
004-001	TL-012	PV-009	39.00	250.990	248.860	249.940	247.810	1.050	1.050	150	0.05462	0.0000	0.0000	0.0741	0.1416	1.20	1.20	2.03	6.346	0.12	0.12	DG 0.010
004-002	PV-009	PV-001	48.00	248.860	247.530	247.800	246.480	1.060	1.050	150	0.02750	0.0000	0.0000	0.1653	0.3158	0.95	0.95	2.19	3.749	0.15	0.15	TQ 1.933
003-001	PV-009	PV-010	27.00	248.860	247.320	247.810	246.270	1.050	1.050	150	0.05704	0.0000	0.0000	0.0257	0.0490	1.22	1.22	2.02	6.563	0.12	0.12	DG 0.020
003-002	PV-010	PV-011	13.00	247.320	247.800	246.250	246.185	1.070	1.615	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.3629	0.6933	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	
003-003	PV-011	PV-008	74.00	247.800	245.830	246.185	244.780	1.615	1.050	150	0.01899	0.0000	0.0000	0.4332	0.8276	0.83	0.83	2.28	2.790	0.16	0.16	DG 0.017
002-001	TL-007	PV-008	71.00	251.410	245.830	250.360	244.780	1.050	1.050	150	0.07859	0.0000	0.0000	0.0675	0.1289	1.36	1.36	1.94	8.413	0.11	0.11	DG 0.017
002-002	PV-008	PV-001	41.00	245.830	247.530	244.763	244.558	1.067	2.972	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.5396	1.0309	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.011
001-001	PV-001	PV-002	55.00	247.530	248.000	244.547	244.272	2.983	3.728	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.7049	1.3467	0.52	0.52	2.64	1.000	0.22	0.22	DG 0.020
001-002	PV-002	PV-003	35.00	248.000	247.180	244.252	244.077	3.748	3.103	150	0.00500	0.0000	0.0000	0.9215	1.7606	0.52	0.54	2.74	1.000	0.22	0.24	DG 0.011
001-003	PV-003	PV-004	65.00	247.180	244.000	244.066	242.950	3.114	1.050	150	0.01717	0.0000	0.0000	1.0669	2.0382	0.80	0.88	2.47	2.600	0.16	0.19	DG 0.011
001-004	PV-004	PV-005	30.00	244.000	243.860	242.939	242.789	1.061	1.071	150	0.00500	0.0000	0.0000	1.0669	2.0382	0.52	0.56	2.82	1.000	0.22	0.26	DG 0.021
001-005	PV-005	PV-006	15.00	243.860	243.850	242.768	242.693	1.092	1.157	150	0.00500	0.0000	0.0000	1.2331	2.3559	0.52	0.59	2.91	1.000	0.22	0.28	TQ 0.576
001-006	PV-006	FIM	20.00	243.850	243.800	242.117	242.017	1.733	1.783	150	0.00500	0.0000	0.0000	1.4469	2.7642	0.52	0.62	3.01	1.000	0.22	0.30	

As tabelas 4.7 e 4.8 ilustram os trechos cujas declividades foram diferentes entre os dois programas. As profundidades que tiveram resultados distintos estão com a formatação da letra em negrito e itálico.

**Tabela 4.7** – Trechos com declividades e profundidades diferentes – Caxias-MA (Bacia B) – Comparação entre UFC9 e SANCAD

Trecho	Prof. Sing. Mon. (m)	Prof. Sing. Jus. (m)	Declividade (m/m)	Prof. Sing. Mon. (m)	Prof. Sing. Jus. (m)	Declividade (m/m)
	UFC9			SANCAD		
(4-3)	1.060	<b>1.050</b>	0.01441	1.060	<b>1.060</b>	0.01452
(4-5)	<b>1.221</b>	1.050	0.01095	<b>1.230</b>	1.050	0.01084
(4-7)	1.060	<b>1.050</b>	0.17100	1.060	<b>1.060</b>	0.17133
(2-4)	1.060	<b>1.050</b>	0.08133	1.060	<b>1.060</b>	0.08167
(1-4)	1.060	<b>1.050</b>	0.08644	1.060	<b>1.060</b>	0.08667
(1-6)	<b>1.050</b>	1.050	0.10040	<b>1.060</b>	1.050	0.10020
(1-7)	1.060	<b>1.050</b>	0.05933	1.060	<b>1.060</b>	0.05950
(1-11)	<b>1.050</b>	1.050	0.12800	<b>1.060</b>	1.050	0.12780
(1-12)	1.060	<b>1.050</b>	0.01004	1.060	<b>1.060</b>	0.01006
(1-14)	<b>1.130</b>	1.050	0.05043	<b>1.139</b>	1.050	0.05030
(1-15)	1.060	<b>1.050</b>	0.04333	1.060	<b>1.060</b>	0.04381

**Tabela 4.8** – Trechos com declividades e profundidades diferentes – Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio - Bacia A) – Comparação entre UFC9 e SANCAD

Trecho	Prof. Sing. Mon. (m)	Prof. Sing. Jus. (m)	Declividade (m/m)	Prof. Sing. Mon. (m)	Prof. Sing. Jus. (m)	Declividade (m/m)
	UFC9			SANCAD		
(11-2)	1.060	<b>1.050</b>	0.02500	1.060	<b>1.060</b>	0.02517
(11-3)	<b>1.050</b>	1.050	0.03694	<b>1.060</b>	1.050	0.03682
(10-2)	1.060	<b>1.050</b>	0.05711	1.060	<b>1.060</b>	0.05737
(9-2)	<b>1.945</b>	1.050	0.06223	<b>1.955</b>	1.050	0.06202
(8-3)	1.060	<b>1.050</b>	0.10316	1.060	<b>1.060</b>	0.10342
(4-2)	1.060	<b>1.050</b>	0.02750	1.060	<b>1.060</b>	0.02771
(1-3)	<b>3.114</b>	1.050	0.01717	<b>3.091</b>	1.050	0.01752

Alguns resultados diferentes observados entre os dois aplicativos são praticamente desprezíveis, como nos casos em que as tensões trativas no UFC9 foram 0,001 Pa (0,1 %) menores que no SANCAD.

Outros valores que ultrapassaram este 0,1% para a tensão trativa são devidos à rotina de iteração para o cálculo do ângulo central do trecho ou à adoção de valores diferentes para as declividades. Como a tensão trativa, as velocidades de início e fim de plano, velocidade crítica são calculadas a partir do valor do raio hidráulico (de início e fim de plano), conforme explanado no item 3.3.5., estes parâmetros podem ter resultados diferentes nos dois programas, porém de relevância discreta no que concerne ao dimensionamento da rede.

As tabelas 4.9 e 4.10 apresentam os valores cujas tensões trativas foram diferentes entre os dois aplicativos. As velocidades e declividades que tiveram resultados distintos estão com a formatação da letra em negrito e itálico. Poucos trechos tiveram suas velocidades críticas 0,01 m/s menores no UFC9 em relação ao SANCAD. Todas as lâminas tiveram valores iguais para início e fim de plano nos dois programas.

**Tabela 4.9 – Trechos com tensões trativa diferentes – Caxias-MA (Bacia B) – Comparação entre UFC9 e SANCAD**

Trecho	Decliv. (m/m)	Vel. ini (m/s)	Vel. final (m/s)	Vel. crítica (m/s)	Tensão trativa (Pa)	Decliv. (m/m)	Vel. ini (m/s)	Vel. final (m/s)	Vel. crítica (m/s)	Tensão trativa (Pa)
	UFC9					SANCAD				
(6-1)	0.02367	0.93	0.93	2.20	3.628	0.02367	0.93	0.93	2.20	3.629
(5-1)	0.02348	0.89	0.89	2.23	3.296	0.02348	0.89	0.89	2.23	3.297
(4-2)	0.02225	0.88	0.88	2.24	3.160	0.02225	0.88	0.88	2.24	3.161
(4-3)	<b>0.14410</b>	0.75	0.75	2.35	2.269	<b>0.14452</b>	0.75	0.75	2.35	2.268
(4-5)	<b>0.01095</b>	0.68	0.68	<b>2.42</b>	1.820	<b>0.01084</b>	0.68	0.68	<b>2.43</b>	1.807
(4-7)	<b>0.17100</b>	1.79	1.79	1.78	15.381	<b>0.17133</b>	1.79	1.79	1.78	15.382
(4-8)	0.17567	1.80	1.80	1.78	15.705	0.17567	1.80	1.80	1.78	15.682
(4-9)	0.16500	<b>1.77</b>	<b>1.77</b>	1.79	14.969	0.16500	<b>1.76</b>	<b>1.76</b>	1.79	14.940
(3-2)	0.03389	1.01	1.01	2.14	4.380	0.03389	1.01	1.01	2.14	4.383
(2-1)	0.02988	0.97	0.97	2.17	3.975	0.02988	0.97	0.97	2.17	3.974
(2-5)	0.05423	1.20	1.20	2.03	6.346	0.05423	1.20	1.20	2.03	6.311
(1-5)	0.04850	1.15	1.15	2.05	5.811	0.04850	1.15	1.15	2.05	5.788
(1-6)	<b>0.10040</b>	1.48	1.48	1.89	10.171	<b>0.10020</b>	1.48	1.48	1.89	10.155
(1-7)	0.05933	1.24	1.24	2.01	6.781	0.05950	1.24	1.24	2.01	6.782
(1-8)	0.01400	<b>0.75</b>	<b>0.75</b>	<b>2.35</b>	2.236	0.01400	<b>0.74</b>	<b>0.74</b>	<b>2.36</b>	2.205
(1-9)	0.00625	<b>0.57</b>	<b>0.57</b>	<b>2.57</b>	1.213	0.00625	<b>0.56</b>	<b>0.56</b>	<b>2.58</b>	1.176
(1-10)	0.03625	1.04	1.04	<b>2.12</b>	4.634	0.03625	1.04	1.04	<b>2.13</b>	4.618
(1-11)	<b>0.12800</b>	1.61	1.63	1.86	12.274	<b>0.12780</b>	1.61	1.63	1.86	12.260
(1-14)	<b>0.05043</b>	<b>1.17</b>	1.25	2.16	5.970	<b>0.05030</b>	<b>1.16</b>	1.25	2.16	5.954
(1-16)	0.07250	<b>1.34</b>	<b>1.54</b>	<b>2.17</b>	8.114	0.07250	<b>1.32</b>	<b>1.53</b>	<b>2.18</b>	7.904

**Tabela 4.10** – Trechos com tensões trativa diferentes – Mombaça-CE (Bairro Vila Recreio - Bacia A) – Comparação entre UFC9 e SANCAD

Trecho	Decliv. (m/m)	Vel. ini (m/s)	Vel. final (m/s)	Vel. crítica (m/s)	Tensão trativa (Pa)	Decliv. (m/m)	Vel. ini (m/s)	Vel. final (m/s)	Vel. crítica (m/s)	Tensão trativa (Pa)
	UFC9					SANCAD				
(11-3)	<b>0.03694</b>	<b>1.05</b>	<b>1.05</b>	2.12	4.686	<b>0.03682</b>	<b>1.04</b>	<b>1.04</b>	2.12	4.674
(10-1)	0.07200	1.32	1.32	1.96	7.861	0.07200	1.32	1.32	1.96	7.862
(9-2)	<b>0.06223</b>	1.25	1.25	2.00	7.020	<b>0.06202</b>	1.25	1.25	2.00	7.003
(6-1)	0.04745	1.14	1.14	2.06	5.690	0.04745	1.14	1.14	2.06	5.691
(6-2)	0.20935	1.92	1.92	1.74	17.960	0.20935	1.92	1.92	1.74	17.961
(4-2)	<b>0.02750</b>	0.95	0.95	2.19	3.749	<b>0.02771</b>	0.95	0.95	2.19	3.748
(3-3)	0.01899	0.83	0.83	2.28	2.790	0.01899	0.83	0.83	2.28	2.795
(2-1)	0.07859	1.36	1.36	1.94	8.413	0.07859	1.36	1.36	1.94	8.414
(1-3)	<b>0.01717</b>	0.80	0.88	<b>2.47</b>	2.600	<b>0.01752</b>	0.80	0.88	<b>2.46</b>	2.626

Em suma, os dois programas apresentaram resultados bastante próximos, o que valida os cálculos efetuados pelo UFC9, já que as diferenças são bastante discretas.

O UFC9 tem uma facilidade não encontrada em programas similares, que é a de permitir ao projetista redesenhar toda a rede clicando no botão correspondente para esta ação (ver apêndice C).

## **5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1. CONCLUSÕES**

Neste trabalho desenvolveu-se um sistema computacional, denominado UFC9, para computadores pessoais com o intuito de traçar e dimensionar hidraulicamente redes coletoras de esgoto. Este programa é dividido em dois módulos: AutoCAD e Visual Basic. No primeiro estão contidas todas as rotinas computacionais para o traçado de uma rede de esgotos. O segundo é um modelo computacional cuja finalidade é dimensionar a rede traçada no primeiro.

O desenvolvimento deste aplicativo levou ao estudo de três linguagens de programação: Visual Basic, AutoLISP e Visual Basic for Applications. A utilização destas linguagens era extremamente necessária para o intercâmbio entre os módulos. O UFC9 é baseado nas normas NBR 9649/1986, NBR 12207/1989 e NBR 14486/2000, cujas peculiaridades foram explanadas ao longo dos capítulos 2 e 3.

Com esta versão do UFC9 concluída, a validação dos resultados foi comparada ao aplicativo SANCAD – Módulo ESG, de bastante aceitação no mercado brasileiro. Foram escolhidas duas redes de projetos executivos de sistemas de esgotamento sanitário. A rede do UFC9 foi traçada sobrepondo a do SANCAD, de modo a se ter os mesmos comprimentos, singularidades e suas respectivas numerações.

Através das comparações, pôde-se constatar que os resultados dos dois programas para estas duas redes são bastante similares, o que caracteriza uma convergência das metodologias empregadas. Os cálculos das vazões nos trechos foram todos iguais em ambos os programas, de onde se pode concluir que o algoritmo de cálculo das vazões do UFC9 é correto e segue todas as recomendações estabelecidas pela ABNT.

Os resultados que foram diferentes entre os dois programas se deram devido a uma pequena discrepância nos valores da declividade. Possivelmente isto se deve ao fato de a metodologia empregada no SANCAD para diminuir a profundidade da singularidade de jusante ser diferente a do UFC9.

Outros valores que não foram iguais, contudo bastante próximos, como a velocidade crítica, tensão trativa, degraus, ou são conseqüências do modelo iterativo empregado para o cálculo do ângulo central do tubo, ou são oriundos das diferenças entre as declividades, conforme explanado no item 3.3.5. Resultados, estes, que não invalidam a metodologia empregada pelo UFC9, já que as diferenças de cálculos são praticamente desprezíveis no que concerne ao dimensionamento hidráulico.

Uma particularidade do UFC9 é o fato de não se trabalhar com banco de dados, o que reduz bastante o tempo para os cálculos da rede. Nas redes testadas, as planilhas são apresentadas ao em poucos segundos. Este fato acontece mesmo quando algum parâmetro é modificado.

Outro ponto a se destacar é o sistema de aviso do UFC9 ao usuário sobre possíveis erros existentes na rede e a maneira de corrigi-los. Algumas mensagens de aviso acerca dos erros que podem ser destacadas estão listadas a seguir:

- trechos com extensão excessiva (dado informado pelo usuário), que geralmente não devem ultrapassar 100 m;
- números de coletores e/ou trechos repetidos;
- numeração de singularidades similares repetidas;
- avisos sobre qualquer singularidade que esteja faltando ou fora dos padrões do programa para o cálculo da rede.

A racionalização de cálculo e de desenho presentes no UFC9 faz com que o mesmo seja uma ferramenta bastante prática e útil a ser utilizada no dia a dia de projetistas e profissionais afins.

## 5.2. RECOMENDAÇÕES

Embora o UFC9 já possua todas as características para o cálculo de uma rede coletora de esgotos, algumas sugestões são importantes para a melhoria do programa, como:

- a possibilidade de se alterar os recobrimentos para cada trecho, independente do recobrimento mínimo adotado para o cálculo da rede;
- a possibilidade de se utilizar diferentes taxas de contribuição linear para cada trecho, independente das taxas adotadas para o cálculo da rede;
- uso de diferentes taxas e parâmetros para duas ou mais regiões de densidade populacional diferentes;
- possibilidade de cálculo de quantitativos;
- uma metodologia de otimização da rede, levando em conta o menor custo para cada trecho.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-14486 – *Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário. Projeto de redes coletoras com tubos de PVC*. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. Universidade de São Paulo. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 2ª. ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária, 2000. 547p.

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

ARAUJO, R. *O Sistema de Esgoto Sanitário*. In: NUVOLARI, A. (coord.); Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Fundação de apoio à tecnologia; Centro Paula Souza. *Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola*. São Paulo: Edgard Blucher, 2003a. 520 p. Capítulo 3.

ARAUJO, R. *O Esgoto Sanitário*. In: NUVOLARI, A. (coord.); Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Fundação de apoio à tecnologia; Centro Paula Souza. *Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola*. São Paulo: Edgard Blucher, 2003b. 520 p. Capítulo 2.

ARAUJO, R. *As Unidades do Sistema*. In: NUVOLARI, A. (coord.); Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Fundação de apoio à tecnologia; Centro Paula Souza. *Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola*. São Paulo: Edgard Blucher, 2003c. 520 p. Capítulo 4.

BRASIL. Programa de Modernização do Setor Saneamento (Brasil). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. *Visão Geral da Prestação dos Serviços de Água e Esgotos - 2002: (Um Extrato do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos)*. BRASÍLIA: PMSS/SNIS, 2004a. 93 p.

BRASIL. *Manual de Saneamento*. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004b. 408 p.

CANADY, T. *Microsoft Visual Basic 6.0 Expert sem limites*. SÃO PAULO: EDITORA BERKELEY, 2000. 474 p.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Sistemas de Esgotos Sanitários. 2ª. ed. São Paulo: CETESB, 1977. 467 p.

CRESPO, P. G. Universidade Federal de Minas Gerais. *Sistema de Esgotos*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1997. 131p.

CYNAMON, S. E. *Sistema não convencional de esgoto sanitário a custo reduzido*. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública, 1986. 52 p.

FADIGA JUNIOR, F. M. *Determinação das declividades mínimas, para vários n de Manning, considerando a tensão trativa média de 1,0 Pa*. In: ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. Universidade de São Paulo. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 2ª. ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária, 2000. 91-93 p. Capítulo 4.

HAESTAD METHODS. *Computer applications in hydraulic engineering: connecting theory to practice*. S.L: HAESTAD PRESS, 2002. 375 p.

HENDERSON, F. M. *Open Channel Flow*. New York: Mac Millan, 1966. 522 p.

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

LEME, F. P. *Engenharia do Saneamento Ambiental*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1982. 384 p.

MENDONÇA, S. R. *Tópicos Avançados em Esgotos Sanitários*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; Companhia de água e esgotos da Paraíba. Rio de Janeiro: ABES, 1987. 259 p.

MOTA, S. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 419 p.

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

PORTO, R. M. *Hidráulica Básica*. 2ª. ed. São Carlos: EESC/USP, 2001. 519 p.

REPLOGLE, J.A.; CHOW, V. T. *Trative Force Distribution in Open Channels*. USA: Journal of the Hydraulic, 1969. p. 169-191.

RODRIGUES, G. P. W. *Metodologia de redução do volume de escavação e dimensionamento ótimo em projetos de redes de esgotamento sanitário utilizando o Sancad e Excel: o caso do igarapé Manaus*. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. Anais... Campo Grande: ABES, 2005.

RODRIGUES, G. P. W.; CORDEIRO, A. S.; CASTRO, M. A. H. *UFC9: software de computação gráfica aplicada a traçado, projeto e dimensionamento de redes de esgotamento sanitário*. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. Anais... Campo Grande: ABES, 2005.

SOUZA, P. S. S.; HIRATA, A. Y. *Programa em Excel*. In: ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. Universidade de São Paulo. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. 2ª. ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária, 2000. 133-140 p. Capítulo 4.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – EXEMPLO DE ARQUIVO DE ENTRADA (ENTRADA.U9E)

0.0015 - 0.0035 - 0.50 - 0.01 - 0.90 -  
 (6-1) - PV34 - PV29 - 35 - 105.530 - 104.600 - 104.480 - 103.550 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.02641 - 0 - 0 - PVC - Bi - PS -  
 (5-1) - PV33 - PV27 - 66 - 107.370 - 105.820 - 106.320 - 104.770 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.02365 - 0 - 0 - PVC - Bi - PS -  
 (4-9) - PV32 - PV10 - 24 - 88.700 - 84.730 - 87.650 - 83.680 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.16680 - 0 - 0 - PVC - Sem - NPS -  
 (4-8) - PV31 - PV32 - 30 - 93.980 - 88.700 - 92.930 - 87.650 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.17600 - 0 - 0 - PVC - Sem - NPS -  
 (4-7) - PV30 - PV31 - 30 - 99.120 - 93.980 - 98.070 - 92.930 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.17133 - 0 - 0 - PVC - Sem - NPS -  
 (4-6) - PV29 - PV30 - 30 - 104.600 - 99.120 - 103.550 - 98.070 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.18267 - 0 - 0 - PVC - Sem - NPS -  
 (4-5) - PV28 - PV29 - 83 - 105.680 - 104.600 - 104.630 - 103.550 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.01301 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (4-4) - PV27 - PV28 - 60 - 105.820 - 105.680 - 104.770 - 104.630 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.00233 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (4-3) - PV26 - PV27 - 93 - 107.170 - 105.820 - 106.120 - 104.770 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.01452 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (4-2) - PV25 - PV26 - 20 - 107.980 - 107.170 - 106.930 - 106.120 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.04050 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (4-1) - PV24 - PV25 - 73 - 107.980 - 107.980 - 106.930 - 106.930 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.00000 - 0 - 0 - PVC - Bi - PS -  
 (3-2) - PV23 - PV20 - 36 - 71.500 - 69.870 - 70.450 - 68.820 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.04506 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (3-1) - PV22 - PV23 - 22 - 71.200 - 71.500 - 70.150 - 70.450 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.01352 - 0 - 0 - PVC - Bi - PS -  
 (2-5) - PV21 - PV16 - 26 - 67.420 - 66.000 - 66.370 - 64.950 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.05442 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (2-4) - PV20 - PV21 - 30 - 69.870 - 67.420 - 68.820 - 66.370 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.08167 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (2-3) - PV19 - PV20 - 28 - 75.000 - 69.870 - 73.950 - 68.820 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.18333 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (2-2) - PV18 - PV19 - 30 - 78.300 - 75.000 - 77.250 - 73.950 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.11000 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (2-1) - PV17 - PV18 - 80 - 80.690 - 78.300 - 79.640 - 77.250 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.02993 - 0 - 0 - PVC - Bi - PS -  
 (1-16) - PV16 - Fim - 4 - 66.000 - 65.700 - 64.950 - 64.650 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.07791 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-15) - PV15 - PV16 - 21 - 66.920 - 66.000 - 65.870 - 8.950 - 1.050 - 57.050 - 150 - 2.69135 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-14) - PV14 - PV15 - 70 - 70.530 - 66.920 - 69.480 - 65.870 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.05157 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-13) - PV13 - PV14 - 100 - 70.970 - 70.530 - 69.920 - 69.480 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.00440 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-12) - PV12 - PV13 - 50 - 76.000 - 70.970 - 74.950 - 69.920 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.10060 - 0 - 0 - PVC - Uni - NPS -  
 (1-11) - PV11 - PV12 - 50 - 82.400 - 76.000 - 81.350 - 74.950 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.12800 - 0 - 0 - PVC - Uni - NPS -  
 (1-10) - PV10 - PV11 - 64 - 84.730 - 82.400 - 83.680 - 81.350 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.03623 - 0 - 0 - PVC - Uni - NPS -  
 (1-9) - PV9 - PV10 - 40 - 84.990 - 84.730 - 83.940 - 83.680 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.00650 - 0 - 0 - PVC - Uni - NPS -  
 (1-8) - PV8 - PV9 - 40 - 85.560 - 84.990 - 84.510 - 83.940 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.01425 - 0 - 0 - PVC - Uni - NPS -  
 (1-7) - PV7 - PV8 - 60 - 89.130 - 85.560 - 88.080 - 84.510 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.05950 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-6) - PV6 - PV7 - 50 - 94.150 - 89.130 - 93.100 - 88.080 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.10040 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-5) - PV5 - PV6 - 40 - 96.100 - 94.150 - 95.050 - 93.100 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.04875 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-4) - PV4 - PV5 - 45 - 100.000 - 96.100 - 98.950 - 96.746 - 1.050 - -0.640 - 150 - 0.04897 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-3) - PV3 - PV4 - 35 - 106.000 - 100 - 104.950 - 98.95 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.10709 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-2) - PV2 - PV3 - 50 - 109.800 - 106.000 - 108.750 - 104.950 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.07600 - 0 - 0 - PVC - Bi - NPS -  
 (1-1) - PV1 - PV2 - 60.0 - 111.280 - 109.800 - 110.230 - 108.750 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.02467 - 0 - 0 - PVC - Bi - PS -

## APÊNDICE B – EXEMPLO DE ARQUIVO DE SAÍDA (ENTRADA.U9S)

(1-6) - PV6 - Fim - 20 - 243.850 - 243.800 - 242.116 - 242.016 - 1.734 - 1.784 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.000 - 0.000 -  
 (1-5) - PV5 - PV6 - 15 - 243.860 - 243.850 - 242.762 - 242.687 - 1.098 - 1.163 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.000 - 0.000 - TQ 0.571  
 (1-4) - PV4 - PV5 - 30 - 244.000 - 243.860 - 242.933 - 242.783 - 1.067 - 1.077 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.000 - 0.000 - DG 0.021  
 (1-3) - PV3 - PV4 - 65 - 247.180 - 244.000 - 244.066 - 242.950 - 3.114 - 1.050 - 150 - 0.04892 - PVC - 0.000 - 0.000 - DG 0.017  
 (1-2) - PV2 - PV3 - 34.6 - 248.000 - 247.180 - 244.249 - 244.076 - 3.751 - 3.104 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.000 - 0.000 - DG 0.010  
 (1-1) - PV1 - PV2 - 55.4 - 247.530 - 248.000 - 244.546 - 244.269 - 2.984 - 3.731 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.000 - 0.000 - DG 0.020  
 (2-2) - PV8 - PV1 - 41.2 - 245.830 - 247.530 - 244.763 - 244.557 - 1.067 - 2.973 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.033 - 0.076 - DG 0.011  
 (2-1) - TL7 - PV8 - 71.3 - 251.410 - 245.830 - 250.360 - 244.780 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.07826 - PVC - 0.057 - 0.132 - DG 0.017  
 (3-3) - PV11 - PV8 - 73.9 - 247.800 - 245.830 - 246.183 - 244.780 - 1.617 - 1.050 - 150 - 0.02666 - PVC - 0.059 - 0.137 - DG 0.017  
 (3-2) - PV10 - PV11 - 13.4 - 247.320 - 247.800 - 246.250 - 246.183 - 1.070 - 1.617 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.011 - 0.025 -  
 (3-1) - PV9 - PV10 - 28.8 - 248.860 - 247.320 - 247.810 - 246.270 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.05347 - PVC - 0.023 - 0.053 - DG 0.020  
 (4-2) - PV9 - PV1 - 48.4 - 248.860 - 247.530 - 247.800 - 246.470 - 1.060 - 1.060 - 150 - 0.02748 - PVC - 0.077 - 0.179 - TQ 1.924  
 (4-1) - TL12 - PV9 - 39.5 - 250.990 - 248.860 - 249.940 - 247.810 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.05392 - PVC - 0.063 - 0.146 - DG 0.010  
 (5-1) - TL13 - PV10 - 49.9 - 254.820 - 247.320 - 253.770 - 246.270 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.15030 - PVC - 0.080 - 0.185 - DG 0.020  
 (6-2) - PV15 - PV10 - 31.3 - 253.810 - 247.320 - 252.760 - 246.270 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.20735 - PVC - 0.050 - 0.116 - DG 0.020  
 (6-1) - PV14 - PV15 - 57.2 - 256.420 - 253.810 - 255.370 - 252.760 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.04563 - PVC - 0.092 - 0.212 -  
 (7-1) - TL16 - PV15 - 34.5 - 256.730 - 253.810 - 255.680 - 252.760 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.08464 - PVC - 0.055 - 0.128 -  
 (8-3) - PV18 - PV2 - 38.3 - 251.930 - 248.000 - 250.870 - 246.940 - 1.060 - 1.060 - 150 - 0.10261 - PVC - 0.061 - 0.142 - TQ 2.691  
 (8-2) - PV14 - PV18 - 41 - 256.420 - 251.930 - 255.370 - 250.880 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.10951 - PVC - 0.066 - 0.152 - DG 0.010  
 (8-1) - TL17 - PV14 - 35.4 - 258.730 - 256.420 - 257.680 - 255.370 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.06525 - PVC - 0.057 - 0.131 -  
 (9-2) - PV20 - PV3 - 46.7 - 251.000 - 247.180 - 249.045 - 246.130 - 1.955 - 1.050 - 150 - 0.08180 - PVC - 0.037 - 0.086 - TQ 2.064  
 (9-1) - PV19 - PV20 - 37.1 - 253.470 - 251.000 - 252.420 - 249.950 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.06658 - PVC - 0.030 - 0.069 - TQ 0.905  
 (10-3) - PV22 - PV20 - 18 - 250.210 - 251.000 - 249.135 - 249.045 - 1.075 - 1.955 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.014 - 0.033 -  
 (10-2) - PV21 - PV22 - 37.8 - 252.390 - 250.210 - 251.330 - 249.150 - 1.060 - 1.060 - 150 - 0.05767 - PVC - 0.030 - 0.070 - DG 0.015  
 (10-1) - PV19 - PV21 - 17.1 - 253.470 - 252.390 - 252.420 - 251.340 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.06316 - PVC - 0.014 - 0.032 - DG 0.010  
 (11-3) - PV25 - PV5 - 84.6 - 247.000 - 243.860 - 245.940 - 242.810 - 1.060 - 1.050 - 150 - 0.03712 - PVC - 0.068 - 0.157 - DG 0.048  
 (11-2) - PV24 - PV25 - 60 - 248.510 - 247.000 - 247.450 - 245.940 - 1.060 - 1.060 - 150 - 0.02517 - PVC - 0.048 - 0.111 -  
 (11-1) - TL23 - PV24 - 30 - 251.330 - 248.510 - 250.280 - 247.460 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.09400 - PVC - 0.024 - 0.056 - DG 0.010  
 (12-4) - PV29 - PV6 - 42.8 - 244.280 - 243.850 - 242.344 - 242.130 - 1.936 - 1.720 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.034 - 0.079 - DG 0.014  
 (12-3) - PV28 - PV29 - 60 - 245.680 - 244.280 - 242.654 - 242.354 - 3.026 - 1.926 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.048 - 0.111 - DG 0.010  
 (12-2) - PV27 - PV28 - 36.1 - 243.910 - 245.680 - 242.846 - 242.666 - 1.064 - 3.014 - 150 - 0.00500 - PVC - 0.029 - 0.067 - DG 0.012  
 (12-1) - TL26 - PV27 - 45 - 245.870 - 243.910 - 244.820 - 242.860 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.04356 - PVC - 0.036 - 0.083 - DG 0.014  
 (13-1) - TL30 - PV28 - 41.4 - 247.000 - 245.680 - 245.950 - 244.630 - 1.050 - 1.050 - 150 - 0.03188 - PVC - 0.033 - 0.077 - TQ 1.976

## **APÊNDICE C – MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO UFC9**



# Manual UFC9

Software para Traçado e Cálculo de  
Redes de Esgotos em AutoCAD

**Orientador:** Marco Aurélio Holanda de Castro

**Programadores:** Alessandro de Araújo Bezerra  
Gustavo Paiva Weyne Rodrigues

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	125
2. INSTALANDO OS PROGRAMAS UFC .....	126
3. SISTEMA DE SEGURANÇA UFC .....	128
4. CURVAS DE NÍVEL .....	129
5. PROGRAMA PARA CÁLCULO DE COTAS .....	130
6. PROGRAMA UFC9 – MÓDULO AUTOCAD.....	131
7. APRESENTAÇÃO DOS BOTÕES DO UFC9 – MÓDULO AUTOCAD .....	131
8. UTILIZANDO O PROGRAMA UFC9.....	132
8.1. Tubo da rede .....	132
8.2. Evitando erros no traçado de tubos coletores.....	135
8.3. Terminal de Limpeza .....	136
8.4. Poço de Visita.....	138
8.5. Tubo de Inspeção e Limpeza ou Poço de Inspeção .....	142
8.6. Caixa de Passagem.....	143
8.7. Ponta-Seca.....	144
8.8. Taxas de Contribuição Linear .....	146
8.9. Planilha de Cálculos .....	148
8.10. Traçar Perfil .....	148
8.11. Default .....	149
8.12. Editar .....	151
8.13. Mostrar Legendas .....	154
8.14. Refazer a rede.....	154
8.15. Simular em SWMM.....	155
9. PROGRAMA UFC9 – MÓDULO VISUAL BASIC.....	158
10. O MENU PRINCIPAL DO UFC9 – MÓDULO VISUAL BASIC .....	158
10.1. Menu Arquivo.....	159
10.2. Menu Modificar .....	159
10.3. Menu Dimensionamento .....	161
10.4. Menu Exibir.....	163
10.5. Menu Ajuda .....	164
11. APRESENTAÇÃO DOS BOTÕES UFC9 – MÓDULO VISUAL BASIC.....	165

## 1. INTRODUÇÃO

O programa UFC9 é utilizado para traçar e calcular redes de esgotos. Este software é iniciado através do AutoCAD e seu menu é adicionado aos do AutoCAD através do arquivo ACAD.lsp, que carrega os arquivos .dwb, .vlx e .mns que são, respectivamente, os arquivos de VBA (Visual Basic for Applications), AutoLISP e o de menu dos programas UFC9, UFC2 e UFC3, programas utilizados no AutoCAD.

No programa UFC9 são utilizados, além dos recursos do próprio AutoCAD, os recursos das linguagens de programação AutoLISP, Visual Basic for Applications (VBA) e Visual Basic (VB). Sendo as linguagens AutoLISP e VBA próprias do AutoCAD.

Os arquivos de menu do programa UFC9 são quatro, sendo dois destes criados pelo próprio AutoCAD depois da primeira utilização do programa. Os arquivos mnufc9.mns e mnufc9.dll são os arquivos de menu do programa. O programa vem o arquivo mnufc9.mnr que é criado pelo AutoCAD quando utilizado pela primeira vez.

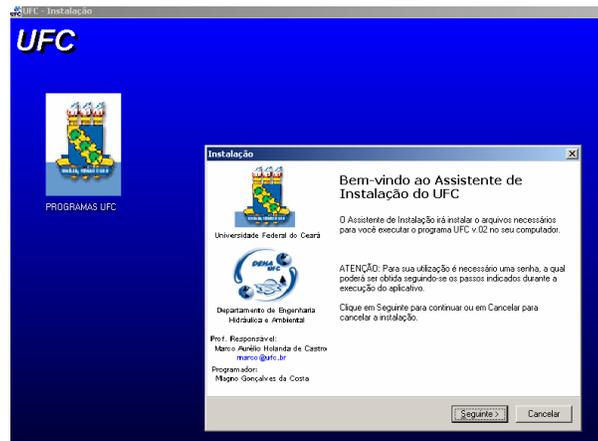
O AutoCAD cria o arquivo mnufc9.mnc, se a versão deste aplicativo for anterior à 2005, ou cria o arquivo mnufc9.cui se a versão for posterior à 2005. O arquivo mnufc9.mns vem com as funções de cada botão do programa e o mnufc9.dll traz com os ícones de cada botão.

Os programas UFC são protegidos por senhas, tendo que ser registrados em cada computador que for instalado. Estes programas utilizados no AutoCAD possuem uma única senha para os três, ou seja, se um deles for registrado todos podem ser utilizados. O mesmo acontece para os programas utilizados fora do AutoCAD.

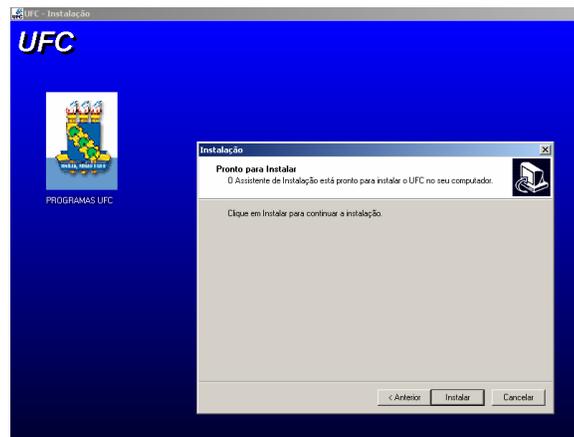
## 2. INSTALANDO OS PROGRAMAS UFC

Os programas UFC são instalados todos de uma só vez através de um arquivo executável: INSTALADOR.EXE. Os passos para a instalação dos programas UFC são os que se seguem.

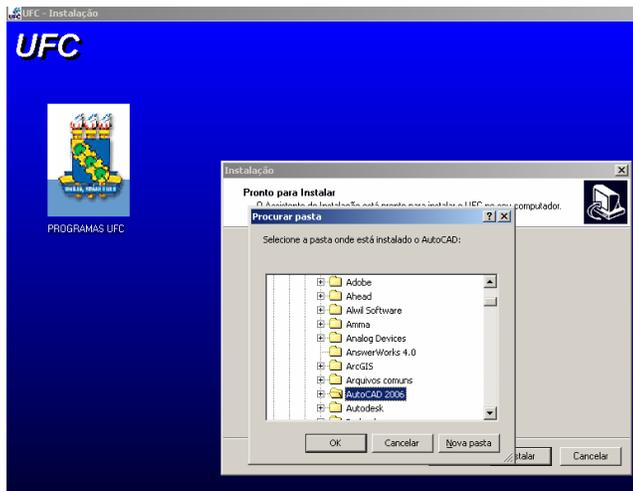
Primeiramente aparece a apresentação do instalador UFC, depois de ler deve-se clicar em “Seguinte”.



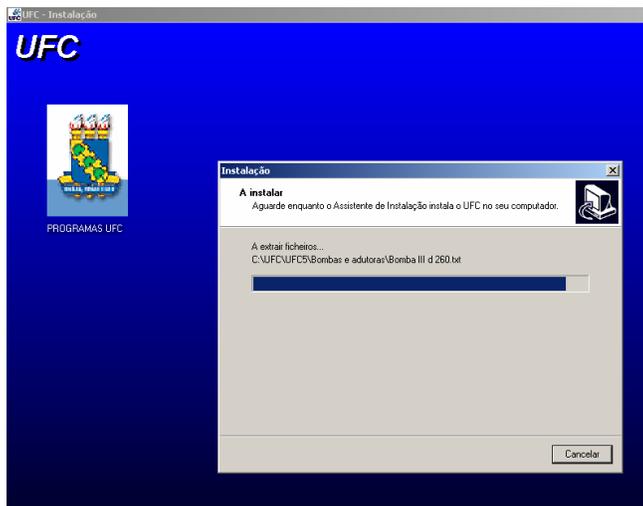
Logo após isso aparece outra tela, deve-se clicar em “Instalar”



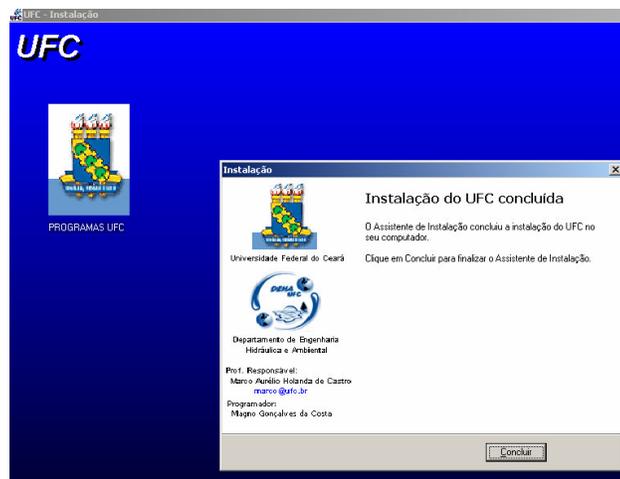
Antes de instalar os programas UFC, o assistente de instalação pergunta onde está instalado o AutoCAD, deve-se indicar o local correto, pois é lá onde o programa procura a pasta de suporte do AutoCAD para instalar o arquivo ACAD.lsp. Normalmente o AutoCAD está instalado em C:\Arquivos de Programas\AutoCAD, mas esse não é obrigatoriamente o caminho.



Aguarde enquanto os programas estão sendo instalados



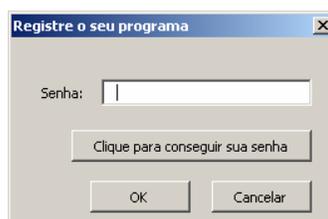
Clique em concluir.



Depois de instalados, cada programa UFC é instalado em sua respectiva pasta na pasta: C:\UFC, ou seja, o programa UFC9 é instalado na pasta C:\UFC\UFC9, contendo nessa pasta todos os arquivos e pastas necessários para o funcionamento do programa UFC9.

### 3. SISTEMA DE SEGURANÇA UFC

Os programas UFC possuem um sistema de proteção. Ao utilizar pela primeira vez um programa UFC em seu computador, o programa pede ao usuário para inserir a senha para utilização do programa através da seguinte caixa de diálogo:



Se o programa nunca tiver sido utilizado, o usuário ainda não possui a senha para poder utilizar o programa desejado, então, deve-se clicar no botão "Clique para conseguir sua senha", aparecendo a seguinte caixa de diálogo:

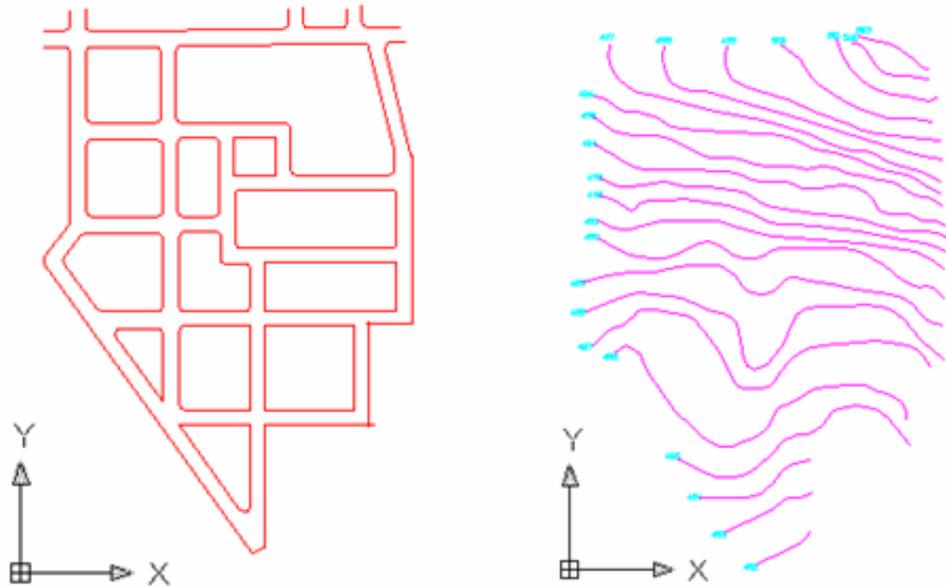


No espaço onde aparece número do usuário aparece o número o qual deve ser mandado por e-mail para marco@ufc.br, onde o Professor Marco Aurélio irá gerar a senha e enviará a mesma por e-mail que deve ser inserida na caixa de diálogo apresentada acima. Depois de inserida a senha e clicado o botão OK, o programa poderá ser utilizado normalmente.

## 4. CURVAS DE NÍVEL

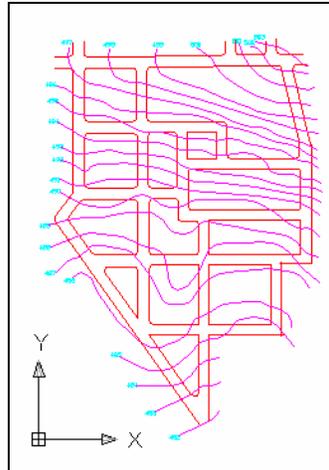
As curvas de nível que podem ser utilizadas no programa UFC9 devem estar nos formatos de “SPLINE”, “LWPOLYLINE” ou “POLYLINE”. Estando em um destes três formatos o programa para cálculo das cotas de um terreno consegue realizar a interpolação das curvas.

Normalmente, para utilizar o programa, deve-se conter um arquivo com o arruamento do terreno e outro com as curvas de nível em um dos três formatos citados, como nas figuras a seguir:



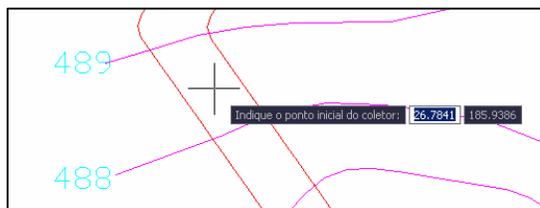
Para possuir o arruamento com as curvas de nível deve-se inserir o arquivo do arruamento no arquivo de curvas de nível, assim, o arruamento fica definido como bloco e as curvas de nível continuam no seu formato padrão. Não se deve inserir o arquivo de curvas de nível no arquivo de arruamento, pois assim as curvas de nível ficariam no formato de bloco, e não nos três desejados, ou seja, o programa UFC9 não poderia capturar as cotas das curvas de nível.

Nos exemplos do programa UFC9 os blocos de arruamentos devem ser inseridos nos pontos (0,0,0) dos arquivos de curvas de nível. Depois de inserido corretamente temos o arquivo com arruamento e curvas de nível:

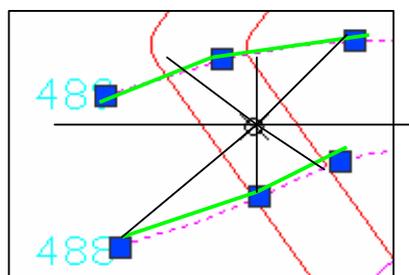


## 5. PROGRAMA PARA CÁLCULO DE COTAS

O programa UFC9 possui um programa para capturar as cotas das curvas de nível e fazer interpolações ou extrapolações. Se as curvas de nível estiverem nos formatos “SPLINE”, “LWPOLYLINE” ou “POLYLINE”, o programa UFC9 consegue capturar as cotas das curvas de nível. O programa para cálculo de cotas do programa UFC9 funciona da seguinte maneira:

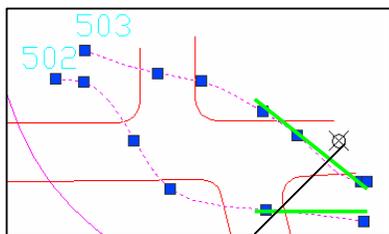


Ao criar um tubo, o programa pede para inserir o ponto, ao clicar no ponto o programa calcula a cota do ponto clicado, no exemplo ao lado é através de interpolação.



De acordo com os pontos de seleção de cada curva de nível, o programa de cálculo de cotas cria linhas entre esses pontos e as interpola utilizando as distâncias entre o ponto e estas linhas. O programa calcula as distâncias nos sentidos horizontal, vertical e nas duas

diagonais, fazendo a média ponderada usando as distâncias como peso.



Se o ponto não estiver entre as curvas de nível, mas existirem curvas em pelo menos uma direção, criando as linhas entre as curvas o programa extrapola utilizando as duas curvas mais próximas.

## 6. PROGRAMA UFC9 – MÓDULO AUTOCAD

O menu do programa UFC9 – Módulo AutoCAD é adicionado ao AutoCAD através de arquivos de menu carregados automaticamente pelo ACAD.lsp, na pasta de suporte do AutoCAD.

O UFC9 (módulo AutoCAD) possui os seguintes botões em seu menu:



## 7. APRESENTAÇÃO DOS BOTÕES DO UFC9 – MÓDULO AUTOCAD

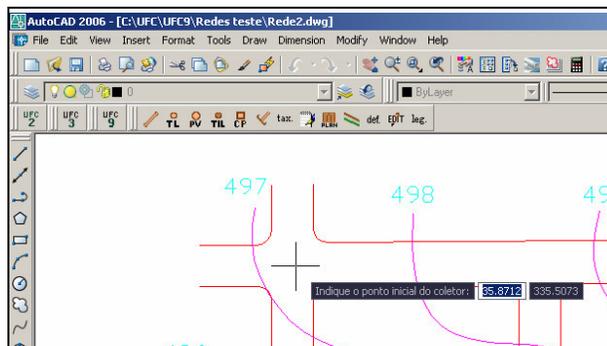
-  “**Iniciar Seção**” – Carrega e descarrega a palheta de desenho UFC9.
-  “**Tubo da rede**” – Traça a tubulação da rede de esgotos.
-  “**Terminal de Limpeza**” – Insere um Terminal de Limpeza (TL).
-  “**Poço de Visita**” – Insere um Poço de Visita (PV).
-  “**Terminal de Inspeção e Limpeza**” – Insere um TIL.
-  “**Caixa de Passagem**” – Insere uma Caixa de Passagem (CP).

-  “**Ponta Seca**” – Cria uma Ponta Seca (PS).
-  “**Taxas de Contribuição Linear**” – Faz o cálculo de Taxas e Vazões.
-  “**Planilha de Cálculos**” – Faz os cálculos necessários para a rede.
-  “**Traçar Perfil**” – Traça o perfil do coletor indicado.
-  “**Default**” – Define os padrões do programa UFC9.
-  “**Editar**” – Edita tubos e singularidades.
-  “**Mostrar Legendas**” – Mostra ou esconde as "Layers" das legendas.
-  “**Simular em SWMM**” – Cria o arquivo para simulação em SWMM.
-  “**Refazer a Rede**” – Refaz a rede automaticamente após ser calculada.

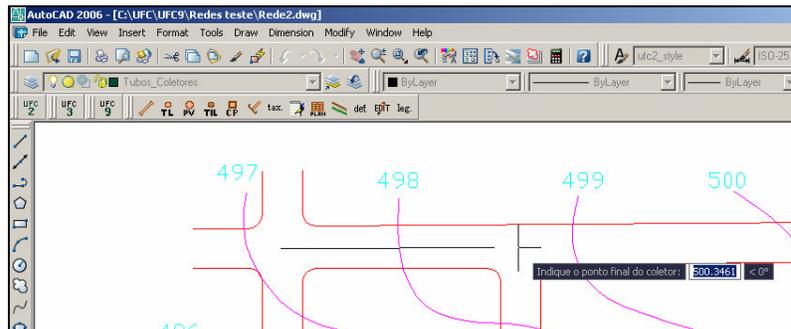
## 8. UTILIZANDO O PROGRAMA UFC9

### 8.1. Tubo da rede

Inicialmente, com o arquivo da topografia já aberto, com curvas de nível e arruamento, devem-se traçar os tubos da rede de esgotos. Para tal, deve-se clicar no botão “Tubo da rede”, e clicar no primeiro ponto do primeiro trecho do primeiro coletor.



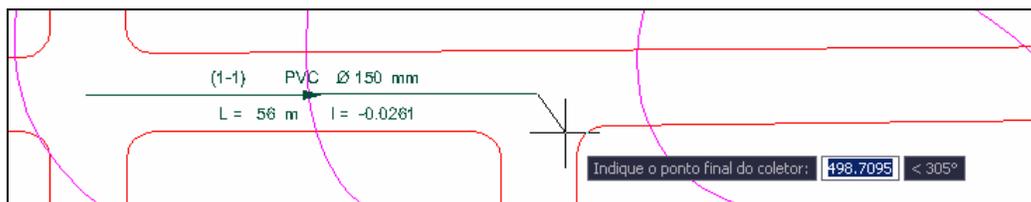
Depois de inserido o primeiro ponto, uma linha é iniciada, mostrando como ficará o tubo depois de inserido no desenho. Com essa linha é feito o pedido para inserir o ponto final do primeiro trecho do tubo, o usuário deve clicar no ponto final do trecho.



Depois de clicado no ponto final do trecho, aparece a seguinte caixa de diálogo pedindo as informações necessárias para a inserção do tubo:



Deve-se inserir o número do coletor e o número do trecho, neste caso como é o primeiro trecho a ser traçado o ideal é inserir 1 para ambos. O tipo de contribuição padrão é Bilateral, podendo ser alterado se o trecho for unilateral ou sem contribuição. Se o usuário clicar em “Cancel”, o tubo não será inserido.

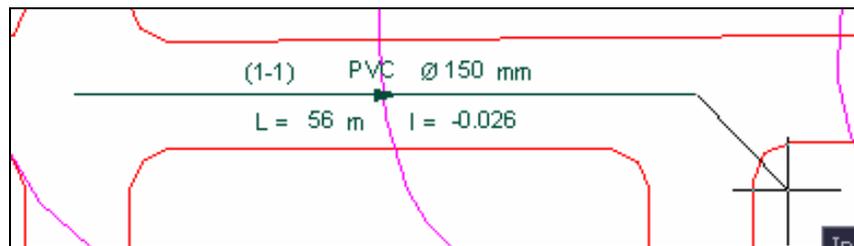


Se o comprimento do tubo for maior do que o máximo estabelecido, aparece uma mensagem indicando, mas o tubo é traçado normalmente.

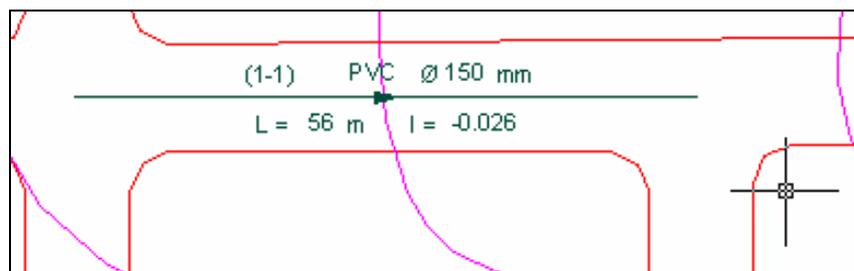
As informações que vêm com o tubo são: número de coletor e trecho, material utilizado, diâmetro do tubo, comprimento do tubo, declividade.

O sentido do fluxo de esgoto no tubo segue o sentido clicado pelo usuário, sendo o tubo em si um objeto "LINE" do AutoCAD. O ponto final do tubo inserido é o ponto inicial do próximo tubo a ser inserido. Se isso for o desejado, basta clicar no ponto final do próximo tubo e repetir o processo, aumentando uma unidade no número do trecho.

Quando o usuário não deseja mais continuar seguindo a seqüência daquele, ele deve clicar com o botão direito do mouse, botão ENTER ou a barra de espaço do teclado.



*(antes de teclar enter)*



*(depois de teclar enter)*

Se o usuário desejar traçar outros coletores, o processo deve ser reiniciado. O UFC9 evita que os coletores e/ou tubos tenham números iguais. Os tubos devem ser, preferencialmente, traçados a favor da declividade.

## 8.2. Evitando erros no traçado de tubos coletores

Caso as caixas de texto (onde devem ser inseridos os números de coletor e trecho) estiverem em branco ou com texto ao invés de números, a seguinte caixa de diálogo é apresentada.



Depois de clicado em “OK”, a caixa de diálogo volta ao normal.

Caso o usuário esqueça que já inseriu um tubo com aquele número de coletor e trecho e inseri-los novamente, o programa UFC9 envia a seguinte mensagem, focalizando o “zoom” no tubo inserido:



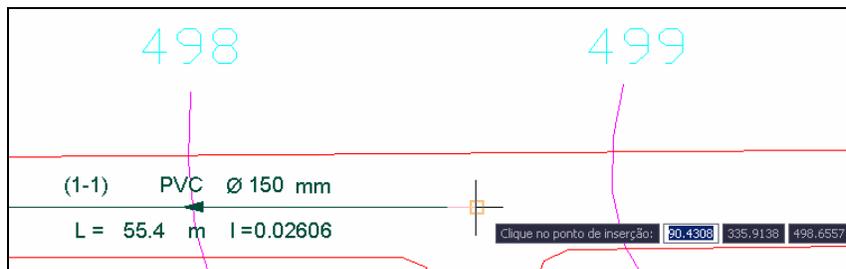
Depois de clicado “OK”, o programa UFC9 não insere o tubo e o usuário deve inserir um novo tubo com os números de coletor e trecho corretos.

Depois de traçados os tubos, o usuário deve inserir as singularidades do projeto, que serão apresentadas a seguir.

### 8.3. Terminal de Limpeza

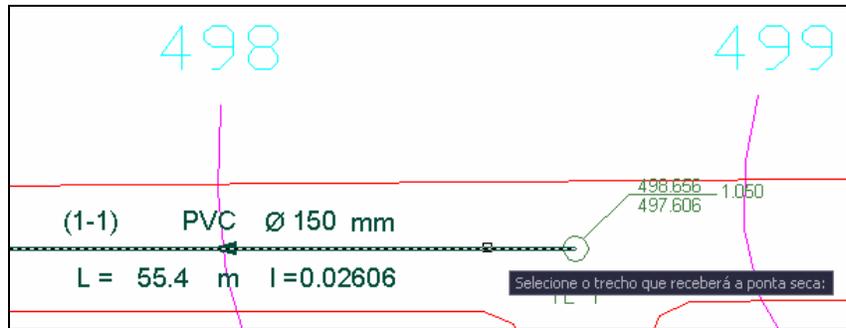
Os Terminais de Limpeza (TL) são inseridos no início de um trecho. Depois de traçados os tubos, deve-se clicar no botão dos TL's e inseri-los. Após inserida uma singularidade em um trecho inicial, o programa pede para que se insira uma ponta seca, que deve ser inserida no tubo de onde está o TL.

Estes são os passos que devem ser seguidos, após clicar no ícone de inserção do TL. O programa solicita que se clique no ponto de inserção:

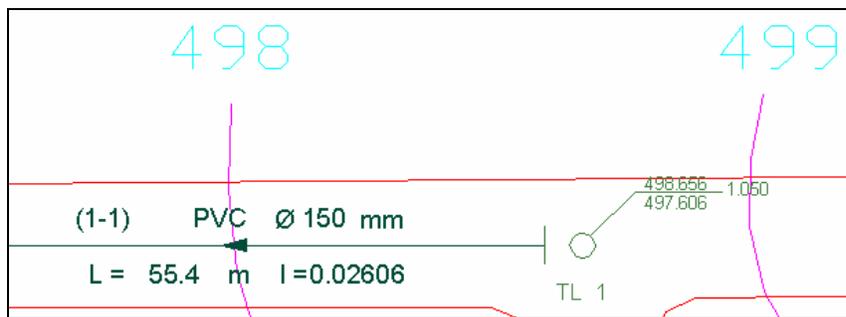


Depois de clicado no endpoint do tubo, aparece a seguinte caixa de diálogo:

A numeração das singularidades é automática. Depois de conferidos e/ou alterados os dados, se necessário, e clicado o botão OK, o TL é inserido e é pedida a inserção da ponta seca:

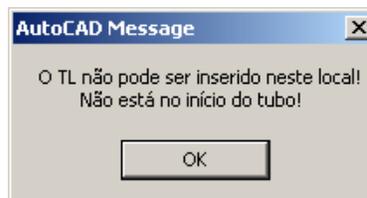


Depois de inserida a ponta seca fica assim:

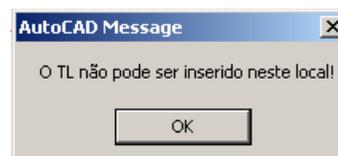


Os atributos que o bloco de identificação do TL mostra são: cota do terreno, cota do fundo do TL, profundidade do TL, número do TL.

Caso o usuário tente inserir o TL no fim de um trecho ou em um ponto intermediário, como entre um trecho chegando ao local e outro saindo, a seguinte mensagem é apresentada e o TL não é inserido.



Se ele for inserido em um ponto que seja início de mais de um trecho, aparecerá esta mensagem.



#### 8.4. Poço de Visita

Para inserir um PV basta clicar no ícone para inserção de PV's e seguir os passos:



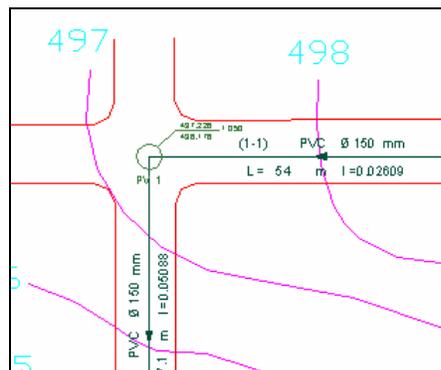
Depois de o PV ser inserido, o UFC9 apresenta a seguinte caixa de diálogo:

A caixa de diálogo "UFC9: Inserção do Poço de Visita" contém os seguintes campos de entrada:

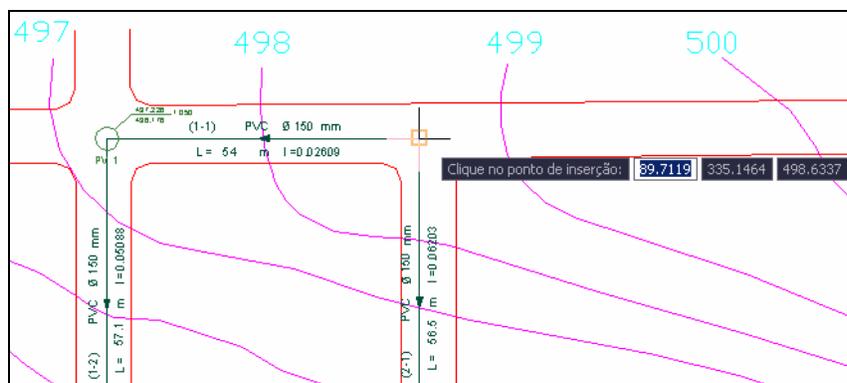
- Número do PV: 1
- Profundidade do coletor (m): 1.050
- Cota do Terreno (m): 497.226
- Cota do coletor (m): 496.176
- Vazão Concentrada (L/s):
  - Inicial: 0
  - Final: 0

Botões: OK, exibir informações >>>

Esta figura ilustra o PV após ter sido inserido.

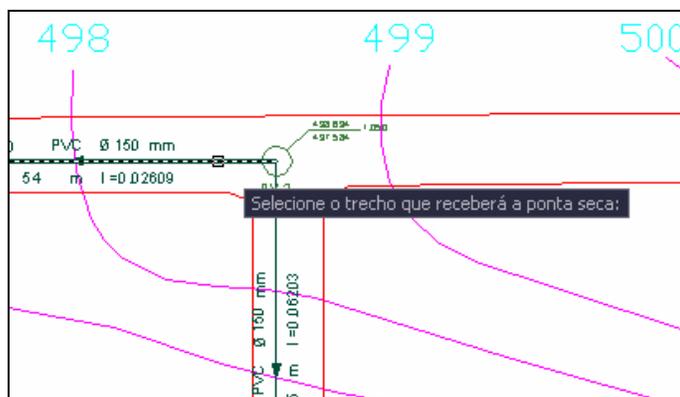


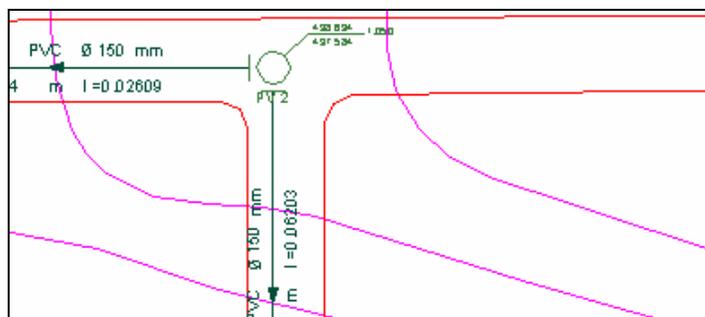
Como o PV está entre dois trechos, não é necessária a inserção de pontas secas. No caso seguinte o PV será inserido no início de dois trechos:



Depois de clicado em um ponto que seja início de trecho, o PV é inserido e o programa pede a inserção de pontas secas, nesse caso existem dois trechos iniciando neste PV, ou seja, deverão ser inseridas duas pontas secas.

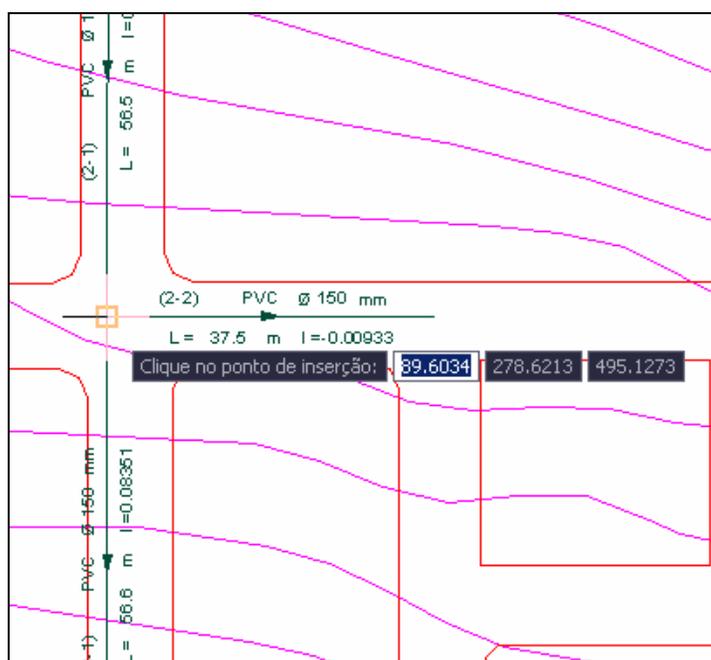
Depois de inserida a primeira ponta-seca, o UFC9 pede para que se insira a próxima.

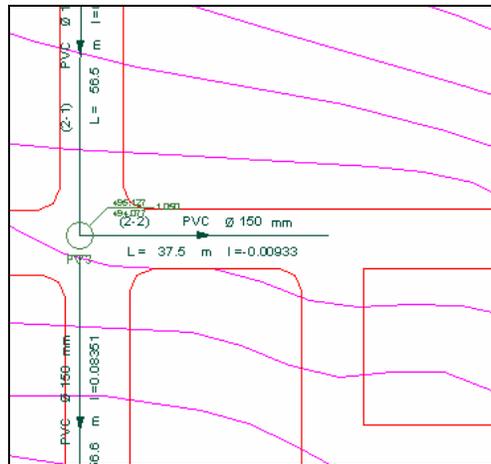
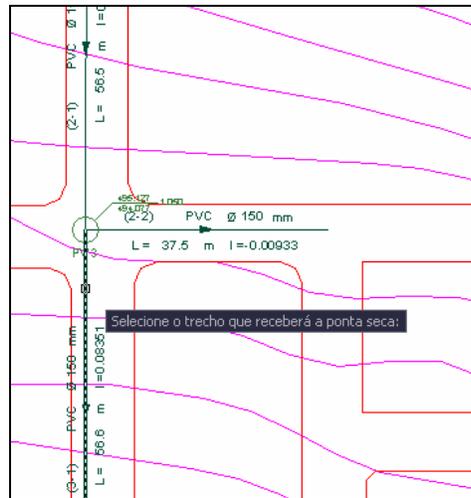




O programa UFC9 irá solicitar o número de pontas secas necessárias, ou seja, se o usuário seguir a ordem do programa, inserindo primeiramente os tubos e depois as singularidades, não será necessário a inserção de nenhuma ponta seca além das que são solicitadas pelo programa.

Nos casos em que exista mais de um tubo saindo e pelo menos um chegando, um tubo de saída não receberá a ponta seca, enquanto os outros sim, como no seguinte caso.





Os atributos que o bloco de identificação do PV mostra são: cota do terreno, cota do fundo do PV, profundidade do PV, número do PV.

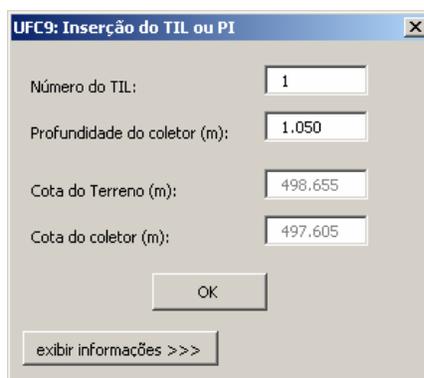
O número máximo de trechos de saída no PV são quatro. Ao se tentar mais de 4 trechos de saída, o UFC9 envia a seguinte mensagem.



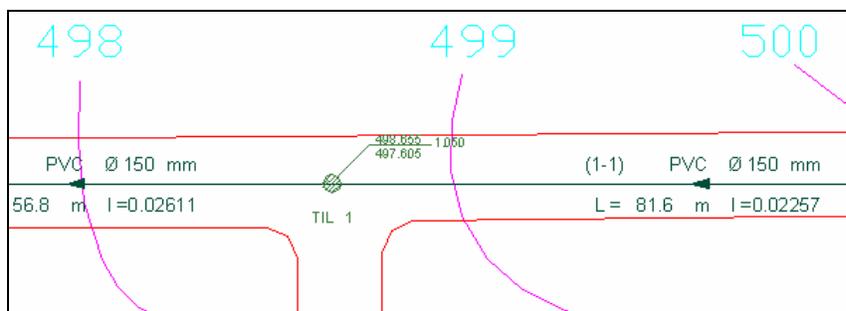
### 8.5. Tubo de Inspeção e Limpeza ou Poço de Inspeção

O tubo de Inspeção e Limpeza (TIL) só pode ser inserido entre trechos de entrada e saída. Para inserir um TIL, basta clicar no ícone correspondente e em seguida no ponto desejado.

Seguindo os mesmos passos para inserção do PV e do TL, após clicado em qualquer ponto entre dois tubos, um de entrada e um de saída, aparece a seguinte caixa de diálogo:



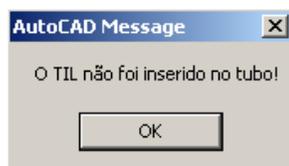
Depois de conferidos e/ou alterados os dados, se necessário, e clicado o botão OK, o TIL é inserido, conforme ilustra a figura seguinte.



Caso o TIL seja inserido em um local não permitido, a seguinte mensagem é exibida.



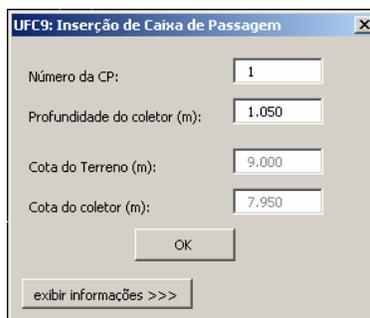
Caso ele seja inserido fora do tubo, a seguinte mensagem é apresentada.



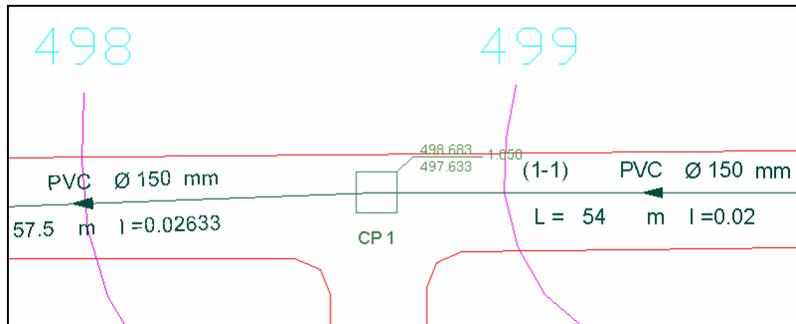
### **8.6. Caixa de Passagem**

A Caixa de Passagem (CP) só pode ser inserida entre trechos de entrada e saída. Para inserir uma CP, basta clicar no ícone correspondente e em seguida no ponto desejado.

Seguindo os mesmos passos para inserção do PV e do TL, após clicado em qualquer ponto entre dois tubos, um de entrada e um de saída, aparece a seguinte caixa de diálogo.



Depois de conferidos e/ou alterados os dados, se necessário, e clicado o botão OK, a CP é inserida.



Caso o TIL seja inserido em um local não permitido, a seguinte mensagem é exibida.



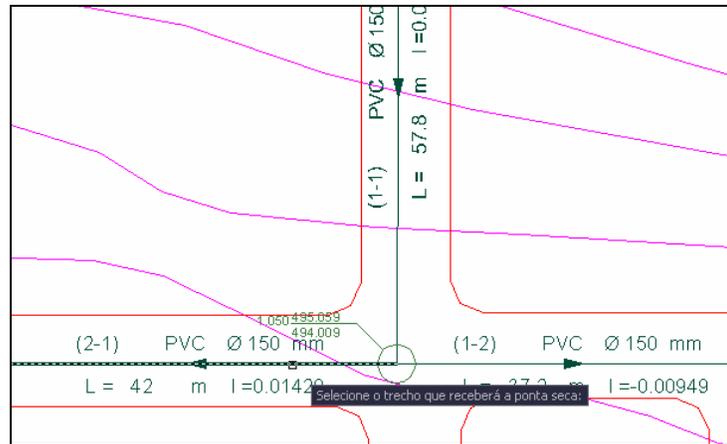
Caso ela seja inserida fora do tubo, a seguinte mensagem é apresentada.



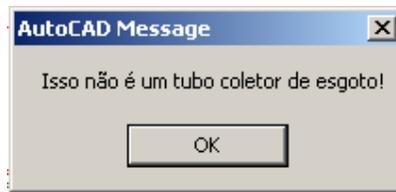
### 8.7. Ponta-Seca

Uma das exigências do UFC9 (módulo AutoCAD) é a inserção de todas as pontas-secas referentes à rede. Este aspecto é de suma importância, pois é necessário para o dimensionamento hidráulico.

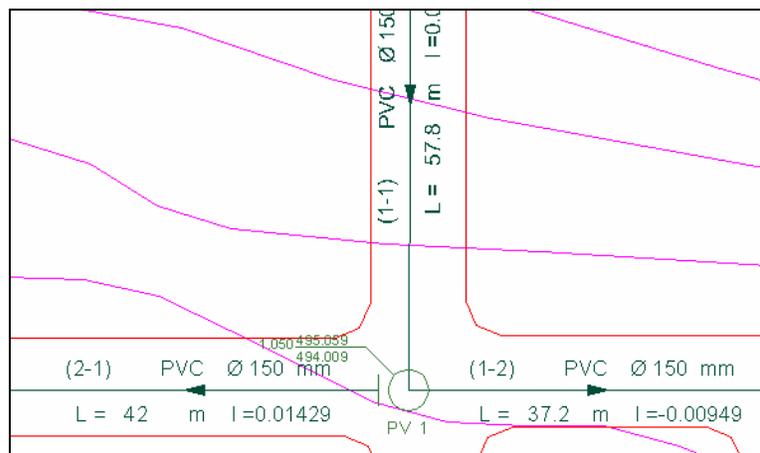
Caso o usuário deseje traçar um tubo partindo de uma singularidade já inserida e que já exista um tubo saindo da mesma, não é necessário apagar a singularidade e inseri-la novamente para criar uma ponta-seca. Ao se ativar o botão das pontas-secas, o UFC9 solicita ao usuário clicar num tubo desejado.



Caso o usuário não clique em um tubo coletor de esgoto, aparecerá a seguinte mensagem, não inserindo a ponta seca e solicitando novamente a inserção da ponta seca:



Depois de clicado corretamente em um tubo, o desenho fica de acordo com a próxima figura:

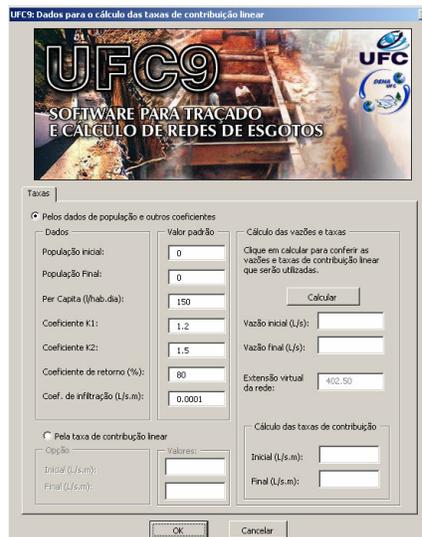


Se o usuário clicar em um tubo que já possua ponta seca, a seguinte mensagem é exibida.



### 8.8. Taxas de Contribuição Linear

Depois de traçada toda a rede de esgoto, o usuário deve clicar no ícone que representa o cálculo das taxas, aparecendo a seguinte caixa de diálogo:



O usuário deve fornecer a população inicial e final e, se desejar, alterar os outros dados necessários para o cálculo das taxas. A extensão virtual da rede é calculada automaticamente pelo programa, não podendo ser modificada pelo usuário. Depois de fornecidas as populações deve-se clicar no botão calcular, que calculará as taxas e as vazões, representadas pela figura a seguir.



Se o usuário já dispuser dos valores das taxas de contribuição linear e quiser apenas informá-lo ao programa, ele deve selecionar a opção “Pela taxa de contribuição linear” e inserir os valores.



Se as taxas já tiverem sido calculadas e a opção de cálculo das taxas for solicitado novamente, a caixa de diálogo é apresentada com os últimos cálculos referentes às taxas. O usuário pode modificá-las se julgar necessário.

## 8.9. Planilha de Cálculos

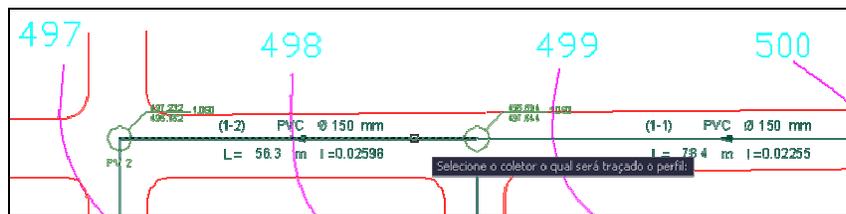
Este botão faz com que os dados necessários ao dimensionamento da rede sejam repassados ao módulo Visual Basic, já iniciando o processo de cálculo da rede dentro do ambiente do VB.

## 8.10. Traçar Perfil

O programa UFC9 traça perfis dos trechos do seguinte modo:

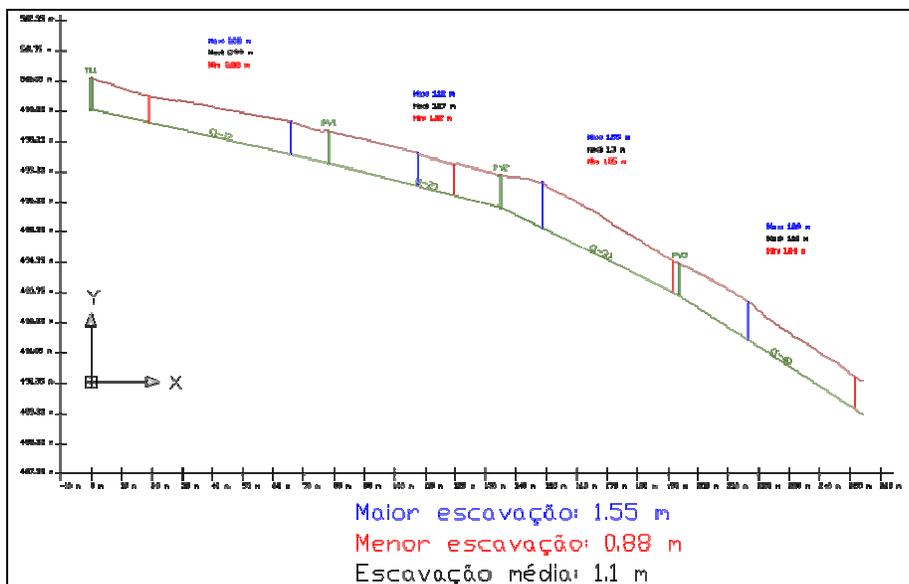
Uma rede de esgoto possui os tubos: (1-1), (1-2), (1-3), (2-1), (2-2) e (3-1). O perfil dos tubos de número de coletor 1 será o perfil dos tubos (1-1), (1-2) e (1-3), o perfil dos tubos de número de coletor 2 será o perfil dos tubos (2-1) e (2-2), nesta seqüência.

Para traçar o perfil dos trechos de um coletor clique no ícone correspondente e em seguida em qualquer dos trechos do coletor, conforme a figura a seguir.



Após o procedimento anterior, o UFC9 solicita ao usuário aguardar enquanto as cotas do terreno são calculadas. O programa cria um arquivo que possui o nome da rede e a terminação "-T1", no caso de ser o coletor 1, salvando este arquivo no mesmo diretório do arquivo o qual está sendo traçado o perfil. O arquivo possui extensão ".scr", que é um arquivo de *script* do AutoCAD.

Um novo arquivo novo do AutoCAD é aberto e o arquivo de SCRIPT é iniciado, ficando a cargo do usuário salvá-lo como um arquivo do AutoCAD ".dwg".



O eixo horizontal indica os comprimentos e o eixo vertical indica as cotas. Cada trecho possui uma linha azul indicando a maior profundidade do trecho e uma linha vermelha indicando a menor profundidade do trecho. Acima de cada trecho possui a indicação das profundidades máxima, média e mínima. Logo abaixo do perfil existem as mesmas indicações, mas estas são do perfil completo.

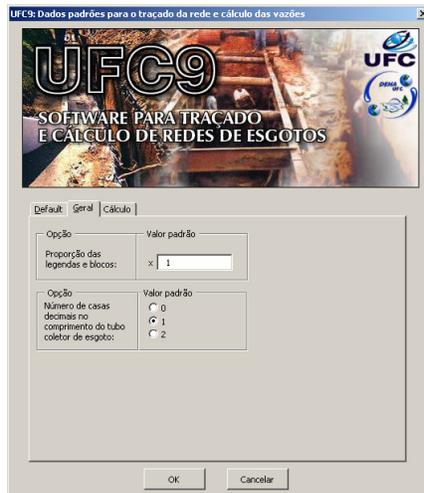
### 8.11. Default

O Default do programa UFC9 é o padrão do programa. Inicialmente o padrão do programa são tubos de PVC com diâmetros de 150 mm, comprimentos medidos com uma casa decimal, o máximo comprimento entre as singularidades estabelecido é de 100m, o recobrimento mínimo é 0,90 m e o tipo de rede é projetada. A escala inicial do programa é de 1 unidade, a altura mínima do tubo de queda é de 50 cm e o degrau mínimo é de 1 cm.

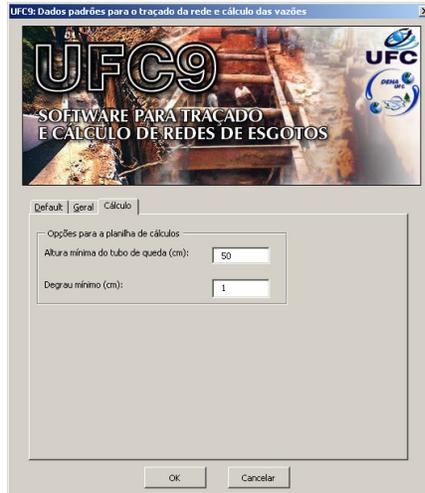
Se o usuário desejar iniciar o traçado do seu projeto com os parâmetros diferentes do padrão, ele deve clicar no ícone de Default, que apresenta a seguinte caixa de diálogo:



Na aba inicial do Default o usuário pode modificar itens como material dos tubos (a tela de Default mostra o coeficiente de Manning do material), diâmetro mínimo dos tubos, tipo de rede (projetada ou existente), recobrimento mínimo e distância máxima entre as singularidades.



Na aba geral do Default pode-se modificar parâmetros como a proporção das legendas e blocos e o número de casas decimais no comprimento do tubo.

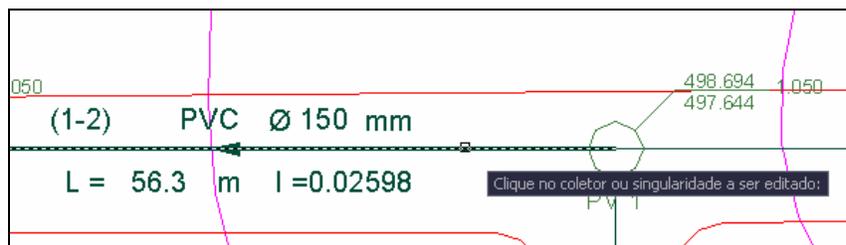


A aba de cálculo do Default possui opções para a altura mínima do tubo de queda e o valor mínimo para o degrau.

Depois de definidos os padrões do UFC9 deve-se clicar em OK e traçar o desenho. Se o botão cancelar for clicado, os valores padrão do UFC9 continuam a ser adotados.

### 8.12. Editar

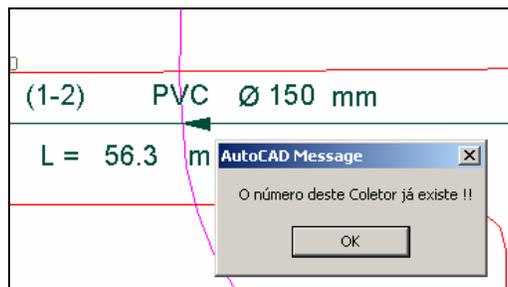
Depois de traçada a rede, o usuário tem a opção de modificar alguns tubos ou singularidades da rede, para isso ele pode usar o botão Editar. Para utilizar essa função basta clicar no ícone correspondente e selecionar o objeto desejado.



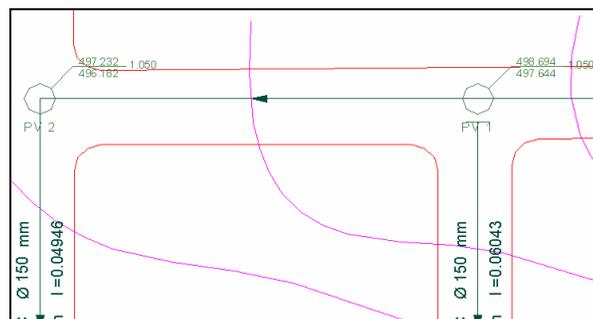
Neste caso o objeto a ser editado é um tubo coletor de esgoto. Para editá-lo deve-se clicar na linha representando o tubo, que apresenta a seguinte caixa de diálogo:



Na tela inicial do editar de um tubo aparecem os dados do tubo, se o usuário não deseja modificá-los, basta clicar em cancelar. Se for escolhido um número de coletor e trecho já existente, o programa não efetua a mudança.



Caso o usuário queira esconder a legenda do tubo, basta marcar a opção esconder legenda e clicar em OK, fazendo com que o tubo fique de acordo com a próxima figura. Para mostrar novamente a legenda do tubo basta seguir os mesmos passos e desmarcar a opção esconder legenda.



Para editar singularidades, deve-se clicar no botão Editar e clicar na singularidade a ser editada. Como exemplo, as caixas de diálogo para editar um PV e um TIL são apresentadas. A caixa para editar um PV é mostrada a seguir:



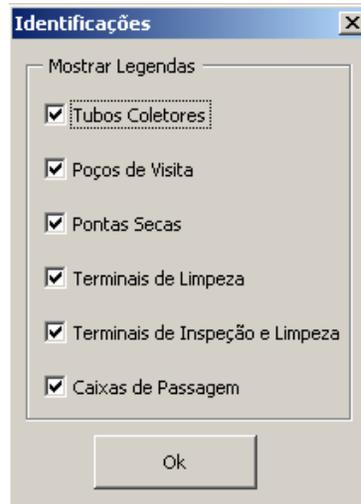
Pode-se modificar número do PV, escala, vazões concentradas, posição da legenda ou ocultar a legenda. Estas modificações podem ser feitas para PV's e TL's.

Para TIL's e CP's não existem vazões concentradas, aparecendo a seguinte caixa de diálogo:



### 8.13. Mostrar Legendas

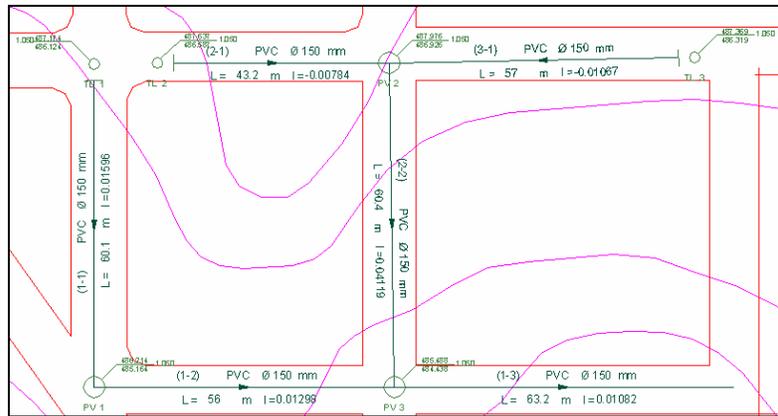
Caso o usuário queira ocultar as legendas de todos os tubos, de uma singularidade ou todas as legendas, o programa UFC9 tem uma opção que esconde a "layer" das legendas utilizadas. Para utilizar basta clicar no ícone correspondente, que exibe a seguinte caixa de diálogo.



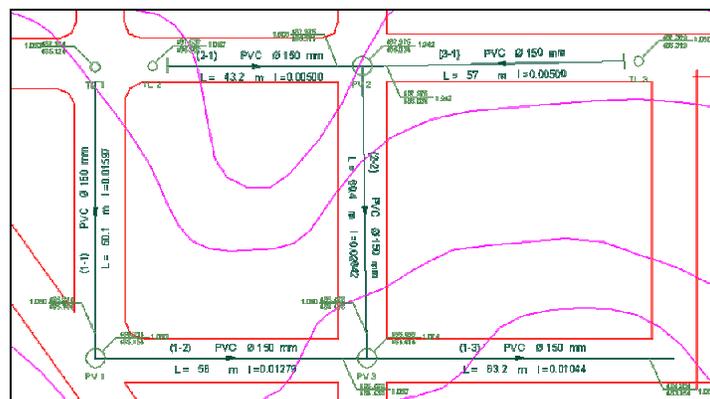
### 8.14. Refazer a rede

Depois que a rede tiver sido traçada e calculada, o usuário pode clicar no ícone para refazer a rede. Quando esta função é acionada, uma mensagem para que o usuário aguarde é exibida e a rede começa a ser modificada de acordo com os cálculos feitos no módulo Visual Basic. Os atributos dos blocos dos tubos e das singularidades começam a ser modificados e o bloco para indicação do ponto de jusante do coletor é inserido.

A figura a seguir exibe uma pequena rede antes de ser calculada.



Após ser calculada a rede e ser clicado no botão para recalculá-la, a rede é refeita e os blocos de identificação do ponto de jusante dos coletores são inseridos, também podendo ser editados para modificar escala e posição, conforme a ilustra a figura a seguir.



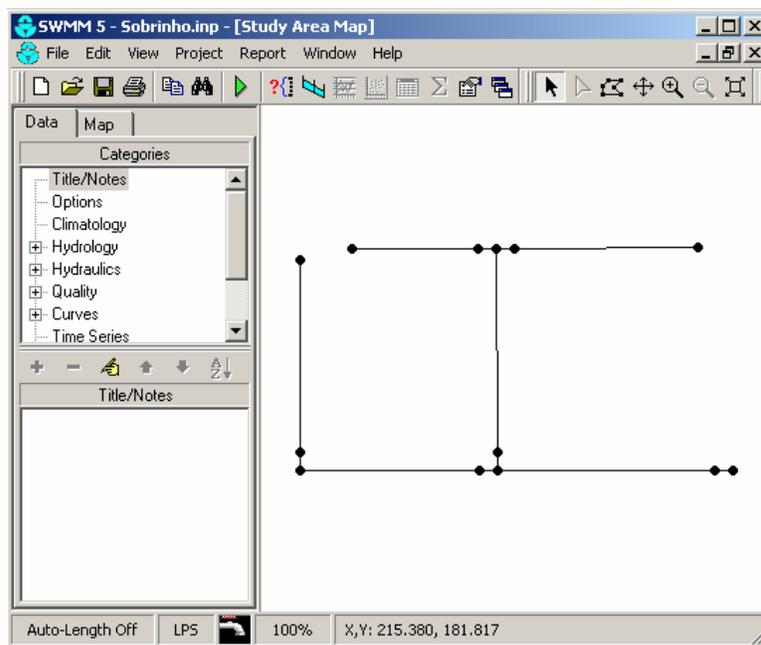
### 8.15. Simular em SWMM

Depois que a rede foi calculada e refeita, o usuário pode acionar a simulação do projeto utilizando o software “Storm Water Management Model” (SWMM), produzido pelo órgão de proteção ambiental americano: Environmental Protection Agency (EPA).

Para realizar esta simulação, o usuário deve clicar no ícone correspondente, o programa UFC9 cria o arquivo de entrada do SWMM na pasta do arquivo do AutoCAD no qual foi desenhada a rede com o nome do arquivo da rede e extensão “.inp”, que é a extensão do programa SWMM.

Depois de criado o arquivo, o UFC9 abre o programa SWMM. O usuário deve abrir o arquivo desejado e está pronto para fazer a simulação utilizando o programa SWMM.

A imagem a seguir é uma rede no programa SWMM.



Os nós no programa SWMM são representações das singularidades, pontas secas ou blocos de coletor de jusante. As propriedades dos nós indicam qual é a singularidade e informa se ela representa uma singularidade, uma ponta seca ou um bloco de coletor de jusante.

As propriedades de uma singularidade, um bloco de coletor de jusante, uma ponta seca e um tubo são mostradas, respectivamente, nas figuras que se seguem.

Junction 2	
Property	Value
Name	2
X-Coordinate	146.531
Y-Coordinate	159.208
Description	
Tag	EV2
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert EL	486.048
Max. Depth	2.001
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
Optional category or classification	

Junction 10	
Property	Value
Name	10
X-Coordinate	141.531
Y-Coordinate	159.208
Description	
Tag	EV2
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert EL	486.394
Max. Depth	1.655
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
Optional category or classification	

Junction 3	
Property	Value
Name	3
X-Coordinate	106.878
Y-Coordinate	159.208
Description	
Tag	TL2-PS
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert EL	486.607
Max. Depth	1.05
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Ponded Area	0
Optional category or classification	

Conduit 5	
Property	Value
Name	5
Inlet Node	3
Outlet Node	10
Description	
Tag	21
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	1
Length	42.7
Roughness	0.010
Inlet Offset	150
Outlet Offset	150
Initial Flow	0.266
Maximum Flow	0.631
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Optional category or classification	

## 9. PROGRAMA UFC9 – MÓDULO VISUAL BASIC

O programa UFC9 – Módulo Visual Basic, em sua versão 1.2, é bastante simples e fácil de se utilizar. Primeiramente será apresentado o menu principal, em seguida a barra de ferramentas com seus respectivos ícones.

A figura a seguir representa a tela inicial do UFC9.

The screenshot shows the main window of the UFC9 software. The title bar reads 'UFC9 - Software para traçado e cálculo de redes de esgotos'. The menu bar includes 'Arquivo', 'Modificar', 'Dimensionamento', 'Exibir', 'Exportar', and 'Ajuda'. The main area contains a table with the following columns: Trecho, Sing. Mon., Sing. Jus., Comprim. (m), CTM (m), CTJ (m), CCM (m), CCJ (m), Prof. Mon (m), Prof. Jus. (m), Diâmetro (mm), Declividade (mm), Q conc. ini (l/s), and a status column. The table lists various pipe segments with their respective dimensions and properties.

Trecho	Sing. Mon.	Sing. Jus.	Comprim. (m)	CTM (m)	CTJ (m)	CCM (m)	CCJ (m)	Prof. Mon (m)	Prof. Jus. (m)	Diâmetro (mm)	Declividade (mm)	Q conc. ini (l/s)	
(1-6)	PV6	Fim	20	243.850	243.800	242.117	242.017	1.733	1.783	150	0.00500	0.0000	C
(1-5)	PV6	PV6	15	243.860	243.850	242.768	242.693	1.092	1.157	150	0.00500	0.0000	C
(1-4)	PV4	PV5	30	244.000	243.860	242.939	242.789	1.061	1.071	150	0.00500	0.0000	C
(1-3)	PV3	PV4	65	247.180	244.000	244.086	242.950	3.114	1.050	150	0.01717	0.0000	C
(1-2)	PV2	PV3	35	248.000	247.180	244.252	244.077	3.748	3.103	150	0.00500	0.0000	C
(1-1)	PV1	PV2	55	247.530	248.000	244.547	244.272	2.983	3.728	150	0.00500	0.0000	C
(2-2)	PV8	PV1	41	245.830	247.530	244.763	244.558	1.067	2.972	150	0.00500	0.0000	C
(2-1)	TL7	PV8	71	251.410	245.830	250.360	244.780	1.050	1.050	150	0.07859	0.0000	C
(3-3)	PV11	PV8	74	247.800	245.830	246.185	244.780	1.615	1.050	150	0.01899	0.0000	C
(3-2)	PV10	PV11	13	247.320	247.800	246.250	246.185	1.070	1.615	150	0.00900	0.0000	C
(3-1)	PV9	PV10	27	248.860	247.320	247.810	246.270	1.050	1.050	150	0.05704	0.0000	C
(4-2)	PV9	PV1	48	248.860	247.530	247.800	246.480	1.060	1.050	150	0.02750	0.0000	C
(4-1)	TL12	PV9	39	250.990	248.860	249.940	247.810	1.050	1.050	150	0.05462	0.0000	C
(5-1)	TL13	PV10	50	254.820	247.320	253.770	246.270	1.050	1.050	150	0.15000	0.0000	C
(6-2)	PV15	PV10	31	253.810	247.320	252.760	246.270	1.050	1.050	150	0.20935	0.0000	C
(6-1)	PV14	PV15	55	256.420	253.810	255.370	252.760	1.050	1.050	150	0.04745	0.0000	C
(7-1)	TL16	PV15	35	256.730	253.810	255.680	252.760	1.050	1.050	150	0.08343	0.0000	C
(8-3)	PV18	PV2	38	251.930	248.000	250.870	246.950	1.060	1.050	150	0.10316	0.0000	C
(8-2)	PV14	PV18	41	256.420	251.930	255.370	250.880	1.050	1.050	150	0.10951	0.0000	C
(8-1)	TL17	PV14	35	258.730	256.420	257.680	255.370	1.050	1.050	150	0.06800	0.0000	C
(9-2)	PV20	PV3	47	251.000	247.180	249.055	246.130	1.945	1.050	150	0.06223	0.0000	C
(9-1)	PV19	PV20	35	253.470	251.000	252.420	249.950	1.050	1.050	150	0.07057	0.0000	C
(10-3)	PV22	PV20	18	250.210	251.000	249.145	249.055	1.065	1.945	150	0.00900	0.0000	C
(10-2)	PV21	PV22	38	252.390	250.210	251.330	249.160	1.060	1.050	150	0.05711	0.0000	C
(10-1)	PV19	PV21	15	253.470	252.390	252.420	251.340	1.050	1.050	150	0.07200	0.0000	C
(11-3)	PV25	PV5	85	247.000	243.860	245.950	242.810	1.050	1.050	150	0.03694	0.0000	C
(11-2)	PV24	PV25	60	248.510	247.000	247.450	245.950	1.060	1.050	150	0.02500	0.0000	C
(11-1)	TL23	PV24	30	251.330	248.510	250.280	247.460	1.050	1.050	150	0.09400	0.0000	C
(12-4)	PV29	PV6	43	244.260	243.850	242.344	242.129	1.936	1.721	150	0.00500	0.0000	C
(12-3)	PV28	PV29	60	245.680	244.260	242.654	242.134	1.036	1.936	150	0.00500	0.0000	C
(12-2)	PV27	PV28	36	243.910	245.680	242.846	242.656	1.064	3.014	150	0.00500	0.0000	C
(12-1)	TL26	PV27	45	245.870	243.910	244.820	242.860	1.050	1.050	150	0.04356	0.0000	C
(13-1)	TI 30	PV28	41	247.000	245.680	245.950	244.630	1.050	1.050	150	0.03220	0.0000	C

## 10. O MENU PRINCIPAL DO UFC9 – MÓDULO VISUAL BASIC

O menu principal é dividido em:

- Arquivo;
- Modificar;
- Dimensionamento;
- Exibir;
- Exportar;
- Ajuda.

### 10.1. Menu Arquivo

O menu arquivo é dividido em 2 itens: salvar e sair.

**SALVAR**: salvar o arquivo de saída em qualquer pasta desejada. Esta opção tem como finalidade armazenar arquivos de saída como "backup".

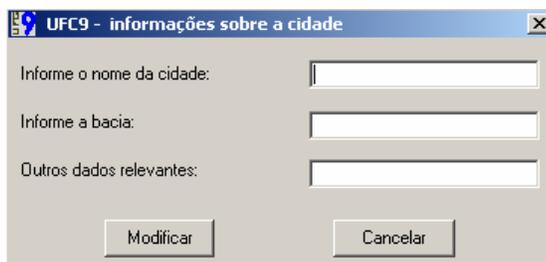
**SAIR**: esta opção sai do UFC9 sem criar o arquivo de saída necessário para que a rede seja redesenhada.

### 10.2. Menu Modificar

O menu modificar é dividido em 4 itens. Neste menu é possível efetuar modificações nos parâmetros dos tubos, vazões concentradas, cabeçalho da planilha, etc.

O importante deste menu é saber que as opções só surtem efeito ao se recalcular a rede. Outro aspecto a se destacar é o fato de, nos casos das modificações dos parâmetros dos tubos e as vazões concentradas, apenas um trecho pode ser modificado por vez.

**CABEÇALHO DA PLANILHA**: esta opção visa modificar o cabeçalho da planilha que pode ser exportada para um arquivo do Excel ou de texto. Isto é útil para diferenciar os cálculos de acordo com cada projeto, dando-lhes os nomes da cidade, bacia e outro dado relevante, como mostra a figura a seguir.



UFC9 - informações sobre a cidade

Informe o nome da cidade:

Informe a bacia:

Outros dados relevantes:

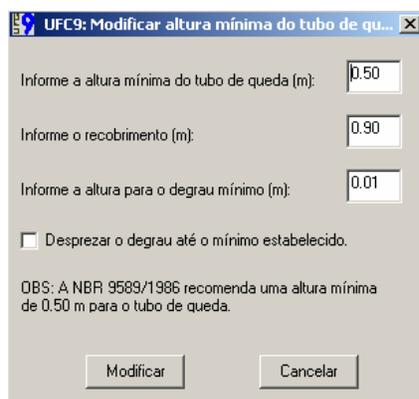
Modificar Cancelar

**TUBO DE QUEDA, DEGRAU MÍNIMO E RECOBRIMENTO:** embora a NBR 9649/1986 recomende uma altura mínima do tubo de queda de 0,50 m e um recobrimento mínimo de 0,90 m, o projetista pode se ver diante de outras possibilidades.

Nesta opção o usuário pode escolher a altura mínima do tubo de queda (recomenda-se não ser inferior à 0,50 m), o recobrimento mínimo de projeto, o degrau mínimo a ser adotado e se o programa deve desprezar o degrau mínimo até que o mesmo não seja atingido nos cálculos.

Com esta opção marcada, se nos cálculos o degrau for menor que o mínimo estabelecido (exemplo 1 cm), este degrau é desprezado. Caso contrário, ele retorna o degrau mínimo.

A figura a seguir ilustra esta caixa de diálogo com as opções.



**MATERIAL, DIÂMETRO MÍNIMO E CONTRIBUIÇÃO:** neste menu o usuário pode fazer as modificações que julgar necessário em um trecho da rede por vez. Ele seleciona o trecho desejado, e pode modificar o material do trecho, o diâmetro mínimo do mesmo e o respectivo tipo de contribuição (bilateral, unilateral ou sem contribuição).

A figura a seguir ilustra esta caixa de diálogo com as opções.



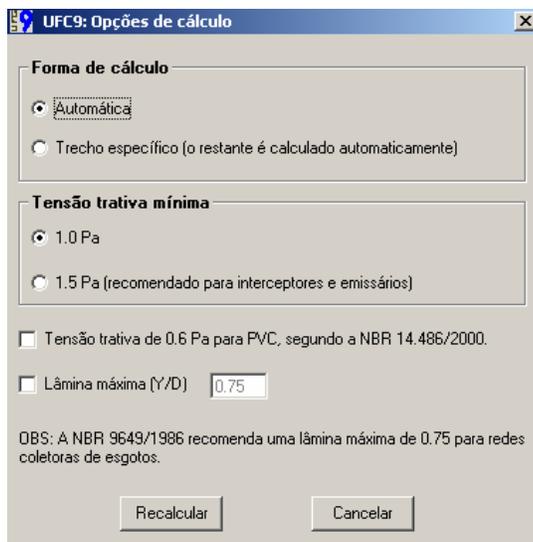
**VAZÕES CONCENTRADAS:** nesta opção o usuário entra com as vazões concentradas (se for o caso) em determinados trechos da rede. As vazões devem ser em L/s e, novamente, as modificações são feitas em um trecho de cada vez. Após escolhido o trecho desejado, entra-se com as vazões concentradas de início e fim de plano nas caixas de texto correspondentes.



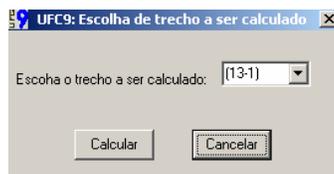
### **10.3. Menu Dimensionamento**

O menu dimensionamento é dividido em 2 itens: opções de cálculo e recalculer a rede. Este último não possui caixa de diálogo e deve ser acionado caso o usuário tenha realizado alguma modificação.

O primeiro é onde se encontra as diversas opções para o cálculo da rede. A figura a seguir representa a tela de opções de cálculo.



**OPÇÕES DE CÁLCULO:** primeiramente pode-se escolher entre a forma automática e a manual, sendo a primeira a opção padrão do UFC9. A primeira não tem interferência do usuário, já na segunda o projetista tem a possibilidade de calcular o trecho que deseja efetuar as modificações, de acordo com a figura abaixo.



Logo após clicar em Calcular, a tela de cálculo manual é mostrada na conforme a figura a seguir.

Trecho	Singularidade	Cota Terreno (m)		Comprimento (m)	Taxa de Contr. lin. (l/s Km)		Vazão trecho (l/s)	Diâm. (mm)	Material	Decliv. (m/m)	Cota Coletor (m)		Prof. Colet. (m)	Lâmina Líquida (Y/D)	Vi (m/s)	Vc. (m/s)	Tens. Trat. (Pa)
		Montante	Mont.		Inicial	Inicial					Mont.	Mont.					
(4-1)	TL12	250.99	Jus.	39	0.00190	0.0741	150	PVC	0.05462	249.940	1.050	0.12	1.2	2.03	6.346		
	PV9	248.86	Jus.		0.00363	0.1415					247.810	1.050					

Coefficiente de Manning:

Buttons:

Nesta tela, pode-se modificar o diâmetro, a declividade e/ou profundidades. À medida que um parâmetro é mudado, os outros são calculados automaticamente e exibidos na tela.

Ao se cancelar o cálculo de trecho por trecho, o UFC9 cancela todas as mudanças feitas em trechos anteriores.

Há duas tensões trativas mínimas que podem ser escolhidas: 1,0 Pa (para redes coletoras de esgoto) e 1,5 Pa (recomendado para interceptores e emissários). Os cálculos para tensão são baseados nesta opção.

A NBR 14486/2000 traz uma tensão trativa mínima de 0,6 Pa para tubos de PVC. Se esta opção estiver marcada, os trechos de PVC serão calculados para uma tensão trativa mínima de 0,6 Pa, enquanto os outros trechos serão calculados de acordo com a tensão trativa desejada de 1,0 ou 1,5 Pa.

Outra caixa de texto importante é a de lâmina máxima permitida. O projetista pode ajustar de acordo com a necessidade do projeto. Embora, a NBR 9649/1986 recomende uma altura máxima de 75% do diâmetro, em interceptores normalmente adota-se uma lâmina máxima de 85% do diâmetro do tubo.

O botão recalcular tem o mesmo efeito do item "Recalcular a rede".

#### **10.4. Menu Exibir**

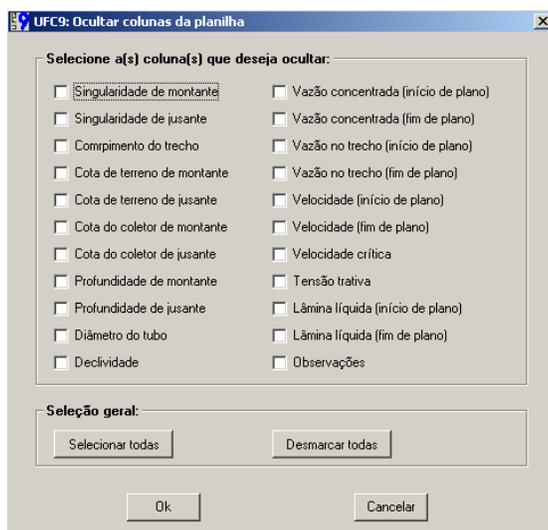
Tem como finalidade ocultar ou mostrar informações no ambiente do UFC9.

**BARRA DE FERRAMENTAS**: oculta/exibe a barra de ferramentas, que se localiza logo abaixo do menu principal.

**BARRA DE STATUS**: oculta/exibe a barra de status, que se localiza na parte inferior da tela, onde são mostradas a data e hora do computador.

**OCULTAR/EXIBIR COLUNAS DA PLANILHA:** oculta/exibe as colunas que o usuário desejar, de modo que apenas as que interessarem sejam apresentadas na planilha.

A figura a seguir representa a tela de ocultar/exibir as colunas da planilha.



**RESUMO DA REDE:** esta tela mostra um resumo da rede, apresentando a extensão total da mesma, o número de trechos e de singularidades.

A figura a seguir representa a tela de resumo da rede.



## 10.5. Menu Ajuda

**MANUAL DO UFC9**: ao clicar-se neste botão, este manual do UFC9 é apresentado. Onde o usuário pode tirar dúvidas em relação ao programa.

**SITE DO UFC9**: ao clicar-se neste botão, o usuário será redirecionado ao site do UFC9, que consta de várias informações do programa, como cursos, atualizações, dicas, etc.

**SOBRE**: exibe a tela onde ficam os créditos do programadores do UFC9.

## 11. APRESENTAÇÃO DOS BOTÕES UFC9 – MÓDULO VISUAL BASIC

O UFC9 (módulo VB) possui os seguintes botões em seu menu.



**“Salvar arquivo”** – Salva o arquivo de saída em uma pasta desejada.



**“Opções de cálculo”** – Abre a tela de opções de cálculo.



**“Recalcular a rede”** – Refaz os cálculos da rede (necessário se alguma mudança for efetuada).



**“Resumo da rede”** – Exibe o resumo da rede.



**“Exporta para o AutoCAD”** – Exporta o arquivo para o AutoCAD, para que a rede possa ser redesenhada.



**“Exporta para o Excel”** – Exporta o arquivo com o dimensionamento da rede para o Excel, onde o projetista poderá imprimir ou formatar a planilha de acordo com suas preferências.



**“Exporta para .txt”** – Exporta o arquivo de dimensionamento da rede para um arquivo de texto com extensão .txt. Este arquivo pode ser aberto com o bloco de notas ou programa similar, onde o projetista poderá imprimir ou formatar a planilha de acordo com suas preferências.



**“Manual do UFC9”** – Abre o arquivo que contém este manual.



**“Ocultar/exibir colunas da planilha”** – Abre a caixa de diálogo permitindo ao usuário ocultar ou exibir as colunas da planilha de cálculos.