

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

KLEBER ELIAS COSTA

**OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM
AMBIENTE SIG**

Goiânia
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

KLEBER ELIAS COSTA

**OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM
AMBIENTE SIG**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da Escola
de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás,
como parte das exigências para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.**

**Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental**

**Orientador: Prof. Klebber Teodomiro Martins Formiga,
Ph.D.**

**Goiânia - Go
2010**

C8233 Costa, Kleber Elias.

Otimização econômica de redes de distribuição de água em ambiente SIG /
Kleber Elias Costa. – Goiânia : Universidade Federal de Goiás, 2010.
148 f. : il.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga.

1. Recursos hídricos. 2. Saneamento ambiental. I. Título.

CDU 363.72

KLEBER ELIAS COSTA

**OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM
AMBIENTE SIG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente, aprovada em 03 de setembro de 2010, pela banca examinadora, composta pelos seguintes professores:

Prof. Klebber Teodomiro Martins Formiga, Ph. D.
Presidente da Banca – UFG

Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph. D. (PPGEMA/UFG)

Prof. Antônio Farias Leal, Ph. D. (UFCG)

Dedico este trabalho à minha querida esposa Rejane, ao meu filho Israel, às minhas filhinhas Yasmin, Sue Yang e Harumi, à minha mãe Ziná, ao meu pai, cujo nome eu desconheço, e aos meus pais do coração, José Rocha e Maria Lúcia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Jeová Deus, nosso Criador, que tem cuidado de mim e me dado forças para prosseguir nos momentos mais difíceis.

Agradeço à minha família que tanto me apoiou, muitas vezes sacrificando seus próprios interesses para me ajudar e sendo tolerantes comigo.

Sou muito grato ao Professor Dr. Klebber T. M. Formiga, inicialmente só meu orientador, mas que, com o tempo, revelou-se meu grande amigo, pela paciência, confiança, competência, dedicação, compreensão e profissionalismo que demonstrou.

Agradeço à Universidade Federal de Goiás – UFGO e a todos os professores do PPGEMA que me acolheram tão bem e disponibilizaram equipamentos e bibliotecas para minhas pesquisas. Agradeço à direção do IFG que me deu total apoio para que eu tivesse condições de realizar este almejado sonho. Agradeço particularmente aos professores Paulo César Pereira, Edson Manso, Nilton Ricetti, Nilson C. Ferreira, Giovanni de Araújo Bonggione, Marta Helena, Valdeir de Paula e Hostílio Maia que de diversas formas me ajudaram e apoiaram.

Agradeço ao Professor Edio Cardoso de Paiva, que com ética, humanidade e profissionalismo me ensinou a lutar pelos ideais. Agradeço ao colega Júlio Mota do Nascimento que me deu o impulso quando eu vacilei. Também agradeço de coração às minhas amigas Roberta Mara, Annyella Kássia e Domício Moreira que me deram apoio e incentivo. Sou muito grato também à Deuzélia, secretária do PPGEMA, que com competência cuidou bem de todos nós. Agradeço aos meus colegas do mestrado que, com companheirismo e espírito fraterno, estiveram comigo nestes dois anos.

COSTA, Kleber Elias (2010). **Otimização Econômica de Redes de Distribuição de Água em Ambiente SIG**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. 148p.

RESUMO

Nas últimas décadas tem havido um crescente interesse na otimização de projetos de redes de distribuição de água. Isto é fruto da premente necessidade de se economizar o dinheiro público e, especialmente, aproveitar bem a água, este recurso tão precioso, escasso e inacessível em muitas regiões do mundo. Diante deste cenário, muitas rotinas de otimização de redes de distribuição de água têm sido utilizadas, sendo uma delas o Método de Granados. Este método foi desenvolvido por Alfredo Granados, em 1990, e proporciona o custo mínimo de uma rede de distribuição de água, considerando a variação do preço das tubulações em função de seus tipos, classes e diâmetros. Uma das ferramentas modernas que tem servido de suporte para o projeto de redes de distribuição de água é o software livre EPANET¹. O EPANET é um simulador do comportamento e da qualidade da água, amplamente usado em sistemas de distribuição sob pressão. O geoprocessamento, por sua vez, tem sido utilizado em muitas áreas, inclusive no desenvolvimento de redes, sejam elas de água, de esgoto, de energia elétrica, de transporte, de telefonia etc. O ArcView GIS² é um software de geoprocessamento que tem bastante aceitação por pesquisadores e projetistas no mundo todo. O EPANET pode trabalhar integrado ao geoprocessamento através da instalação do software DC WATER³. Desta forma, pode-se executar o simulador hidráulico EPANET dentro do ambiente do ArcView GIS. Através deste trabalho, desenvolveu-se uma rotina computacional baseada numa adaptação do método de otimização de Granados, dentro do software de geoprocessamento ArcView GIS, integrado ao EPANET por meio do DC Water. Esta rotina possibilita, de forma automatizada, a realização de diversas simulações de implementação de diâmetros, analisando suas perdas de carga e a pressão resultante nos nós, a fim de se contribuir para a produção de uma rede de abastecimento de água otimizada.

Palavras-chave: EPANET, DC WATER, ArcView GIS, otimização, geoprocessamento, Granados.

¹ U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)

² “Environmental Systems Research Institute” - ESRI

³ “Dorsch Gruppe”

COSTA, Kleber Elias (2010). **Economic Optimization of Water Distribution Network in GIS Environment**. Master's Thesis, School of Civil Engineering, Federal University of Goiás, Goiânia, 2010. 148p.

ABSTRACT

In the last decades there has been an increasing interest in the optimization of water distribution networks projects (LANSEY, 2006). This is the result of an urgent need to save public money, and especially to make good use of water, this precious resource, scarce and inaccessible in many parts of the world. In this scenario, many optimization routines of water distribution networks have been used. One of these routines is the Granados' Method, which was developed by Alfredo Granados, in 1990, and provides the minimum cost of a water distribution network, considering the change in the price of the pipes according to their types, classes and diameters. One of the modern tools that have been used as a support to the project of water distribution networks is the free software EPANET, which is a simulator of the behavior and quality of the water, widely used in distribution systems under pressure. Geoprocessing, in turn, has been used in many areas, including the development of networks, be they water, sewer, electricity, transport, telephone etc. The ArcView GIS is a software that is widely accepted by researchers and designers worldwide. The EPANET integrated with the software ArcView GIS can work together through the installation of the software DC Water. Thus, we can run the hydraulic simulator EPANET within the environment of ArcView GIS. Through this work, we developed a computational routine based on Granados' optimization method, within the geoprocessing software ArcView GIS, integrated with EPANET through the DC Water. This routine allows, in an automated way to carry out several simulations of diameters implementation, analyzing the energy losses and the resulting pressure on knots, in order to contribute to the production of an optimized water supply network.

Keywords: EPANET, DC WATER, ArcView GIS, optimization, geoprocessing, Granados.

Sumário

CDU 363.72.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.1.1 Demandas Regionais de Água.....	14
1.1.2 Os altos custos das redes de distribuição de água.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo Geral.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....	18
2.1.2 Feição.....	21
2.1.3 Modelo de Dados Vetorial.....	23
2.1.4 Modelo de Dados Raster.....	24
2.1.5 Layer.....	24
2.1.6 Redes.....	25
2.1.6.1 Representação de redes num Sistema de Informação Geográfica.....	28
2.2 GEOPROCESSAMENTO.....	29
2.3 ESTRUTURA DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	30
2.3.1 Captação de água.....	30
2.3.2 Adutoras.....	31
2.3.3 Estações Elevatórias.....	32
2.3.4 Reservatórios.....	32
2.4 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	33
2.4.1 Considerações no projeto de redes de distribuição de água.....	37
2.4.2 Dimensionamento de Redes de Distribuição.....	38
2.5 OTIMIZAÇÃO DE PROJETO DE REDES.....	40
2.5.1 Algoritmos Genéticos.....	41
2.5.2 O Método Granados.....	43
2.5.2.1 Primeira etapa: Método da Velocidade Máxima Admissível.....	44
2.5.2.2 Segunda etapa: Sequência de Iterações.....	47
2.5.3 Dimensionamento ótimo de uma rede malhada a partir do Método do Seccionamento Fictício aliado à solução prévia do Método Granados.....	48
3 METODOLOGIA.....	54
3.1 EQUIPAMENTO UTILIZADO.....	55
3.2 SOFTWARES UTILIZADOS.....	55
3.2.1 EPANET.....	56
3.2.2 ArcView GIS.....	58
3.2.3 Linguagem de programação “Avenue”.....	59
3.2.4 DC Water.....	60
3.3 CRIAÇÃO DA ESTRUTURA DA REDE.....	61
3.4 REDES UTILIZADAS NA APLICAÇÃO.....	64
3.4.1 Rede Dois Anéis (Two-Loop).....	65
3.4.2 Rede do bairro do Bessa.....	67
3.5 BASE DE DADOS.....	72
3.5.1 Tabelas com criação automática por ocasião da inclusão dos temas.....	73
3.5.2 Tabelas auxiliares à execução da rotina de otimização criadas pelo usuário.....	78
3.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO.....	79

3.6.1 Solução prévia	79
3.6.2 Número de iterações.....	80
3.6.3 Os scripts do DC Water.....	80
3.6.4 O Script “Master”.....	84
3.6.5 Etapas do método de otimização.....	85
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
4.1 REDE DOIS ANÉIS (TWO-LOOP).....	92
4.1.1 Comparação entre os resultados do processamento da rede Dois Anéis.....	99
4.2 REDE BESSA.....	108
5 CONCLUSÕES.....	128
5.1 SOFTWARES.....	128
5.2 GEOPROCESSAMENTO.....	129
5.3 ROTINA DE OTIMIZAÇÃO.....	129
5.4 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	130
REFERÊNCIAS.....	131
ANEXO I: Script da Rotina Master.....	137

1 INTRODUÇÃO

A construção de redes de distribuição de água traz consigo muito progresso. Valoriza a região onde são instaladas e colabora significativamente para o bem estar, o conforto, a saúde e a elevação da dignidade das pessoas, além de dar condições para a instalação de outros benefícios, tais como escolas, hospitais, indústrias, comércios etc. Em vista disto, é essencial que os projetos de redes de distribuição de água sejam cada vez mais aprimorados de modo que este benefício da engenharia alcance mais e mais pessoas.

O estudo dos diversos detalhes dos projetos de sistemas de distribuição de água e as metodologias para sua segurança, economia e eficiência, bem como uma adequada gestão tem sido um dos propósitos de muitos pesquisadores, engenheiros e profissionais da área ao longo do século passado até os dias atuais.

A Figura 1.1 retrata os períodos em que as pesquisas neste campo foram e têm sido direcionadas. Nesta figura a redução de perdas encontra-se com uma cor diferente para representar uma pesquisa em andamento constante, porém com menor intensidade. Como consequência destas pesquisas, uma abundância de aplicações de otimização tornaram-se disponíveis na literatura científica contemplando diversos aspectos do sistema de distribuição de água, focalizadas na necessidade de economia e qualidade no desenvolvimento de projetos, auxiliadas pela disponibilidade dos computadores pessoais que possibilitam a resolução de problemas complexos (LANSEY, 2006). Observam-se também alguns períodos de alta atividade em relação à otimização. A preocupação com os projetos, por exemplo, sempre recebeu atenção por parte dos profissionais e pesquisadores. A redução de perdas, por sua vez, também foi alvo de interesse durante um longo período, muito embora com menor intensidade, demonstrando

assim que este tema ainda não se constituía numa prioridade, o que é bastante diferente dos tempos atuais, visto que, com o aprimoramento das metodologias hidráulicas, a pesquisa tem sido incrementada levando-se em conta a necessidade cada vez maior que a humanidade tem de gerir satisfatoriamente seus recursos hídricos, evitando desperdícios e utilizando-se bem da água disponível. A confiabilidade, a otimização e a calibração têm recebido grande atenção na década atual, possivelmente por estarem diretamente interligadas quando se tem o propósito de desenvolver um projeto eficiente.

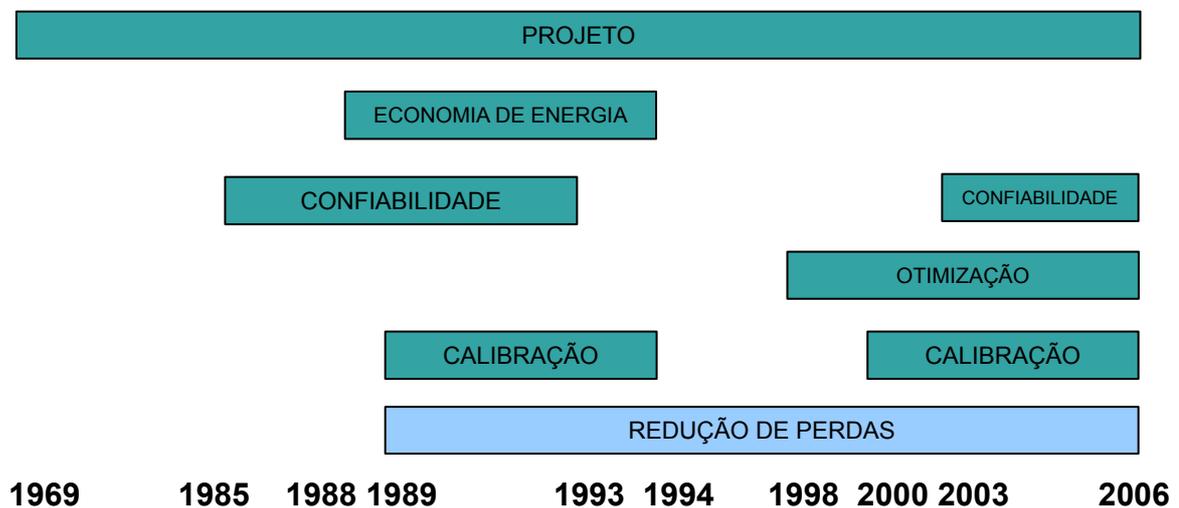


Figura 1.1 – Períodos aproximados de pesquisa com vários aspectos de otimização - Adaptado de Lansey (2006)

Outra ciência que tem recebido grande atenção e tem bastante afinidade com projetos de redes de abastecimento de água é o geoprocessamento. O geoprocessamento é resultado da união do desenvolvimento dos sistemas gerenciadores de banco de dados (SGDB), da cartografia, da matemática e da proliferação dos computadores pessoais que tem viabilizado a especialização de recursos humanos nas diversas áreas da informática e a produção de softwares especializados nas áreas científicas em geral.

A produção de pesquisas sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades imóveis, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, porém, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, conhecidos como dados analógicos, o que impossibilitava um cruzamento de dados eficiente que poderia revelar aspectos interessantes do tema estudado (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001).

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica (SIG), ferramentas computacionais para geoprocessamento, surgiram na década de 1960, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de usar, pois não existiam monitores gráficos de alta resolução e os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada e, conseqüentemente, onerosa. (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001) Estas restrições, porém, foram superadas e a disseminação do geoprocessamento hoje goza de ampla aplicabilidade nas diversas áreas do conhecimento e da pesquisa tornando-se uma ferramenta valiosa para profissionais, estudantes e pesquisadores das mais diferentes áreas.

Através deste trabalho, pretende-se integrar as técnicas do geoprocessamento aplicando uma adaptação do método Granados de otimização de cálculo de redes de distribuição de água, associado ao EPANET, que é um simulador computacional de sistemas de abastecimento de água, com o propósito de agilizar o dimensionamento econômico de redes de distribuição de água.

O método Granados é um algoritmo iterativo de otimização, desenvolvido por Alfredo Granados, em 1990, que proporciona o custo mínimo de uma rede de distribuição

ramificada sob recalque, considerando a variação do preço das tubulações em função de seus tipos, classes e diâmetros (GOMES, 1997).

1.1 JUSTIFICATIVA

Existem vários fatores que justificam a aplicabilidade de um método de otimização nos cálculos de redes de distribuição de água. Dentre eles pode-se citar as demandas regionais de água e os altos custos das redes de distribuição de água.

Uma rede de distribuição de água é composta por um conjunto de partes (reservatórios, sistemas de bombeamento, tubulações etc.) destinadas a conduzir a água do manancial até os pontos de distribuição (nós) das instalações prediais ou aos pontos de consumo público, sempre de forma constante e segura..

1.1.1 Demandas Regionais de Água

O Censo 2000 do IBGE demonstrou que quase 78% dos domicílios são ligados à rede de abastecimento de água, número superior ao encontrado pelo censo anterior, 1989.

Segundo o IBGE⁴, o abastecimento de água constitui uma questão fundamental a ser resolvida pelos riscos que sua ausência ou seu fornecimento inadequado, tal como água não tratada, podem causar à saúde pública. A universalização deste serviço é a grande meta para os países em desenvolvimento. Os números evidenciados pela pesquisa mostram que, no Brasil, a cobertura de abastecimento de água já atingiu um significativo contingente populacional, mas que ainda há margem para melhora.

⁴ <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pdfs/cap01.pdf> Acesso em 24 abr. 2009

Referente a isto, pode-se observar na Tabela 1.1 que boa parte das regiões do Brasil já se beneficia do sistema de abastecimento de água, com exceção da região Norte. A grande demanda de abastecimento de água justifica a otimização dos projetos a fim de se aproveitar melhor os recursos naturais e econômicos disponíveis.

Tabela 1.1 - Cobertura (%) da rede de abastecimento de água nas áreas urbanas Brasil, 1993, 1996, 1999, 2002 e 2005

Regiões	1993	1996	1999	2002	2005
Brasil	89,1	90,6	91,9	91,4	92,0
Norte	70,0	70,0	71,0	64,4	67,2
Nordeste	81,4	86,3	88,8	88,7	90,2
Sudeste	94,8	95,2	96,0	96,3	96,5
Sul	92,7	94,2	95,0	94,9	94,4
Centro-Oeste	81,9	82,5	85,7	85,9	88,1

Fonte: REDE Interagencial de Informação para a Saúde, 2000

Diante de um cenário em que os recursos hídricos são tão escassos e muitas vezes de difícil acesso, cuja qualidade e quantidade encontram-se ameaçadas, é necessário que haja um planejamento adequado desde a coleta e tratamento da água até o seu consumo e descarte para que se possa utilizá-la de forma consciente, evitando o desperdício. Acrescentando-se a isso a perspectiva de crescimento populacional urbano e, conseqüentemente, maior demanda de água, é mister que haja operações eficientes dos sistemas de aproveitamento e de distribuição de água em geral. (CHEUNG, 2003)

1.1.2 Os altos custos das redes de distribuição de água

Os altos custos da implantação das redes de distribuição de água demandam que as soluções adotadas sejam aquelas que, cumprindo as exigências pertinentes para projetos de abastecimento de água, correspondam ao menor custo. Segundo Tisutiya (2005), a rede de

distribuição é o componente de maior custo do sistema de abastecimento de água, compreendendo cerca de 50 a 75% do custo total de todas as obras do abastecimento.

O bom funcionamento de um sistema dependerá, entre outras coisas, da escolha do seu traçado, dos materiais e diâmetros adequados dos condutos, das peças e acessórios utilizados, o que exige uma atenção criteriosa na sua determinação para que haja eficiência aliada à economia de custos, possibilitando melhor aproveitamento dos recursos financeiros e investimentos adicionais em infraestrutura.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é mostrar as vantagens e a aplicabilidade do Sistema de Informações Geográficas como ambiente de otimização de custos de redes de distribuição de água através das técnicas do geoprocessamento, automatizadas por meio da linguagem de programação Avenue, linguagem proprietária do software ArcView GIS⁵, aplicando uma rotina baseada numa adaptação do método de otimização de Granados sobre uma rede de abastecimento de água.

1.2.2 Objetivos Específicos

Através deste trabalho, pretende-se, num ambiente de Sistema de Informações Geográficas, utilizar recursos do geoprocessamento no desenvolvimento e aplicação de uma rotina computacional adaptada do método de otimização de custos de Granados, num projeto

⁵Software de GIS desenvolvido pela empresa “Environmental Systems Research Institute” - ESRI

de redes de abastecimento de água dentro do software de geoprocessamento ArcView GIS⁶, apresentando os resultados em termos do conjunto de diâmetros de menor custo obtidos.

As simulações serão realizadas em duas redes de distribuição de água. A primeira delas é a Rede “Dois Anéis”, proposta por Alperovitz e Shamir (1977) e a segunda rede pertence a um projeto real de 1982, desenvolvida pela CAGEPA para o bairro do Bessa em João Pessoa – PB. (FORMIGA, 1999).

⁶ Copyright ESRI

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG⁷)

Os Sistemas de Informação Geográfica têm sido definidos como o conjunto formado por hardware computacional, técnicas, software e mão-de-obra especializada para a aquisição, manutenção e uso de dados geograficamente referenciados (TOMLIN, 1990).

Os SIG não se constituem apenas num sistema informatizado de produção de mapas; SIG é uma ferramenta de análise que leva em conta a localização através de relacionamentos entre todos os elementos envolvidos e contém mapas de feições, tais como nós, linhas, e polígonos (que representam simplificações dos fenômenos geográficos), juntamente com informação espacial em tabelas com dados topológicos e informações descritivas em tabelas de atributos. O grande diferencial do GIS reside em suas conexões (links) entre dados espaciais e descritivos. (NOBEL e ALLEN, 2000)

Os Sistemas de Informação Geográfica dependem fundamentalmente da qualidade da base de dados para prover uma eficiente resposta às questões suscitadas e para que seja uma ferramenta confiável ao se tomar decisões. Neste respeito, a aquisição dos dados é considerada como a parte mais crítica de desenvolvimento de um SIG, pois envolve tempo, equipamentos, recursos humanos e financeiros (FLORANCE, 2006).

⁷ Neste trabalho utilizar-se-á a sigla GIS (do inglês Geographic Information System) como referência ao Sistema de Informação Geográfica juntamente com o termo em português SIG.

Desde suas origens, por volta de 1960, os SIG têm evoluído rapidamente através dos anos e são extensivamente utilizados em diversos campos e disciplinas. (MUKHERJEE, F., e RINA, G., 2009) Os SIG são amplamente utilizados com o propósito de solucionar problemas e auxiliar nas decisões de questões que envolvam o espaço geográfico. Estes sistemas têm sido aplicados em diversos campos, entre eles pode-se citar a educação, saúde, segurança, meio ambiente e como ferramenta para profissionais de diversas áreas de atuação, tais como exatas, humanas e biológicas. (MILSON e CURTIS, 2009) As possibilidades de aplicações são tão amplas que Dibiase (2007) publicou a Figura 2.1 que mostra as áreas que se beneficiam das ciências da informação geográfica e suas tecnologias.

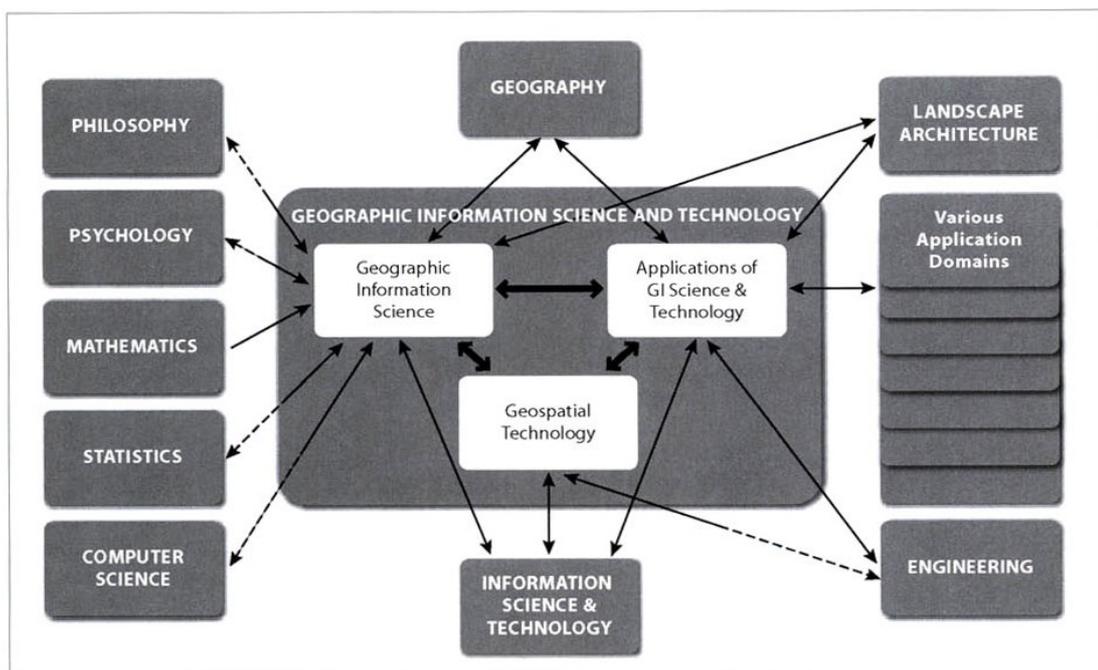


Figura 2.1 – Subdomínios das Ciências da Informação Geográfica e suas tecnologias (DIBIASE, 2007)

A partir do final do século passado (1990), o mundo dos SIG tem evoluído devido a vários fatores como, por exemplo, os potentes chips de memórias e os próprios computadores que têm se tornado mais acessíveis. Pode-se citar ainda os avanços das áreas de aplicação das ciências de informação geográfica e análise espacial, o desenvolvimento de

banco de dados espaciais pelas agências do governo, juntamente com as empresas particulares, a disponibilidade de imagens de satélites de alta resolução, softwares que têm sido desenvolvidos para satisfazer as necessidades específicas da indústria, a Internet que tem se aliado aos SIG e se tornado uma ferramenta poderosa na disseminação e visualização de informações e a disponibilidade do sistema de posicionamento global – GPS.

Diversos especialistas na área de SIG têm emergido dos centros acadêmicos e estes incluem tecnólogos em sensoriamento remoto, tecnólogos em geoprocessamento, cartógrafos, especialistas em dados espaciais e gestores de SIG, além de muitos outros (FLORANCE, 2006).

Muitos softwares de SIG possibilitam a intervenção do usuário, através de alguma linguagem de programação, a fim de adaptar as funções do aplicativo a alguma necessidade específica do usuário que não é contemplada diretamente pelas aplicações, prática esta conhecida popularmente por “customização”. Por exemplo, o ArcView GIS é um software comercial da empresa “Environmental Systems Research Institute” (ESRI), que disponibiliza um módulo para o desenvolvimento de rotinas computacionais na linguagem Avenue (linguagem proprietária da ESRI) que faculta ao usuário final administrar seus dados de uma forma bastante personalizada. Estas rotinas recebem variados nomes de acordo com o software utilizado. Neste caso específico são chamadas de “scripts”.

2.1.1 Elementos da Estrutura dos SIG

Na sua estrutura, os SIG têm administrado os dados espaciais através de layers ou camadas que representam um grupo de feições, em geral do mesmo tipo, com os mesmos atributos ou temas do mundo real. Por exemplo, layer dos recursos hídricos, layer dos limites

políticos, layer das vegetações, layer da drenagem, layer das curvas de nível, layer das rodovias etc. (CHOI et al., 2009)

Um SIG permite realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e utiliza-se de bancos de dados georreferenciados, os quais possibilitam o armazenamento, análise, relacionamento, consultas e recuperação de dados geográficos, atributos temáticos, a criação de uma interface amigável com o usuário, além da produção de relatórios (Figura 2.2).

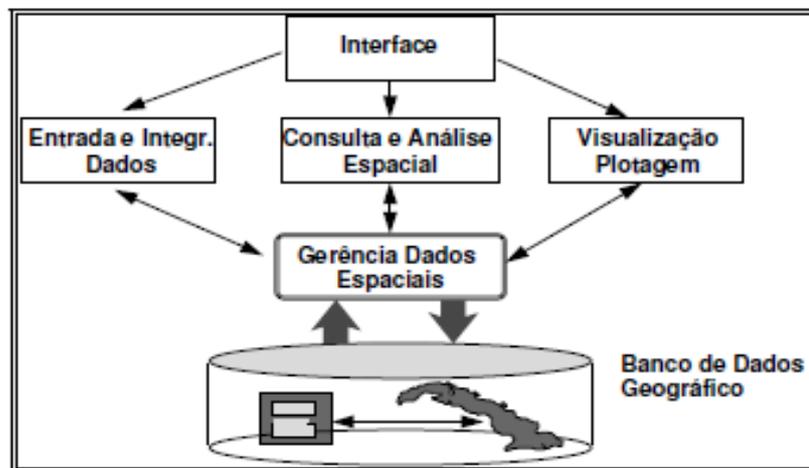


Figura 2.2 - Arquitetura de sistemas de informação geográfica (CASANOVA, 2005)

Um banco de dados é dito georreferenciado quando os dados nele contidos têm uma correspondência com o objeto real representado, particularmente na superfície terrestre, os quais por sua vez são associados a algum sistema de coordenadas geográficas, tal como latitude e longitude.

2.1.2 Feição

O termo feição refere-se a uma entidade geográfica representada no ambiente digital como um objeto e representa a unidade de agregação e análise. (USERY, 1993). Uma feição pode ser caracterizada por diversas propriedades e relacionamentos utilizando-se do

espaço, tema e tempo (Figura 2.3). Estas propriedades podem ser do tipo data, numéricos e alfanuméricos (também conhecidos como Strings), por exemplo. Cada feição é associada a um único identificador numérico, sua chave de identificação e interligação com seus atributos, e é caracterizada por uma única posição, suas coordenadas. Naturalmente que o número de coordenadas depende da feição em si; se for um ponto terá apenas um par de coordenadas, mas se for uma linha ou polígono poderá ter, no mínimo, dois ou três pares de coordenadas respectivamente (Figura 2.4). Porém, a feição pode estar associada a diversas propriedades ou atributos que são os dados descritivos. Desta forma, os SIG têm a capacidade de interligar dados espaciais a dados descritivos, suas propriedades, através de uma chave única de identificação, característica que o torna duplamente interessante.

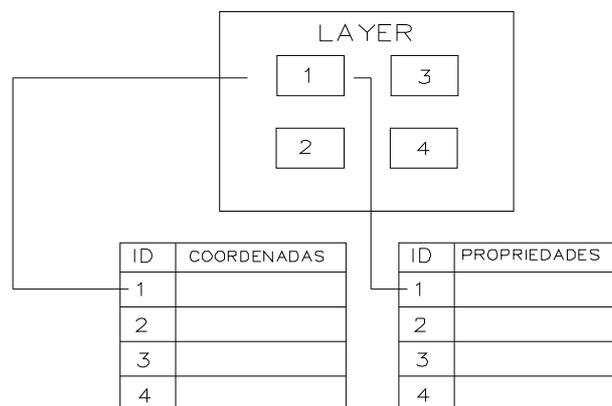


Figura 2.3 – Simplificação do relacionamento de entidades e propriedades nos GIS

As propriedades associadas às feições podem ser armazenadas em uma base de dados. Por exemplo, para uma feição do tipo linha (line) que representa uma tubulação, poder-se-ia cadastrar propriedades tais como comprimento, material de fabricação, classe, diâmetro, fabricante, rugosidade entre outras. Estas feições estão intimamente ligadas ao seu tema. É o caso de feições do tipo polígonos estarem ligados ao tema “solos”, linhas ao tema “tubulação” etc., criando os mapas temáticos.

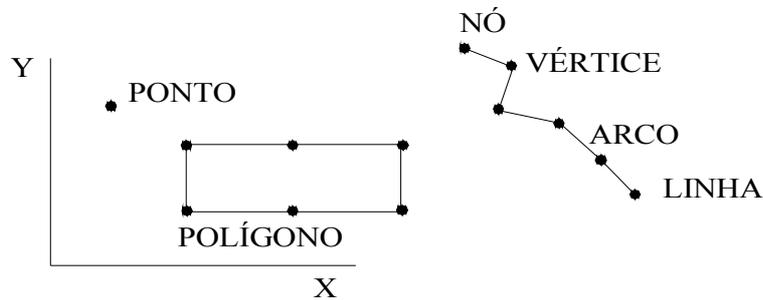


Figura 2.4 – Representação de feições espaciais (ponto, linha, polígono) em um vetor (Adaptado de NATH, S. et al, 2000)

2.1.3 Modelo de Dados Vetorial

Nos SIG o termo vetor refere-se a dados espaciais que são representados por pontos, linhas ou polígonos (Figura 2.4). O ponto é definido por uma simples coordenada, e, vários pontos, podem representar pessoas, cidades e casas, por exemplo (dependendo do propósito a que se destina). Linhas iniciam-se e terminam com um ponto referenciado como nó que podem incluir os vértices e os arcos, que são os segmentos de linhas entre dois vértices. As linhas podem representar tubulações, ruas, rios etc.

Os vetores podem ser utilizados nas bases de dados relacionais, pois uma vez sejam especificadas as feições espaciais, qualquer quantidade de dados pode ser associada com elas. (NATH, S. et al, 2000)

Os polígonos são utilizados para representar áreas fechadas e são formados por várias linhas, sendo que se inicia e termina no mesmo nó e podem representar um reservatório, uma fazenda, uma quadra, um bairro etc. Baseado num sistema de coordenadas,

um vetor possui o endereço espacial de suas feições, que pode ser formado por coordenadas (x,y), (lat, long), por exemplo. Além disso, o vetor possui a topologia relativa das feições, ou seja, a relação que existe entre as posições das feições (conectividade, adjacência, cruzamento, intersecção, proximidade etc.). (NATH, S. et al, 2000)

2.1.4 Modelo de Dados Raster

Nos arquivos raster, também conhecidos como matriciais, o espaço é representado por uma superfície que é dividida numa grade regular de células, pixels (picture cell), sendo que cada célula possui uma coordenada, de acordo com o sistema de referências utilizado, e a cada célula pode-se associar, além das suas coordenadas, um dado numérico, tal como, altitude, densidade populacional, nível de cinza, temperatura, umidade etc. (Figura 2.5)

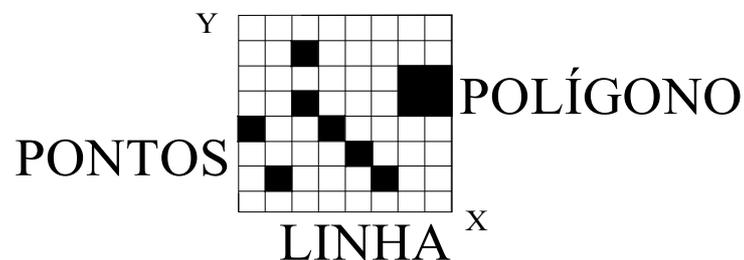


Figura 2.5 – Representação de feições espaciais (ponto, linha, polígono) em um arquivo Raster (Adaptado de NATH, S. et al, 2000)

2.1.5 Layer

Nos sistemas raster, os dados georreferenciados armazenados em uma grade de células é chamado de “layer”. Visto que dados matriciais podem ser criados a partir da conversão de dados vetoriais (sujeitos à distorção), cada propriedade associada ao vetor seria armazenada em um layer próprio de um sistema raster, o que demandaria muitos layers para armazenar os dados vetoriais e, conseqüentemente, ocuparia muito mais espaço na base de

dados, além de que, num processamento de dados, requereria muito mais tempo de dedicação do sistema computacional. (NATH, S. et al, 2000)

A grande desvantagem dos sistemas raster, em relação ao vetorial, é que a resolução espacial de análise é limitada ao tamanho da célula do layer, o que se constitui num problema quando se tem células muito grandes para a escala selecionada, pois, ao se produzir mapas a partir deste layer, os dados tendem a ter baixa precisão geográfica, além de que a exibição de dados é muito mais lenta (Figura 2.6). Em contrapartida, o sistema raster é preferido quando se faz processamento de dados numéricos de elementos de superfície contínua, tendo em vista que estes se encontram dispostos uniformemente nas células da estrutura da grade, como é o caso de se realizar um modelo digital de terreno (MDT). Além disso, o sensoriamento remoto beneficia-se de arquivos raster, pois as imagens produzidas através de satélites, fotografias aéreas e mapas digitalizados são produzidos e processados neste formato, com uma grade de pixels. (NATH, S. et al, 2000)

2.1.6 Redes

Uma rede é composta por dados vetoriais, sendo composta por pontos e linhas. Uma utilização bastante comum dos GIS é a análise de redes. As redes permitem o mapeamento e mensuramento de relacionamentos e fluxos entre pessoas, fluxos de energia, água, grupos, organizações, animais, computadores etc.

Tipo de Dado	Vantagem	Desvantagem
Raster	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Estrutura de dados simples ◆ Compatível com dados obtidos por Scanner ou Sensor Remoto ◆ Procedimentos simples de análise espacial 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Requer grande espaço de armazenamento ◆ Dependendo da resolução do pixel o produto final pode não ser satisfatório. ◆ Transformação de Sistemas de Projeção mais complexa ◆ Maior dificuldade para representar relações topológicas
Vetor	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Requer pouco espaço de armazenamento ◆ Facilidade na representação das relações topológicas ◆ Produto Final superior aos produzidos manualmente ◆ Permite a criação de overlays sobre imagens 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Estrutura de dados mais complexa ◆ À -priori não é compatível com dados obtidos por sensores remotos ◆ Software e Hardware necessários são frequentemente mais caros. ◆ A análise espacial é mais complexa

Figura 2.6 – Vantagens e desvantagens dos dados Vetoriais e Raster⁸

Segundo Curtin (2007), os mais comuns modelos de implementações de rede são aqueles usados para representar as redes com as quais a população interage todos os dias: redes de água, telefone, esgoto, transporte, eletricidade etc. (Figura 2.7).

As estruturas de rede constituem-se numa das mais antigas representações nos SIG, e a sua análise permanece como foco constante da atenção das mais significativas e importantes pesquisas da área das ciências das informações geográficas (geo-science). As análises de redes têm um forte embasamento nas disciplinas da matemática, teoria dos grafos e topologia, que tem a ver com a relação espacial das feições entre si. (CURTIN, 2007)

⁸ Fonte: <<http://www.ltc.ufes.br/>> acessado em 29/07/2010

A topologia é descrita como a matemática da conectividade e da adjacência entre as feições geográficas. Relacionamentos topológicos são muito comuns em bases de dados espaciais. Eles servem para descrever relacionamentos entre pontos, linhas e áreas, suas conectividades e o que existe em cada lado do segmento de linha, sua adjacência (BITTERS, 2009).

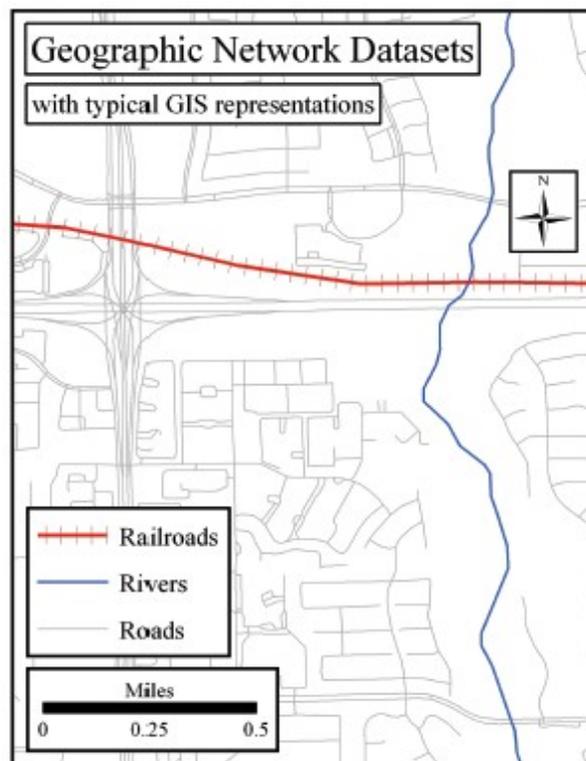


Figura 2.7 – Representação típica de rede em um GIS (CURTIN, 2007)

Os nós nas redes referem-se a entidades tais como postes, hidrantes, computadores, ou seja, referem-se ao objeto, à entidade dentro da rede, enquanto que os links, conexões entre eles mostram as associações, as relações existentes e aos fluxos entre os nós (BITTERS, 2009).

2.1.6.1 Representação de redes num Sistema de Informação Geográfica

No caso de rede, de acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2001), cada objeto geográfico (válvulas, sistemas de bombeamento, hidrantes etc) possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados (tais como diâmetro, material, tamanho etc). As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais⁹ (x, y ou Latitude, Longitude), com topologia arco-nó: os atributos de arcos incluem o sentido de fluxo e os atributos dos nós, sua impedância (perdas ao longo do percurso). Internamente, um SIG representa os pontos, linhas e áreas como conjunto de pares de coordenadas. Os pontos são representados por apenas um par de coordenadas. Linhas e áreas são representadas por sequências de pares de coordenadas, sendo que nas áreas o último par coincide exatamente com o primeiro. A topologia de redes constitui um grafo (um conjunto de vértices ou nós e um conjunto de arcos), que armazena informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas, como ilustra a Figura 2.8.

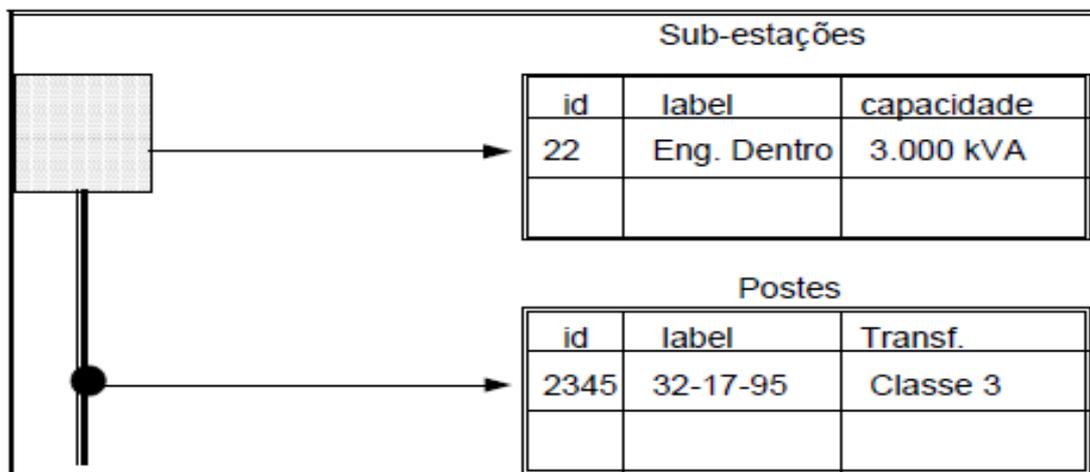


Figura 2.8 – Exemplo de elementos de rede¹⁰

⁹ (Fonte: <<http://www.ltc.ufes.br/GEOMATIC/Modulo%20Geoprocessamento.pdf>> acessado em 16/05/2009

¹⁰ Fonte: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>> Acessado em: 29/07/2010

2.2 GEOPROCESSAMENTO

Para Teixeira e Christofolletti (1997), geoprocessamento refere-se à tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados.

Segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001), o termo Geoprocessamento refere-se à disciplina do conhecimento que se utiliza das técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação e é muito utilizado nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, controle florestal, transportes, comunicações, energia, saneamento básico, planejamento urbano e regional. As aplicações do Geoprocessamento são bastante abrangentes, pois não importa o objeto de estudo, se a localização deste for importante, então o Geoprocessamento poderá ser útil.

É muito comum haver confusão entre SIG e Geoprocessamento. Mas, Rodrigues (1993) esclarece que geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais *voltado para um objetivo específico*. Assim, o Geoprocessamento utiliza-se do SIG para atingir um propósito específico, ou seja, o SIG constitui-se na principal ferramenta do Geoprocessamento, além da topografia, do sensoriamento remoto, da cartografia etc.

As técnicas do geoprocessamento podem ser utilizadas nos projetos de redes de distribuição de água com muito êxito, já que, conforme Bondy e Murty (1976, apud CASANOVA, 2005), o modelo de redes, inclusive o de redes de distribuição de água, concebe o espaço geográfico como um conjunto de pontos no espaço (chamados de nós), conectados por linhas (chamados arcos), onde tanto os nós quanto os arcos possuem atributos que permanecem cadastrados numa base de dados.

2.3 ESTRUTURA DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Um sistema de distribuição de água, segundo Mays (2000), é formado por três partes principais: sistema de bombeamento, reservatórios e rede de distribuição. O sistema de bombeamento é necessário quando os reservatórios se encontram numa altitude superior às fontes de captação e devido as perdas por fricção que geram aquecimento.

A Figura 2.9 ilustra estas principais entradas e saídas de água num sistema típico de abastecimento de água. Ele é composto de várias estruturas e procedimentos essenciais ao seu bom funcionamento, desde a captação, estação elevatória, adução de água bruta, estação de tratamento de água (ETA), adução de água tratada, reservatório de água tratada e, finalmente, a rede de distribuição responsável por levar a água até os consumidores.

2.3.1 Captação de água

A captação de água para o suprimento dos sistemas de distribuição de água pode ser feita tanto através de mananciais superficiais quanto através de águas subterrâneas. Estes sistemas precisam ser projetados de modo a funcionar ininterruptamente, permitindo a retirada de água em quantidade e qualidade adequadas no que diz respeito ao ponto de vista físico, químico, biológico e bacteriológico (TISUTIYA, 2005).

A água potável é definida pela Portaria 1469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde, como sendo própria para consumo humano desde que os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde. (BRASIL, 2001) As águas dos mananciais precisam satisfazer as exigências mínimas no que diz respeito aos aspectos quantitativos e também qualitativos nos quesitos físico, químico, bacteriológico e biológico, além de se situarem próximos das redes

de distribuição, se possível, e permitir a construção de uma estação de captação. Além disso, são preferíveis caudais que sejam o mais regulares possíveis, tanto na quantidade quanto nas condições de captação.

A captação de água pode ser feita nos aquíferos, através dos lençóis freáticos e artesianos e mananciais superficiais, tais como lagos, córregos, rios e represas e, quando estes se encontram numa altitude inferior à do sistema de abastecimento, é necessário que se instale estações elevatórias, contendo o conjunto motor-bomba e acessórios. (Figura 2.9)

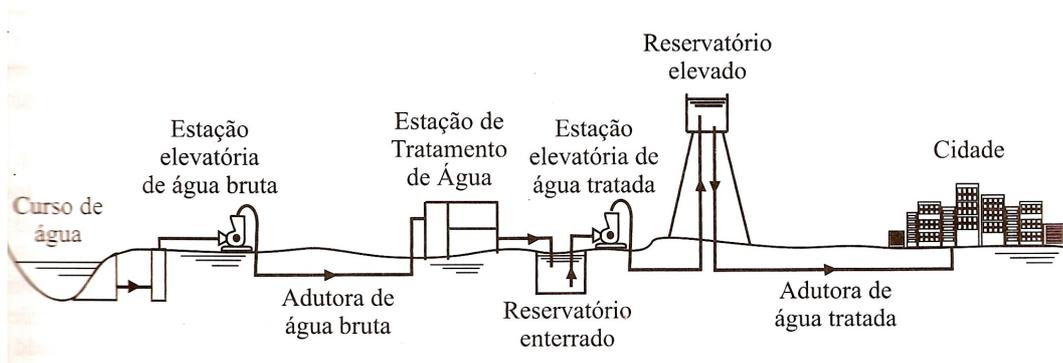


Figura 2.9 – Sistema de abastecimento de água com captação em curso de água e com reservatório enterrado e elevado. Fonte Tisutiya (2005)

2.3.2 Adutoras

São responsáveis pela condução de água bruta e tratada através de canalização desde a fonte de captação, passando pelas estações elevatória, de tratamento e reservatórios até a rede de distribuição, podendo ou não conter ramificações chamadas sub-adutoras.

A água transportada pela adutora pode ser movimentada por gravidade (o mais econômico), quando o transporte se dá de uma cota superior para uma inferior e por recalque (sob pressão) quando o transporte se dá de uma cota menor para uma maior através de estações elevatórias, ou por adutoras mistas, compostas de trechos por recalque e de trechos por gravidade.

2.3.3 Estações Elevatórias

Nos sistemas de abastecimento de água as estações elevatórias são utilizadas na captação de água a ser transportada para as estações de tratamento e reservatórios com destino às redes de distribuição.

Uma estação elevatória é composta em estrutura elétrica, mecânica e tubulação. As estruturas elétricas e mecânicas são formadas por bomba, motor, controle, painel, transformador e linha de transmissão (TISUTIYA, 2005).

2.3.4 Reservatórios

Os reservatórios objetivam o acúmulo de água durante os períodos de baixa demanda de vazão na estiagem, por exemplo, e a regularização do volume quando a demanda aumenta em períodos de pico, além de, por meio de reservas, produzir o abastecimento mesmo em períodos de interrupção de fornecimento, suprir água para o combate a incêndios e reduzir as variações de pressão da rede de distribuição.

Quanto à sua localização em relação ao nível do terreno (Figura 2.10), eles podem ser classificados em:

- apoiado: sua base é apoiada no terreno;
- enterrado: sua estrutura localiza-se abaixo do nível do terreno;
- semi-enterrado: parte de sua altura encontra-se abaixo do nível do terreno;
- elevado: é suportado por estruturas de elevação;
- stand-pipe: é um reservatório do tipo elevado com estrutura de elevação no

formato de uma torre cilíndrica.

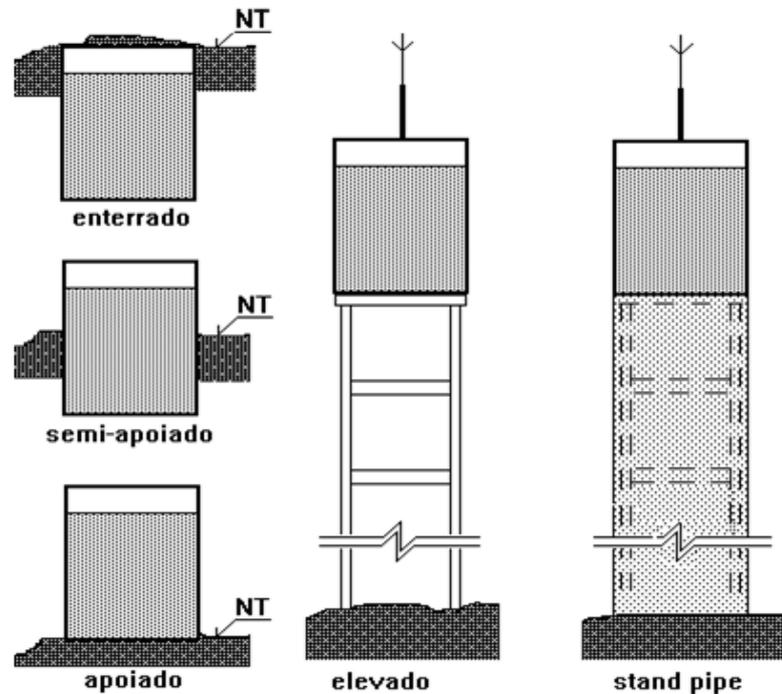


Figura 2.10 – Posição dos reservatórios em relação ao nível do solo¹¹

2.4 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

No sistema de distribuição de água, as redes são as responsáveis por fazer a conexão entre todo o sistema e os consumidores. Através delas é que a água realmente chega até os domicílios. Elas são formadas pela rede principal, conduto tronco ou canalização mestra que abastece as canalizações secundárias, que são tubulações de menor diâmetro e responsáveis pelo abastecimento direto dos pontos de consumo.

De acordo com a forma de traçado das tubulações as redes de distribuição são classificadas basicamente em malhadas, ramificadas e mistas (GOMES, 2004).

Nas redes malhadas (Figura 2.11) a distribuição da água se realiza através de vários sentidos, em forma de grelha ou malha e são aplicadas em áreas densamente

¹¹ Fonte: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html>> Acesso em: 28/07/2010.

urbanizadas. São constituídas por tubulações que formam anéis ou blocos, de modo que o abastecimento se dá através de vários caminhos, diminuindo assim a possibilidade de interrupção.

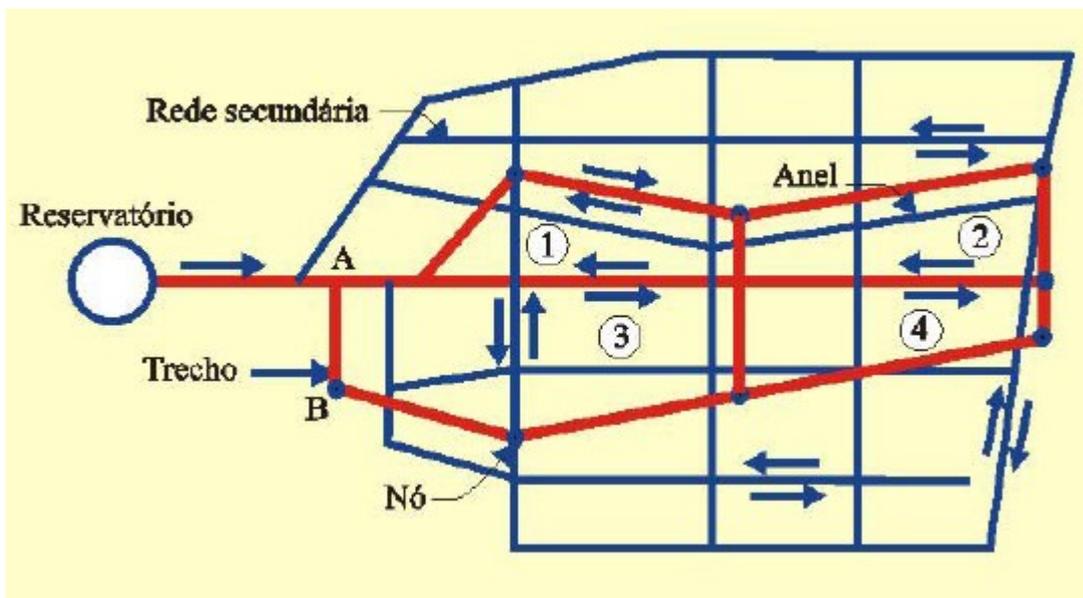


Figura 2.11 – Exemplo de rede malhada¹²

Segundo Maños et al (2009), as redes de distribuição de água malhadas têm sido utilizadas tradicionalmente em aplicações urbanas e industriais. Em alguns casos também são utilizadas em redes de irrigação, onde a confiabilidade pode compensar o aumento do custo da implantação da rede tais como em sistemas de estufas de horticultura.

As redes ramificadas (Figura 2.12) têm somente um sentido de escoamento da água para os diversos pontos de abastecimento e são utilizadas nos sistemas de irrigação pressurizados e em áreas de baixa urbanização. O abastecimento é feito a partir de uma tubulação principal, o tronco, alimentada por um reservatório que distribui a água para os domicílios através de condutos secundários e, por isto, está sujeito à interrupções mais constantes (TISUTIYA, 2005). Segundo Formiga (2007) as redes ramificadas são mais econômicas quando comparadas com uma rede malhada do mesmo porte.

¹² Fonte: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Reserv01.html>> Acesso em: 28/07/2010.

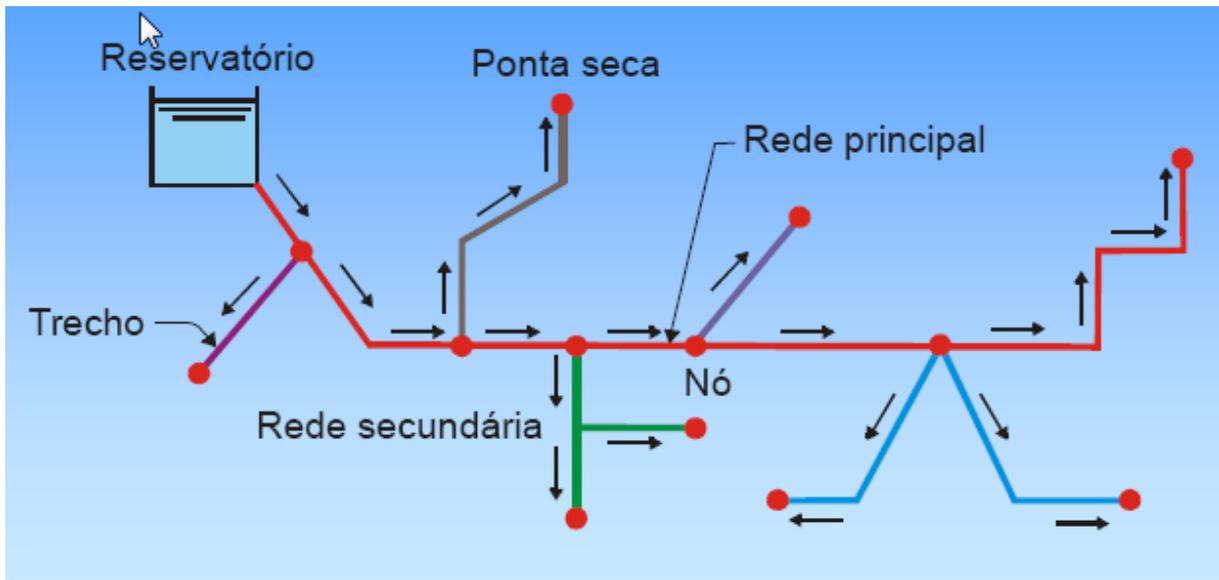


Figura 2.12 – Exemplo de rede ramificada¹³

A rede mista (Figura 2.13) contém as características combinadas das redes ramificada e malhada.

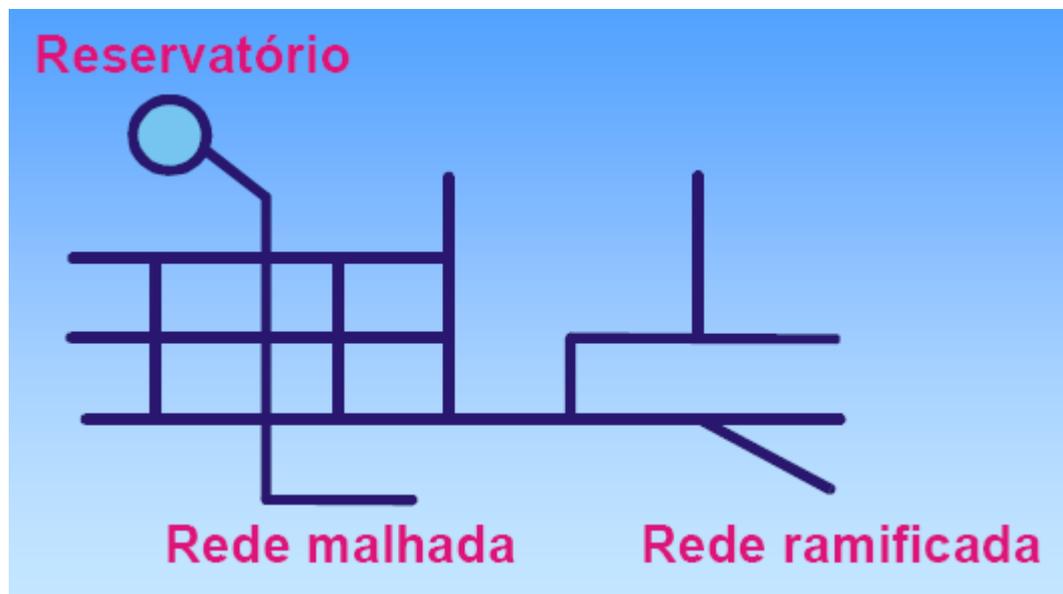


Figura 2.13 – Exemplo de rede mista¹⁴

Segundo Gomes (1997), existe uma nomenclatura específica para se identificar as diversas partes de uma rede:

¹³ Fonte: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/Ernani/Aulas/09-Redes.pdf>> acessado em 10/08/2010

¹⁴ Fonte: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/documentos/Ernani/Aulas/09-Redes.pdf>> acessado em 10/08/2010

- Trechos: percursos da rede nos quais haja uma vazão constante, sem derivações (trechos 1, 2, 3, 4 e 5 da Figura 2.14).
- Nó: ponto de conexão entre dois trechos com a presença de tomada de água para abastecimento .
- Terminal: Final da rede, a posição mais extrema dentro do sistema de abastecimento (terminais 1 e 3 da Figura 2.14).
- Ramal: Trechos interligados em série sem a presença de nós de derivação (trechos 3 - 4 e 1 - 2 da Figura 2.14).
- Artérias: Percursos formados por conjunto em série de ramais (trechos 1-2-5, 3-4-5, 3-4 e 1-2 da figura 2.14).
- Traçado da rede: Topologia das tubulações com a situação topográfica de seus componentes (Figura 2.14).
- Cabeceira: Princípio da rede coincidente com o início do sistema de transporte de água (Figura 2.14).

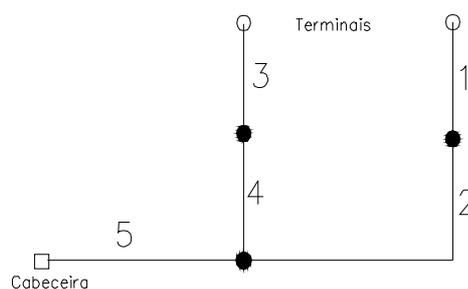


Figura 2.14 – Exemplo de traçado de rede (adaptada de Gomes, 2004)

2.4.1 Considerações no projeto de redes de distribuição de água

Projetar um sistema de abastecimento de água urbano e gerenciá-lo apropriadamente tem, entre outros, os seguintes propósitos (ALEGRE et al., 2000):

- proporcionar aos consumidores um nível de serviço apropriado, cumprindo políticas nacionais e regionais, requisitos estatutários ou outras obrigações;
- maximizar a eficiência do uso dos recursos hídricos e ambientais;
- garantir uma elevada eficiência na aplicação dos recursos financeiros;
- planejar, construir, operar e manter as infra-estruturas de forma eficiente e eficaz.

Para satisfazer a tais requisitos é necessário que as concessionárias dos recursos hídricos empenhem-se em alcançar elevados padrões de eficiência, os quais medem até que ponto os recursos disponíveis são otimizados para o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento de água. Um indicador de desempenho é resultado da avaliação de um aspecto individual, muito embora um indicador analisado individualmente tem pouco interesse prático, podendo até conduzir a conclusões erradas. Desta forma, pode-se selecionar um primeiro conjunto de indicadores (Figura 2.15) para obter uma avaliação geral do desempenho de uma entidade gestora, a ser complementada com o auxílio de indicadores ou dados mais detalhados sempre que se necessite de uma análise mais pormenorizada.(ALEGRE et al., 2000)

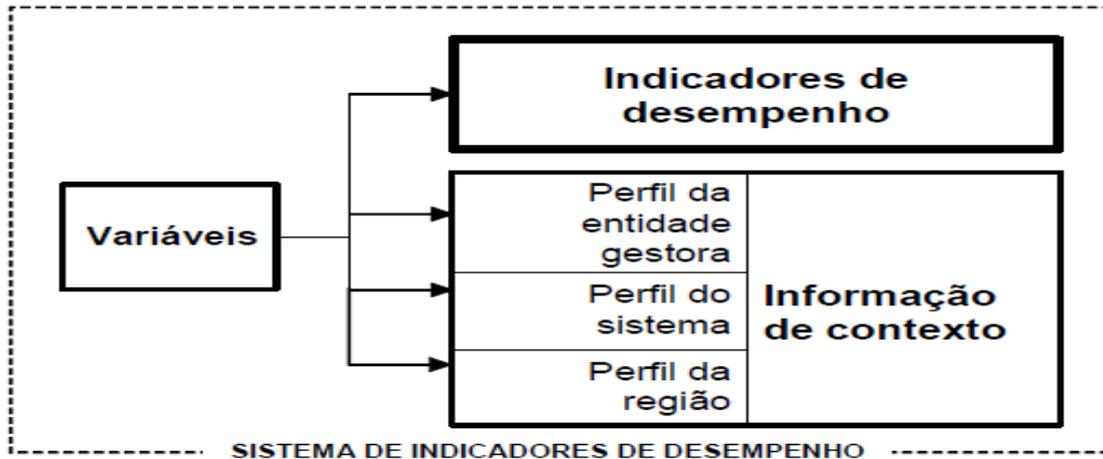


Figura 2.15 – Sistema de indicadores de desempenho da IWA (International Water Association)¹⁵

2.4.2 Dimensionamento de Redes de Distribuição

Segundo Mays (2000), o propósito de um sistema de distribuição de água é satisfazer a demanda de água dos usuários sob uma pressão adequada conforme o fluxo requerido e, para tanto, o dimensionamento das redes de distribuição envolve determinar o diâmetro da tubulação de cada trecho da rede e também as vazões transportadas nestes trechos, bem como as cotas piezométricas em cada nó (incluindo o nó de cabeceira), atendendo-se às demandas de vazão e pressão em cada ponto de consumo.

Pelo fato de existirem mais incógnitas a determinar do que equações hidráulicas disponíveis, este dimensionamento é hidráulicamente indeterminado, existindo duas formas de se solucionar o problema. (GOMES e NÓBREGA, 1997)

A primeira, que foi bastante utilizada quando não se dispunha dos microcomputadores pessoais, é aplicada através de soluções práticas aproximadas, obtidas mediante o estabelecimento de restrições hidráulicas ao problema e admitindo-se valores para

¹⁵(ALEGRE et al., 2000)

as cotas piezométricas nos nós, limites de velocidades de escoamento da água nas tubulações, e/ou limites de perdas de carga nas tubulações, de acordo com os seguintes procedimentos:

- seccionamento das redes malhadas: dimensionamento de redes malhadas de pequeno e médio porte e faz apenas o balanceamento das vazões na rede de distribuição, não levando em consideração o aspecto econômico;
- método de Hardy Cross: dimensionamento de vazões e pressões em redes malhadas de grande porte. Segundo Lemieux (1972), o método perde eficiência numérica quando aplicado às redes de grande porte, pois apresenta uma taxa de convergência muito baixa;
- método da perda de carga unitária constante: não supera a perda de carga total disponível no dimensionamento de redes ramificadas e é empregado quando se conhece a altura manométrica disponível na cabeceira da rede de distribuição (GOMES, 1997);
- método da velocidade máxima admissível: não supera as velocidades máximas admissíveis para dimensionamento de redes ramificadas. (GOMES, 1997)

A segunda forma é mediante o estabelecimento da condição de que seja mínimo o custo de investimento e operação da rede de abastecimento que são mais vantajosos do que os métodos aproximados, pois calculam a rede de distribuição e produzem resultados de vazão, pressão e velocidade de forma mais precisa.

2.5 OTIMIZAÇÃO DE PROJETO DE REDES

Otimizar consiste em buscar uma solução ótima dentre um conjunto de alternativas, neste caso um sistema de menor custo que atenda aos requerimentos hidráulicos de vazão, velocidade e pressão. O objetivo de um projeto otimizado, segundo Bai et al.

(2007), é a busca do projeto de rede mais econômico. O desafio da otimização envolve todo o planejamento e o projeto em si. O projeto otimizado de rede compreende a determinação do fluxo ótimo da rede. Neste respeito, o diâmetro ótimo de cada trecho de tubulação e a otimização da estação elevatória são selecionados para atingir um custo mínimo.

Gupta et al. (1998) afirma que o projeto de sistema de distribuição de água pertence ao grupo de problemas intratáveis comumente chamados como NP-hard (non-deterministic polynomial-time hard), o que significa que um algoritmo rigoroso para produzir um projeto otimizado utilizando diâmetros discretos não se constitui numa possibilidade praticável. Vários métodos convencionais de otimização resultam em uma otimização local, ou seja, atende a uma determinada necessidade, que é dependente do ponto de partida do processo de pesquisa.

Em geral, os projetos comuns de sistemas de distribuição de água, utilizam-se do método das tentativas e erros ou através de simulações da rede, levando-se em conta as complexas interações entre seus componentes, mesmo nos sistemas de médio porte. Estes métodos, porém, não asseguram que uma solução ótima tenha sido alcançada, já que, em geral, o que se procura é minimizar os custos de construção, operação e manutenção sem prejudicar as especificações calculadas para o suprimento da água, já que a intenção é criar um projeto que opere eficientemente para a plena faixa de demanda (MAYS, 2000).

Em sua forma mais simples, o problema de otimização de projetos de distribuição de água por gravidade é formulado da seguinte maneira (ALPEROVITS e SHAMIR, 1977): para uma dada configuração de tubos e uma demanda específica nos nós, busca-se uma combinação de diâmetros que resulte num custo mínimo, e que atenda às seguintes restrições:

- a continuidade da vazão deve ser mantida em todos os nós e junções da rede;

- a perda de carga em cada tubo é uma função conhecida e depende da vazão, do diâmetro, do comprimento, do material da tubulação e das propriedades hidráulicas;
- a perda de carga total em um anel é igual a zero ou a perda de carga ao longo do caminho entre dois reservatórios deve ser igual a diferença dos seus respectivos níveis;
- limitações de pressões mínimas e máximas devem ser satisfeitas;
- limitação dos diâmetros máximos e mínimos.

Em suma, Mays (2000) apresenta o propósito da otimização como a redução dos custos de investimento e dos custos de energia, encontrando as restrições hidráulicas e satisfazendo a demanda de água e a pressão necessária.

Essa complexa interação entre os componentes de um sistema de distribuição de água torna difícil identificar alterações que melhorem o projeto mesmo para redes de médio porte. Por este motivo, ao longo do tempo, diversos métodos de simplificação e otimização foram sugeridos para reduzir a complexidade do desenvolvimento do projeto, tais como as seguintes propostas:

2.5.1 Algoritmos Genéticos

Segundo Castillo L. e González A. (1998), os Algoritmos Genéticos foram desenvolvidos por John Holland e o seu propósito era que fossem utilizados em problemas que envolvessem espaços complexos, similar ao princípio da evolução de Darwin e baseado na reprodução e sobrevivência das espécies. O fato de as funções de cálculo de otimização de redes de distribuição de água utilizarem-se de matemática complexa com ajustes empíricos nas fórmulas terminam por tornar o problema muito difícil de ser resolvido de forma analítica, por isso este método é proposto como uma alternativa viável.

Os Algoritmos Genéticos iniciam-se com uma população de soluções iniciais para certo problema e dirigem-se para a melhor solução. Para se alcançar este objetivo, segundo os autores, existem os seguintes requisitos:

- É preciso representar as soluções de uma forma genética, ou seja, toda solução é representada em um cromossoma e todo item de informação em uma solução é representado como um gene no cromossoma e este gene será usado pelo algoritmo genético para realizar os processos evolutivos.
- É preciso distinguir os melhores cromossomas de cada par de cromossomas e estes sobreviverão para a reprodução através da função de aptidão que dará uma medida da virtude de cada cromossoma.
- Uma nova população é constituída através do cruzamento e operação de mutação que altera um ou vários genes dos cromossomas. Este cruzamento troca os genes entre os pares de cromossomas obtendo dois novos cromossomas.
- Cromossomas que apresentam soluções impraticáveis devem ser punidos para evitar a sua reprodução

Segundo Gupta I. et al. (1998), do Instituto Nacional de Pesquisas Ambientais, da Índia, que fazem comparações entre os algoritmos genéticos e programação não-linear, a metodologia baseada nos algoritmos genéticos é apropriada para pequenos projetos de redes de distribuição de água, bem como para ampliações.

Gupta, I. et al. (1998) apresentam uma nova metodologia baseada em Algoritmos Genéticos (GA) que visa a otimização de projeto e também ampliação de redes de distribuição de água. Esta metodologia é comparada com uma técnica de programação não-linear (NLP) baseada em funções de penalidade interna (IFP) aliadas ao método Davidon-Fletcher-Powell (DFP).

Os GAs são baseados em técnicas computacionais estocásticas (aleatórias) e as grandes vantagens desses algoritmos são sua ampla aplicabilidade, sua flexibilidade e sua habilidade para encontrar soluções otimizadas ou quase otimizadas com baixo requerimento computacional, tendo aplicações amplas englobando engenharia, ciência e comércio. Os algoritmos são baseados no princípio da sobrevivência do mais apto que tenta reter as informações genéticas de geração para geração. (GUPTA I. et al., 1998)

O GA constitui-se num processo iterativo onde cada iteração possui duas etapas: a avaliação e a geração. A etapa da geração inclui um operador de seleção e também um operador de modificação. Dois indivíduos, os pais, são escolhidos da população utilizando um esquema que favorece os indivíduos mais aptos e estes são recombinados para dar forma a duas crianças utilizando o mecanismo do cruzamento. Uma mutação é aplicada a cada criança individualmente após os cruzamentos e um operador da mutação pode, então, aleatoriamente mudar alguns valores do genes que constituem um indivíduo. (GUPTA I. et al., 1998)

2.5.2 O Método Granados

Segundo Leal e Gomes (1997), este método desenvolvido por Alfredo Granados em 1990, é um algoritmo iterativo de otimização que se assemelha ao método clássico da programação dinâmica. Este método fornece o custo mínimo de um sistema pressurizado e ramificado de distribuição de água, em função da cota piezométrica de cabeceira do mesmo, considerando ainda a variação do preço das tubulações em função de seus materiais, diâmetros e classes, ou seja, fornece especificações para um projeto com o menor custo. Posteriormente, a metodologia de Granados foi associada à metodologia dos anéis de Hardy Cross (CROSS, 1936) por Leal e Gomes (1997) na otimização de redes malhadas.

Leal e Gomes (1997) concluíram que a adaptação do método Granados às redes malhadas funciona adequadamente, facilitando e agilizando o trabalho de dimensionamento e da busca de uma solução ótima que atenda às demandas com o menor custo possível.

O método de Granados pode ser aplicado no dimensionamento de sistemas urbanos de abastecimento d'água, de abastecimento de sistemas de irrigação pressurizada, em redes de combate a incêndio etc. (GOMES e NÓBREGA, 1997).

Este método é composto basicamente de duas etapas (GOMES, 1997): a primeira é a determinação de uma solução prévia e a segunda é realizada através de iterações sequenciais que diminuem gradualmente a cota piezométrica determinada na primeira etapa obtendo-se, conseqüentemente, novas otimizações de custos da rede. Gomes (1997) optou por se utilizar-se do Método da Velocidade Máxima Admissível.

2.5.2.1 Primeira etapa: Método da Velocidade Máxima Admissível

Para uma determinada vazão, quanto maior for a velocidade de fluxo da água, menor será o diâmetro da tubulação, conforme se depreende da equação da continuidade ($Q=VA$). Este aumento de velocidade de fluxo resulta, porém, em maior perda de energia e aquecimento, devido ao atrito nas rugosidades próprias do material utilizado e aumentando o risco de danos às tubulações, tais como o golpe de aríete. Em vista disto, existem limites máximos definidos para a velocidade de escoamento em função dos diâmetros e dos riscos assumidos, o que leva a se admitir velocidades menores para menores diâmetros, utilizando a velocidade máxima admissível ao diâmetro.

O método da velocidade máxima admissível, que não tem significado prático e consiste apenas numa solução de contorno, ou de partida para a segunda fase, determina o

menor diâmetro comercial para cada trecho da rede, de modo que a velocidade máxima não ultrapasse o limite da capacidade do tubo e compõe-se dos seguintes passos (GOMES, 1997):

- Com base nas vazões da tubulação (Q) e das velocidades máximas admissíveis, define-se para cada trecho o diâmetro comercial mínimo. Isto se dá por se conhecer a vazão necessária para atender as demandas e, a partir de uma tabela que relacione diâmetro, velocidade máxima e vazão máxima, escolhem-se os diâmetros adequados.

- Por meio dos diâmetros calculados, dos comprimentos da rede e das vazões de cada trecho determinam-se as perdas de carga, através da equação de Hazen-Williams ou através da Equação Universal de Perda de Carga, conhecida como Darcy-Weisbach, por exemplo.

- Através das pressões mínimas necessárias em cada nó, da cota do terreno e da perda de carga são determinadas as respectivas cotas piezométricas nos nós e na cabeceira da rede.

- Adota-se a cota piezométrica de cabeceira fictícia com o valor zero e, acompanhando-se o fluxo de água, subtrai-se as perdas de carga dos diâmetros mínimos. Os valores negativos resultantes representam as cotas piezométricas fictícias (CP_F) dos pontos terminais de cada trecho da rede.

- Das cotas piezométricas fictícias (CP_F) subtrai-se as cotas piezométricas de projeto (PM), resultando-se outras cotas piezométrica fictícias (EP_F) negativas.

- Inverte-se o sinal de (EP_F) e obtém-se a cota piezométrica de cabeceira da solução prévia (Z_0). Finalmente, calcula-se os reais valores das cotas piezométricas (CP) a partir da expressão:

$$CP = CP_F + Z_0 \quad (9)$$

Onde:

CP = Cota piezométrica de cada nó da rede

CP_F = Cota piezométrica fictícia

Z₀ = Cota piezométrica de cabeceira

- O excesso de pressão (EP) em cada nó da rede é o resultado da diferença entre a cota piezométrica (CP) e a cota piezométrica mínima de projeto (PM) que também pode ser obtida a partir da expressão:

$$EP = EP_F + Z_0 \quad (10)$$

Onde:

EP = Excesso de pressão

EP_F = Cota piezométrica fictícia

Z₀ = Cota piezométrica de cabeceira

- Para a tubulação dos trechos da rede são atribuídos uma classe conforme a pressão nominal correspondente ao diâmetro calculado, ao material selecionado e a pressão de trabalho (PT) que se refere à máxima pressão hidráulica suportada por cada tubo.

- Na solução prévia, o custo da rede é determinado a partir dos comprimentos das tubulações, dos diâmetros mínimos calculados e das classes adotadas.

O algoritmo utilizado para a determinação da solução inicial pode ser sintetizado (GOMES, H. P. ; BEZERRA, S. T. M., 2005):

$$CHF = Ct + \sum H_{fmon} + P_{req} \quad (11)$$

Onde:

CHF = Carga hidráulica fictícia do nó, em m

Ct = Cota do terreno do nó, em m

$\sum H_{fmon}$ = Somatório das perdas de carga nos trechos à montante do nó, em m

Preq = Pressão requerida no nó, em m

Determinação da cota de cabeceira fictícia inicial Z_0 :

$$Z_0 = CHF_{max} \quad (12)$$

Onde:

Z_0 = Cota piezométrica de cabeceira inicial, em m

CHF_{max} = Carga hidráulica fictícia máxima, em m

2.5.2.2 Segunda etapa: Sequência de Iterações

A segunda etapa consiste no processo iterativo de operações reduzindo gradualmente a cota piezométrica de cabeceira com o menor acréscimo de custo possível e só termina quando se alcança a cota piezométrica de cabeceira desejada ou esta proporciona o mínimo custo para a rede (GOMES, 1997).

A fim de que ocorra uma modificação em certa tubulação da rede, que resulte o menor aumento de custo, utilizar-se-á o Gradiente de Câmbio desenvolvido por Granados (1990), que pode ser determinado da seguinte maneira (GOMES, H. P. ; BEZERRA, S. T. M., 2005):

$$C = (P_2 - P_1)/(hf_1 - hf_2) \quad (13)$$

Onde:

C = gradiente de câmbio do trecho, em R\$ m⁻¹

P_1 = custo total da tubulação do trecho com o diâmetro D_1 , em R\$

P_2 = custo total da tubulação do trecho com o diâmetro consecutivo superior D_2

hf_1 = perda de carga no trecho com o diâmetro D_1 , em m

hf_2 = perda de carga no trecho com o diâmetro consecutivo superior D_2 , em m

A redução da cota de cabeceira da rede com o menor acréscimo de seu custo, pode ser realizada por se aumentar o diâmetro do trecho de menor gradiente de câmbio pertencente à artéria mais desfavorável. Este trecho, sujeito à modificação será denominado trecho potencial (T^*). A troca do diâmetro (D_1) por seu consecutivo superior (D_2) resulta numa redução na perda de carga.

2.5.3 Dimensionamento ótimo de uma rede malhada a partir do Método do Seccionamento Fictício aliado à solução prévia do Método Granados

Esta metodologia de dimensionamento ótimo de rede malhada de distribuição de água de pequeno e médio faz o balanceamento das vazões na rede de distribuição e o resultado não produz uma solução única, ou seja, diferentes projetistas encontrarão diferentes soluções, podendo todas elas serem válidas, mas que haverá uma solução que produzirá um custo mínimo (LEAL, A. F., 1995) (JÚNIOR, J. V. F.; FILHO, M. L., 2001).

O Método do Seccionamento Fictício faz o balanceamento das vazões nas redes de distribuição objetivando manter as pressões nos nós dentro das faixas admissíveis e possibilitando a escolha dos nós mais favoráveis ao seccionamento. A complexidade deste método é proporcional ao tamanho da rede e ao número de nós (junções) das redes que serão seccionados, já que os seccionamentos poderão resultar num número muito grande de possíveis soluções, não considerando o seu aspecto econômico (JÚNIOR, J. V. F.; FILHO, M. L., 2001).

A solução prévia, a primeira etapa, objetiva a obtenção do custo ótimo da rede de distribuição e é baseada no critério da velocidade máxima admissível que conduz à determinação dos menores diâmetros comerciais admissíveis, coerentes com as normas e

satisfazendo as solicitações de pressões nos nós e compensando as perdas de carga nas tubulações, conforme o esquema apresentado na Figura 2.16.

A segunda etapa da metodologia utiliza-se de um algoritmo iterativo que executa os seccionamentos fictícios (tendo em vista que a rede não será alterada na sua estrutura), transformando-a em uma rede ramificada e definindo a solução mais apropriada hidraulicamente, conforme o fluxograma da Figura 2.17. É feita uma análise de combinações possíveis de todos os pontos de seccionamento e são considerados apenas aqueles que resultem em pressões que satisfaçam as normas, que, segundo a NBR – 12.218/94, corresponde a no máximo 5% da média das pressões dos trechos que afluem ao nó em consideração.

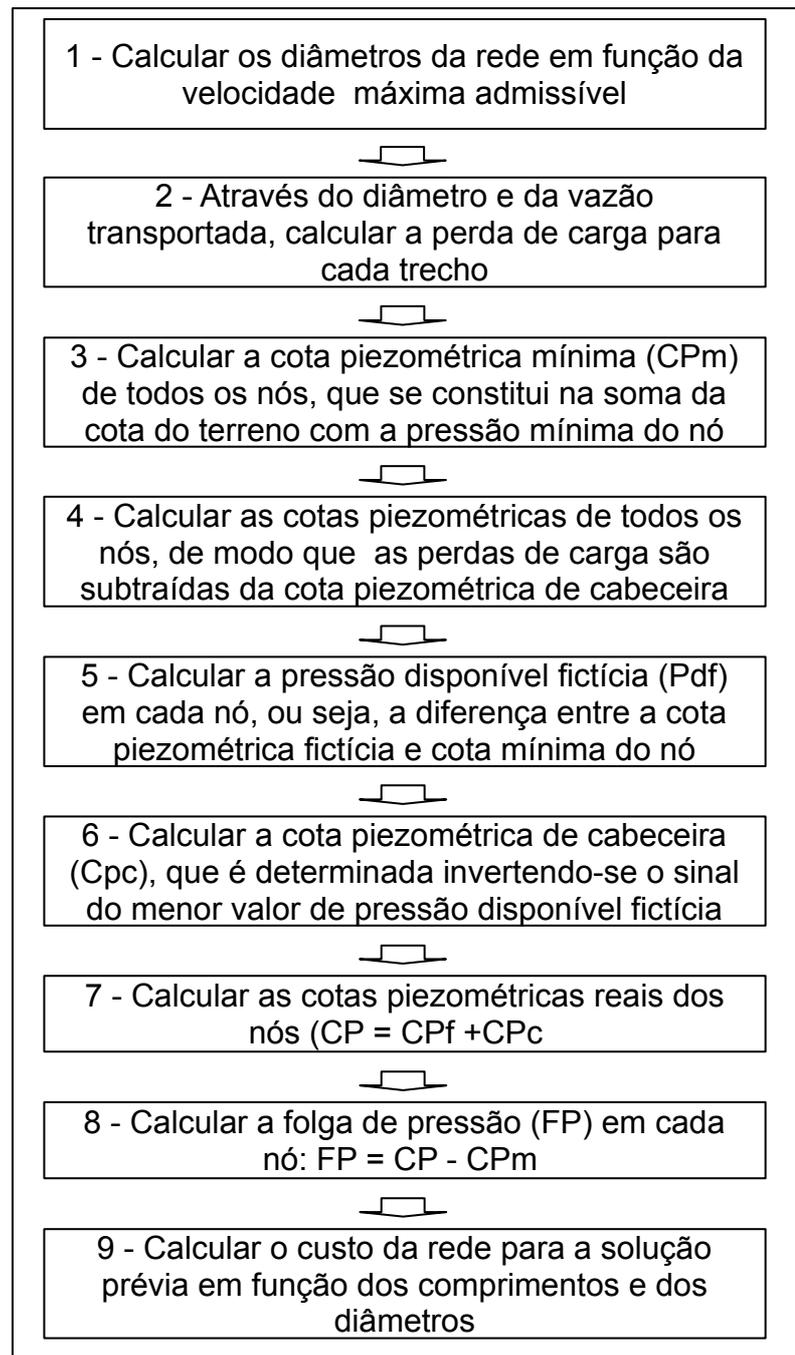


Figura 2.16 – Solução prévia do Método Granados - Baseado em Júnior, J. V. F. e Filho, M. L., (2001)

Os autores (JÚNIOR, J. V. F.; FILHO, M. L., 2001) concluem que esta metodologia obtém um custo ótimo global, pois são testadas todas as alternativas válidas e que este método é aplicado para o dimensionamento de redes de distribuição de água de comunidades de pequeno e médio porte que não tenham muitos anéis.

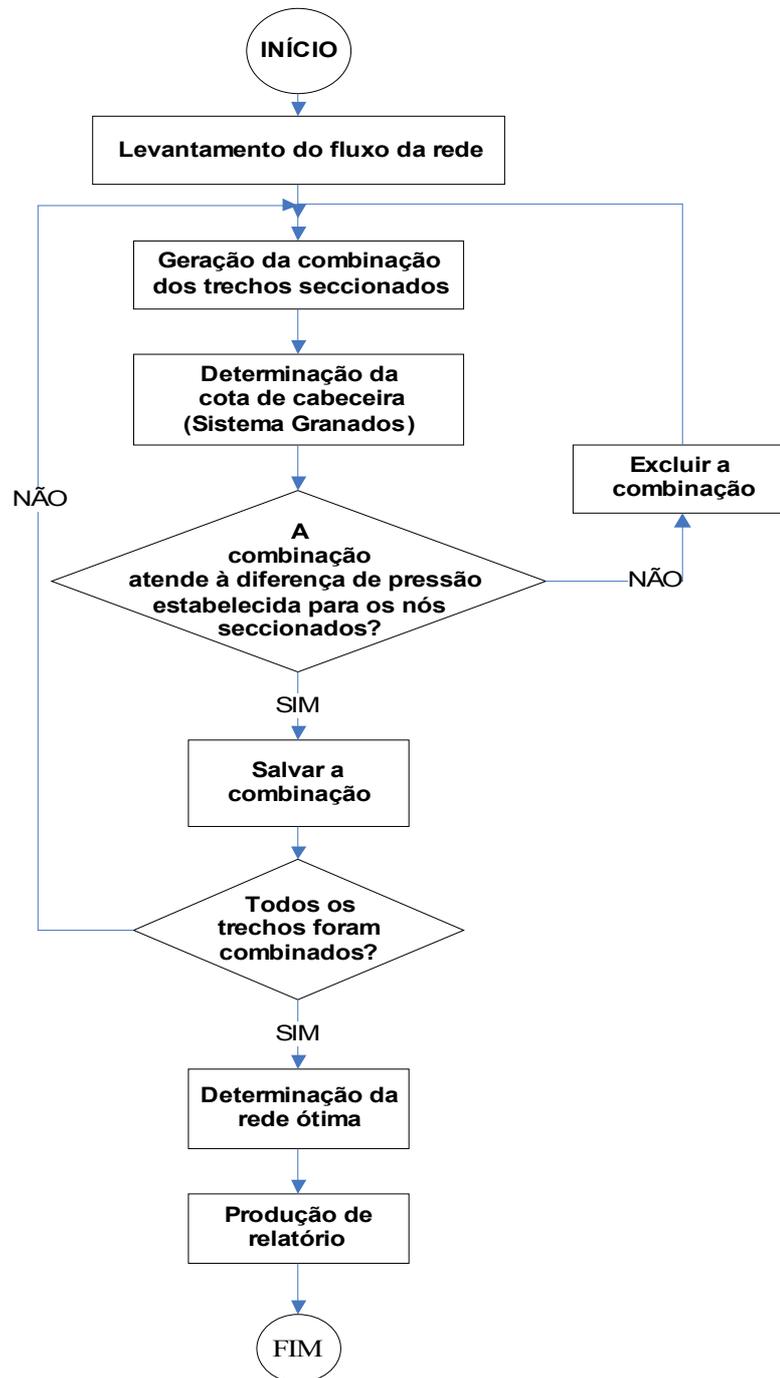


Figura 2.17 – Fluxograma de dimensionamento otimizado da rede de distribuição de água - Adaptado de Júnior, J. V. F. e Filho, M. L., (2001)

3 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste trabalho foi direcionada para a execução de uma rotina computacional de otimização de redes de distribuição de água, produzida na linguagem de programação “Avenue”. Este programa computacional baseou-se numa adaptação do Método de Granados e possibilita produzir um conjunto de soluções otimizadas, isto é, mais especificamente, uma rede de menor custo que satisfaça às pressões nos trechos e às demandas de vazões dos nós. Esta metodologia poderá facilitar o trabalho dos projetistas de redes urbanas de distribuição de água. (GOMES, 1997)

Este método de otimização econômica, quando aplicado ao dimensionamento de redes de distribuição de água, proporciona como resposta os diâmetros dos trechos da rede, as vazões máximas escoadas através dos trechos, a cota piezométrica de cabeceira, as cotas piezométricas de todos os nós e o custo mínimo correspondente de investimento da tubulação rede de distribuição.

A apresentação desta metodologia foi organizada de uma forma lógica de trabalho e está dividida nos seguintes itens:

- descrição de equipamentos e softwares utilizados;
- criação da rede, incluindo o desenho da rede em software de desenho adequado, exportação, correção de problemas na rede, tais como falta de nó (junção), falta de conexão etc.;
- estrutura da base de dados que envolveu tanto a criação das tabelas de dados quanto o preenchimento destas com dados que permitirão o processamento da rotina de

otimização, tais como comprimento dos trechos, diâmetro inicial da tubulação, rugosidade, demanda de vazão nos nós, cota altimétrica dos nós etc.;

- execução do método de otimização sobre duas (02) redes: Rede Dois Anéis (Two-Loop) e a rede do Bairro do Bessa (João Pessoa - PB).

3.1 EQUIPAMENTO UTILIZADO

- Laptop Sony Vaio:
 - Processador Intel Core2 Duo CPU T5750, 2 Ghz
 - Memória 3,0 GB
 - Sistema Operacional de 32 Bits

3.2 SOFTWARES UTILIZADOS

Os principais softwares utilizados foram os seguintes:

- Windows Vista¹⁶ Home Premium Service Pack 2
- AutoCAD Map¹⁷ 2000 – Release 4
- Epanet 2.0 – Open Source – Free - Versão em Português juntamente com manual – Disponível em: <<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/>>
- ArcView GIS¹⁸ 3.2
- DC Water¹⁹

3.2.1 EPANET

¹⁶ Copyright 2007 Microsoft Corporation

¹⁷ Copyright Autodesk

¹⁸ Copyright ESRI

¹⁹ Copyright Dorsch Gruppe - Disponível em: <<http://sourceforge.net/projects/dcwaterdesign/>>

O EPANET constitui-se num software que tem se destacado no cenário dos estudos dos sistemas de distribuição de água. Foi desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)*, dos Estados Unidos da América, que o distribui gratuitamente (open source) em conjunto com o seu manual. O EPANET permite executar simulações estáticas e dinâmicas em sistemas pressurizados de abastecimento de água. É um software amplamente testado e confiável que beneficia há mais de uma década uma comunidade de usuários em todo o mundo, inclusive no Brasil, e estes usuários contribuem em muito para o seu aperfeiçoamento (Figura 3.1).

Embora gratuito, o EPANET é um programa comparável, tanto no aspecto funcional quanto na sua simplicidade de utilização, aos melhores simuladores comerciais disponíveis no mercado. (Figura 3.2) Os códigos computacionais juntamente com uma biblioteca de programação estão igualmente disponíveis²⁰. O EPANET também tem suporte para o desenvolvimento de muitas extensões para aplicações específicas, ou seja, interfaces com sistemas de informação geográfica ou rotinas de apoio ao dimensionamento que, de alguma forma específica, beneficiará o usuário final no desenvolvimento de seu projeto.

Juntamente com o software, pode-se também fazer o download do manual: EPANET 2 user's manual.

Este software possibilita a obtenção de valores de vazão em cada tubulação, além da pressão em cada nó ou junção, o nível da água em cada reservatório, além de informações referentes á concentração de espécies químicas durante a simulação.

²⁰ Download disponível em <<http://www.dha.lnec.pt/nes/epanet/>>



Figura 3.1 – Tela de abertura do software EPANET

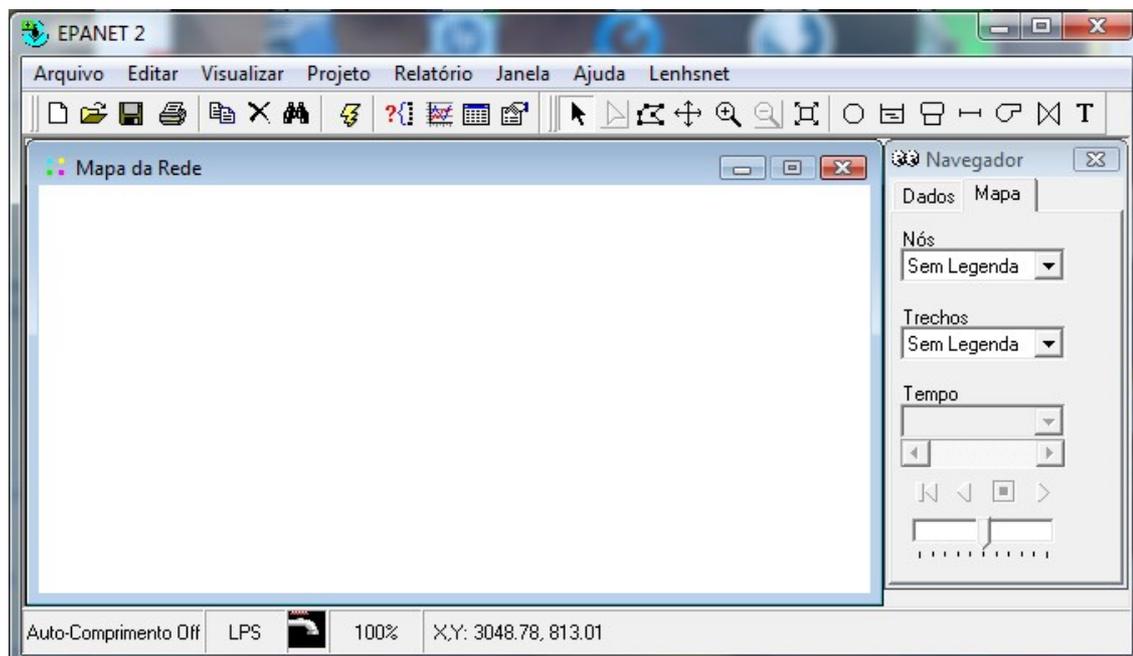


Figura 3.2 – Ambiente de desenvolvimento do EPANET

3.2.2 ArcView GIS

Embora existam versões mais recentes do ArcView GIS (ArcView 9.0, por exemplo), a versão 3.2 foi utilizada pelo fato de que ela permite a integração com o simulador

EPANET, através da extensão DC Water. O ArcView é um software de GIS que possibilita a criação, o gerenciamento, a visualização, a edição e a análise de dados geográficos (Figura 3.3).

O ArcView 3.2 é uma versão do software de SIG ainda utilizado por muitos profissionais devido à sua simplicidade, objetividade e demanda de poucos recursos computacionais para o seu funcionamento, mas que tem sido substituído por versões mais recentes que buscam integrar outros recursos aos então existentes, tais como visualização 3D, melhor gerenciamento da base de dados, funções cartográficas, conexão com novas extensões, comunicação com outros softwares e bancos de dados geográficos etc. Não se constitui, de modo algum, no único software de SIG. Existem softwares gratuitos com código aberto que não visam imitar o ArcView GIS, mas que têm recursos semelhantes e adicionais que possibilitam o desenvolvimento de bons trabalhos no campo do geoprocessamento, tais como o Geographic Resources Analysis Support System – GRASS²¹, usado para análise geoespacial e tratamento digital de imagens, o PostgreSQL sistema gerenciador de banco de dados objeto relacional (SGBDOR)²², o Sistema de Processamento de Informações Geográficas – SPRING²³, que realiza tratamento de informações geográficas e de imagens digitais, o gvSIG²⁴, um software de geoprocessamento que tem tido boa aceitação por parte de estudantes e profissionais de SIG.

O ArcView GIS contém o recurso de “customização” ou adaptabilidade através da linguagem de programação “Avenue”, que permite a criação de “Scripts”, que são rotinas computacionais interpretadas para a realização de procedimentos especializados que não são prontamente disponibilizados pelo software, mas podem ser incluídos através da

²¹ Opensource Geospatial Foundation

²² Iniciado na Universidade de Berkeley, Califórnia

²³ Desenvolvido pelo INPE, no Brasil

²⁴ GvSIG Asociación

programação. Estes mesmos “Scripts” podem ser formatados pelos usuários em “extensões” adicionadas ao ArcView, ampliando assim as funções disponibilizadas pelo software.

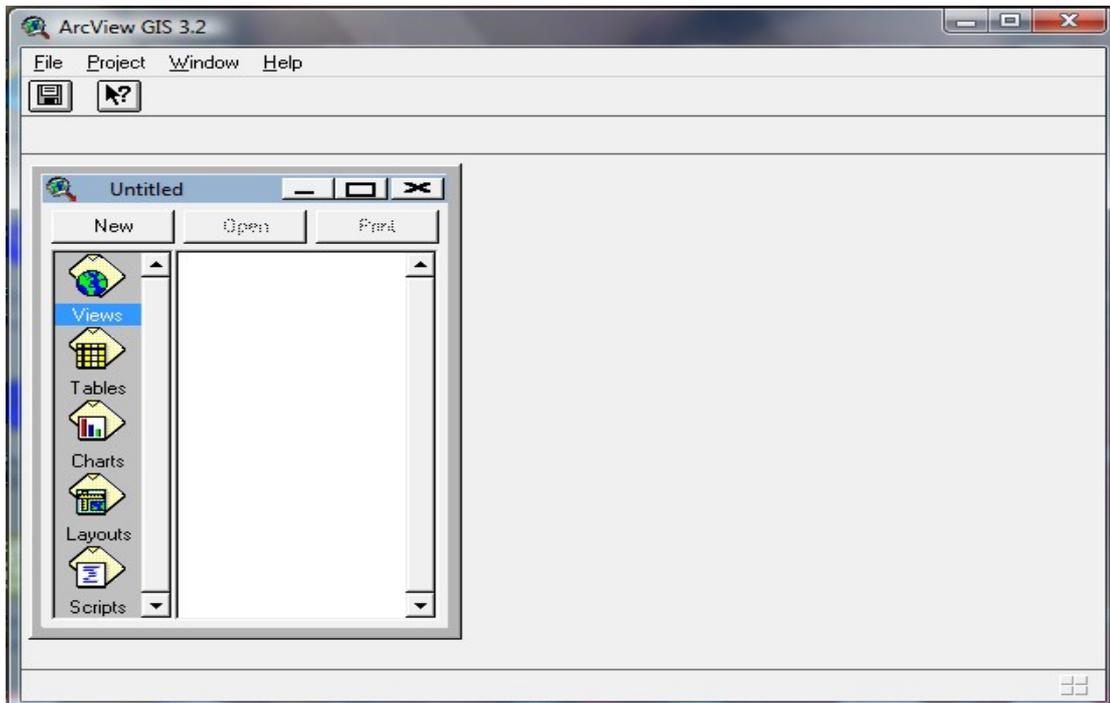


Figura 3.3 – Ambiente de desenvolvimento do ArcView 3.2 (ESRI)

3.2.3 Linguagem de programação “Avenue”

A linguagem Avenue, utilizada neste trabalho, acompanha o software ArcView GIS e pertence também à empresa ESRI. Ela é uma linguagem compilada e seu uso é restrito ao ambiente do ArcView GIS, ou seja, não possibilita criar arquivos com execução independente.

A linguagem Avenue não mais é utilizada nas versões recentes da família ArcGIS, sendo substituída pela Visual Basic For Applications (VBA), o que torna o aprendizado da linguagem Avenue um desafio, já que a bibliografia é escassa e é restrito o número de profissionais que ainda a utilizam. A razão de ela ser utilizada neste trabalho encontra-se no fato de que ela é a linguagem do ArcView GIS 3.2 e para as versões mais recentes do

ArcView GIS, não existe disponível uma extensão de qualidade que permita a conexão ArcView GIS - EPANET, que é o DC²⁵ Water.

3.2.4 DC Water

DC Water consiste numa extensão (conjunto de rotinas de programação) gratuita para integração do simulador hidráulico EPANET com o software ArcView GIS e foi produzido e distribuído pela empresa alemã “Dorsch Gruppe”. O DC Water possibilita o processamento do EPANET dentro do ambiente ArcView GIS utilizando a mesma base de dados. A versão utilizada neste trabalho é a 2.1, de fevereiro 1999, para Windows Vista²⁶, em inglês. Diferente do ArcView GIS e EPANET, o DC Water não possui um ambiente de desenvolvimento próprio, visto que sua função é a de permitir que o ArcView GIS trabalhe com o EPANET no mesmo ambiente, integrando-os. Entretanto, ele é disponibilizado com o seu código fonte e adiciona menus de opções ao ambiente do ArcView GIS, conforme o exemplo da Figura 3.4.

²⁵ Dorsch Consult

²⁶Microsoft Corporation

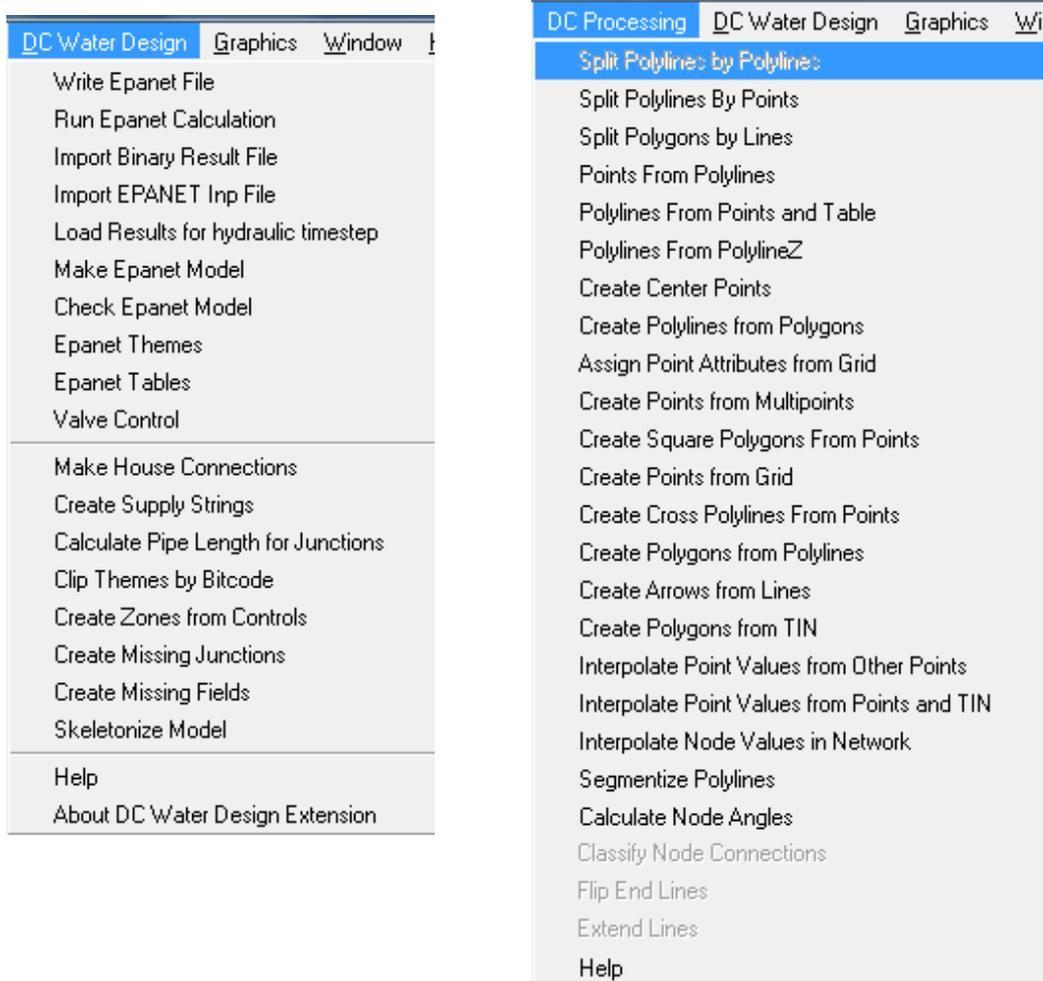


Figura 3.4 – Menus de opções adicionados pela extensão DC Water ao ambiente de desenvolvimento do ArcView 3.2

3.3 CRIAÇÃO DA ESTRUTURA DA REDE

A criação da estrutura da rede num projeto de GIS provê a espacialização geográfica do modelo e os dados importantes e necessários. Cada conjunto de dados do mesmo tipo, da mesma feição (pontos, linhas, polilinhas etc), inserido na rede é chamado de “tema”, e possui uma tabela com informações dos atributos descritivos da feição referente a

cada elemento ou entidade ou objeto dentro do tema (comprimento, volume, identificação etc.) (NOBEL e ALLEN, 2000).

É importante que o desenho da rede esteja em escala, pois assim a análise visual ficará facilitada. Entretanto, na execução da otimização, atributos tais como comprimento e diâmetro dos trechos, serão coletados das tabelas e não do desenho em si. Apesar disso, é *essencial* que a estruturação da rede esteja correta, pois a sua topologia, a relação entre as suas feições, influenciará todo o processamento.

Antes de se executar a rotina de otimização, é necessário que a estrutura da rede esteja correta e, para tanto, deve-se verificar com atenção os seguintes itens:

- É aconselhável que a rede seja desenhada num software de desenho de boa qualidade, tal como no AutoCAD Map²⁷ 2000, e exportada com o formato .shp (shapefile) para uma pasta qualquer para, então, ser adicionada ao ArcView GIS como temas.

- A rede deve ser exportada por partes, em qualquer ordem, separadamente: o reservatório (reservoir), a tubulação (pipes) e os nós (junctions), pois estes se tornarão os temas do projeto (formato .shp). Isto é feito no próprio software de desenho escolhido.

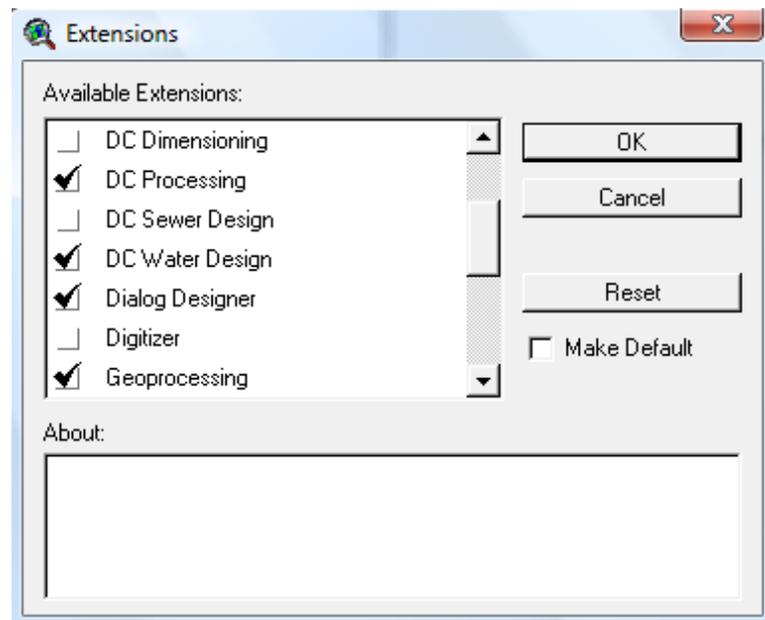
- As ferramentas de desenho do ArcView GIS não são tão práticas como as de um software específico de desenho (levando-se em conta que esta não é sua principal finalidade), especialmente no que se refere à junção dos trechos das redes, o nó. Muitas vezes quando se desenha um ponto, no ArcView GIS, para unir dois trechos de uma rede, eles aparentemente estão unidos, mas quando se amplia a junção, através da ferramenta de zoom, observa-se que as linhas se encontram desconectadas, conforme Figura 3.5.

- Os nós e o reservatório são representados por pontos, enquanto os trechos por linhas (no AutoCAD Map). Depois de adicionados no ArcView GIS, os trechos são automaticamente identificados como polylines.

²⁷ Licenciado pela AutoDesk



Figura 3.5 – Trechos desenhados no ArcView GIS antes e depois de um zoom respectivamente



- Para que o ArcView trabalhe integrado com o EPANET é preciso que se acrescente as extensões do DC Water previamente (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Extensões que precisam ser selecionadas

- Depois de se adicionar os temas no ArcView GIS é preciso que se faça uma checagem da estrutura da rede através dos recursos do DC Water, corrigindo quaisquer inconsistências que talvez hajam, tais como ausência de conexões entre nós e trechos e ausência dos próprios nós conforme mostra a Figura 3.7.
- Quando os dados são exportados para o ArcView GIS, algumas tabelas são automaticamente criadas. No caso particular deste trabalho, são 03 (três): A tabela dos trechos

(Pipes.dbf), a tabela dos nós (Junctions.dbf) e a tabela do reservatório (Reservoir.dbf).

Posteriormente devem ser criadas outras tabelas, descritas no item base de dados.

- Em seguida, deve-se executar no menu do DC Water Design a opção Make Epanet Model, que criará e preencherá alguns campos das tabelas automaticamente.
- É aconselhável que se execute o Epanet antes de se criar os “scripts” da rotina de otimização, a fim de se identificar e corrigir quaisquer erros de estrutura que não tenham sido previamente encontrados.

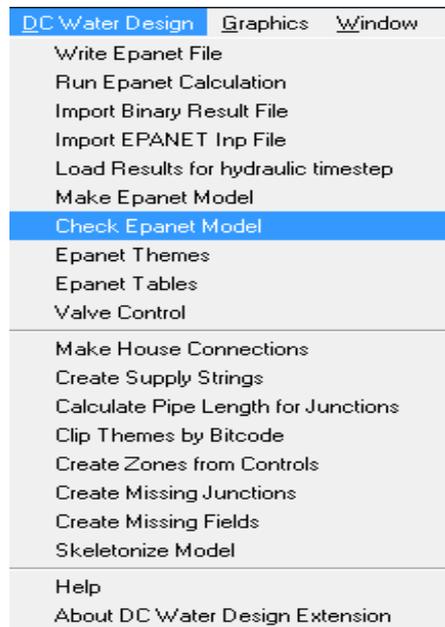


Figura 3.7 – Menu do DC Water de verificação de inconsistências

3.4 REDES UTILIZADAS NA APLICAÇÃO

Foram utilizadas duas redes para os testes da aplicação. A primeira foi uma rede teórica, conhecida como a “Rede Dois Anéis”, e a segunda foi uma rede real do bairro do Bessa na cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba.

3.4.1 Rede Dois Anéis (Two-Loop)

A Rede “Dois Anéis”, proposta por Alperovitz e Shamir (1977), é uma rede composta de dois circuitos, com seis nós de consumo, um reservatório e oito trechos (Figura 3.8). Esta é uma rede pequena e muito prática para ser utilizada como teste em procedimentos experimentais, já que possibilita um menor tempo de processamento e facilita a verificação de sua adequação e aplicabilidade às normas envolvidas, bem como a identificação mais rápida de possíveis erros. (FORMIGA, 2005)

As características dos nós da rede “Dois Anéis” é descrita na Tabela 3.1, enquanto que as dos trechos estão na Tabela 3.2 e os custos dos trechos encontram-se na Tabela 3.3.

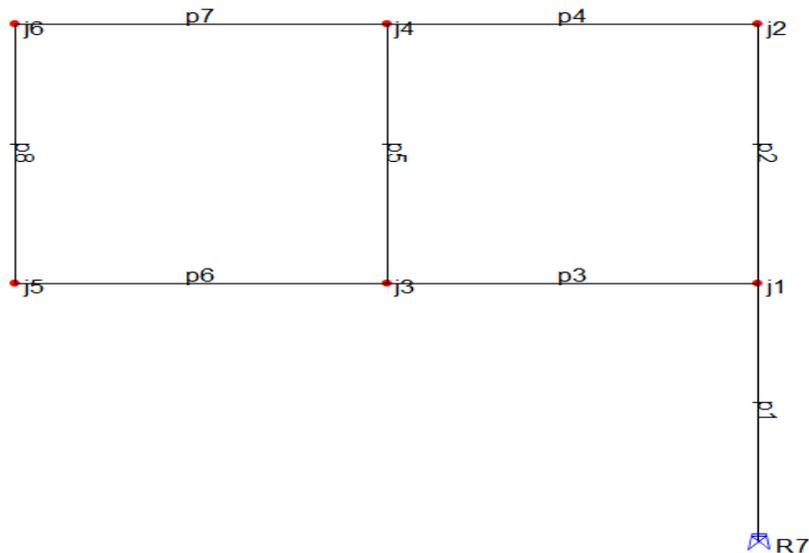


Figura 3.8 – Esquema da rede “Dois Anéis” com a distribuição dos trechos e dos nós - Adaptada de Formiga (2005)

Tabela 3.1 – Dados referentes aos nós da rede “Dois Anéis”

Nó	Elevação em m)	Demanda em l/s
j1	150	27,78
j2	160	27,78
j3	155	33,33
j4	150	75,00
j5	165	91,67
j6	160	55,56
R7 (reservatório)	210	-

Fonte: Adaptada de Formiga (1999)

Tabela 3.2 – Dados referentes aos trechos da rede “Dois Anéis”

Trecho	Nó à montante	Nó à jusante	Comprimento
p1	R7	j1	1000
p2	j1	j2	1000
p3	j1	j3	1000
p4	j2	j4	1000
p5	j3	j4	1000
p6	j3	j5	1000
p7	j4	j6	1000
p8	j5	j6	1000

Fonte: Adaptada de Formiga (1999)

Tabela 3.3 – Custo unitário da tubulação em Unidades Monetárias para a rede “Dois Anéis”

Diâmetro (mm)	Custo (UMT/m)
50	5
100	11
150	16
200	24
250	32
300	50
350	60
400	90
450	130
500	170
550	300
600	550

Fonte: Adaptada de Formiga (1999)

3.4.2 Rede do bairro do Bessa

O projeto desta rede foi desenvolvido pela CAGEPA (Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba) em 1982 (LEAL, 1995) e é composta por 01 reservatório, 72 trechos e 61 nós.

A Figura 3.9 apresenta o esquema da rede com a identificação dos trechos e a Figura 3.10 apresenta o esquema da rede com a identificação dos nós. A Tabela 3.4 apresenta os comprimentos dos trechos da rede Bessa. A Tabela 3.5 apresenta o custo unitário da tubulação de acordo com os diâmetros. A Tabela 3.6 apresenta a demanda nos nós da rede.

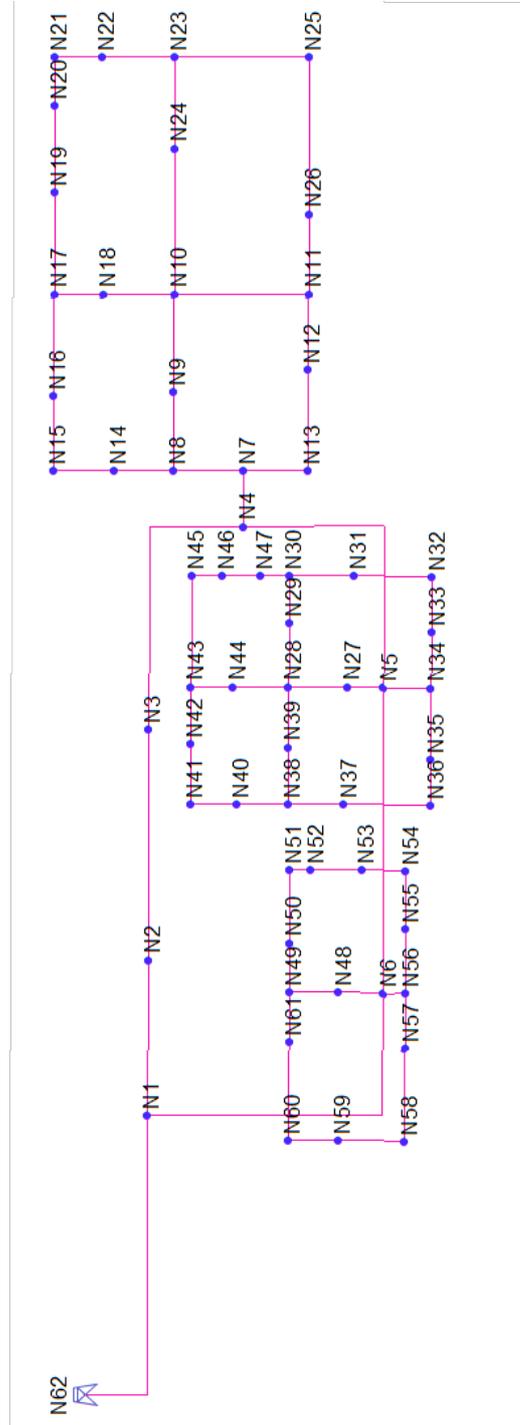


Figura 3.10 – Esquema da rede do Bessa com a identificação e distribuição dos nós e do reservatório

Tabela 3.4 – Comprimentos e identificação dos trechos da rede do Bessa

Trecho	Comp.	Trecho	Comp.	Trecho	Comp.	Trecho	Comp.
T1	2540	T19	290	T37	285	T55	260
T2	350	T20	180	T38	210	T56	230
T3	1140	T21	315	T39	240	T57	115
T4	1430	T22	300	T40	250	T58	180
T5	1020	T23	295	T41	340	T59	140
T6	1430	T24	215	T42	270	T60	215
T7	1710	T25	140	T43	240	T61	175
T8	220	T26	220	T44	160	T62	180
T9	190	T27	220	T45	260	T63	260
T10	295	T28	285	T46	250	T64	205
T11	390	T29	300	T47	330	T65	255
T12	370	T30	315	T48	230	T66	260
T13	190	T31	170	T49	385	T67	275
T14	310	T32	110	T50	160	T68	315
T15	205	T33	280	T51	330	T69	200
T16	305	T34	225	T52	210	T70	175
T17	295	T35	200	T53	150	T71	300
T18	300	T36	190	T54	255	T72	250

Tabela 3.5 – Custo unitário da tubulação em Unidades Monetárias (UMT) para a rede do Bessa

Diâmetro (mm)	Custo (UMT/m)
100	1629
150	4054
200	5769
250	7718
300	9237
350	11012
400	12397
450	15501
500	17686
600	23132

Fonte: Adaptada de Formiga (1999)

Tabela 3.6 – Dados referentes aos nós da rede do Bessa

Nó	Elevação	Demanda	Nó	Elevação	Demanda
N1	5,0	0,00	N32	4,50	3,70
N2	5,0	43,40	N33	5,00	3,20
N3	4,0	40,29	N34	5,00	3,20
N4	4,5	0,00	N35	6,00	2,60
N5	4,5	0,00	N36	4,50	2,10
N6	4,5	0,00	N37	4,50	2,10
N7	4,5	0,00	N38	4,00	2,10
N8	5,0	7,40	N39	4,00	2,60
N9	4,5	5,20	N40	4,00	2,10
N10	5,0	4,70	N41	4,00	4,20
N11	3,5	4,20	N42	4,00	3,20
N12	3,5	7,40	N43	4,00	3,20
N13	3,5	10,50	N44	4,00	4,70
N14	5,0	5,20	N45	4,00	6,30
N15	6,0	5,20	N46	4,50	4,70
N16	6,0	6,00	N47	4,00	6,30
N17	6,0	2,60	N48	4,50	4,70
N18	6,0	3,20	N49	3,00	2,60
N19	6,0	4,20	N50	5,00	1,60
N20	6,0	4,20	N51	4,00	2,60
N21	5,0	2,60	N52	3,00	4,30
N22	3,0	5,20	N53	4,50	4,30
N23	3,5	61,90	N54	4,50	8,40
N24	6,0	7,90	N55	4,50	3,70
N25	3,5	58,30	N56	5,00	2,10
N26	3,5	2,60	N57	5,00	3,20
N27	4	3,70	N58	4,70	3,20
N28	4,0	3,20	N59	5,00	1,60
N29	2,5	4,20	N60	5,00	2,80
N30	2,5	8,00	N61	4,50	3,20
N31	3,5	4,70	N62	5,40	0,00

(reservatório)

Fonte: Adaptada de Formiga (1999)

3.5 BASE DE DADOS

A base de dados do ArcView GIS utilizada foi formada de arquivos do tipo dBASE²⁸, cuja extensão é “.dbf”, que é um formato simples para armazenamento de dados de forma estruturada. Foram utilizadas seis (06) tabelas de arquivos de dados. Três (03) delas são criadas automaticamente ao se adicionar os temas correspondentes no ArcView GIS e, posteriormente, são adicionados alguns campos sem, no entanto, retirar ou alterar nenhum dos campos originais e são essenciais para a execução do Epanet dentro do ArcView GIS. Seus nomes no ambiente do ArcView GIS são precedidos da expressão: “Attributes of” seguidos do nome do tema a qual pertencem. As outras três (03) tabelas são criadas pelo usuário dentro do ArcView GIS e, juntamente com as anteriores, são essenciais para a rotina de otimização utilizada neste trabalho (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 – Lista de tabelas utilizadas na base de dados do ArcView GIS

Tabela (.dbf)	Criação automática?	Tema associado (.shp) :	Essencial para o Epanet e DC Water?	Essencial para a rotina de otimização?	Conteúdo:
Junctions	sim	Junctions	sim	sim	Dados dos nós
Pipes	sim	Pipes	sim	sim	Dados dos trechos
Reservoir	sim	Reservoir	sim	sim	Dados do reservatório
Diametros	não	-	não	sim	Dados dos diâmetros em ordem crescente
Parametros	não	-	não	sim	Parâmetros de configuração
Custos	Não	-	não	sim	Resultados das iterações sucessivas

3.5.1 Tabelas com criação automática por ocasião da inclusão dos temas

²⁸ Direitos autorais: dBASE Inc.

Os arquivos dos temas têm extensão “.shp” (“shapefile”) e o arquivo do projeto tem extensão “.apr”. Cada tema do ArcView GIS associa um conjunto de entidades ou objetos a uma tabela de arquivos de dados, neste caso dBase. Por exemplo, o tema “Pipes”, que representa os trechos da tubulação, é associada à tabela “Pipes.dbf”, de forma tal que suas propriedades, tais como identificação, comprimento e diâmetro, foram armazenadas nesta tabela. O tema e a tabela têm uma relação de 1:1 (um para um), ou seja, para cada entidade do tema está associado apenas um registro na tabela. Tanto as entidades dos temas, quanto os registros correspondentes a eles na tabela têm uma existência dependente, quer dizer, se uma entidade (um trecho, por exemplo) é criada ou excluída, o registro correspondente àquela entidade também será criado ou excluído. Tanto a tabela de arquivos “Reservoir.dbf” como as tabelas “Junctions.dbf” e “Pipes.dbf” (Figura 3.11) poderiam ter quaisquer outros nomes, mas optou-se por estes para facilitar a associação delas com as configurações do Epanet, conforme Figura 3.12, que é essencial para a execução do Epanet.

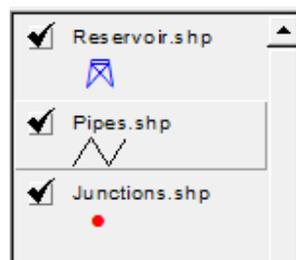


Figura 3.11 – Temas do projeto de rede “Dois Anéis”

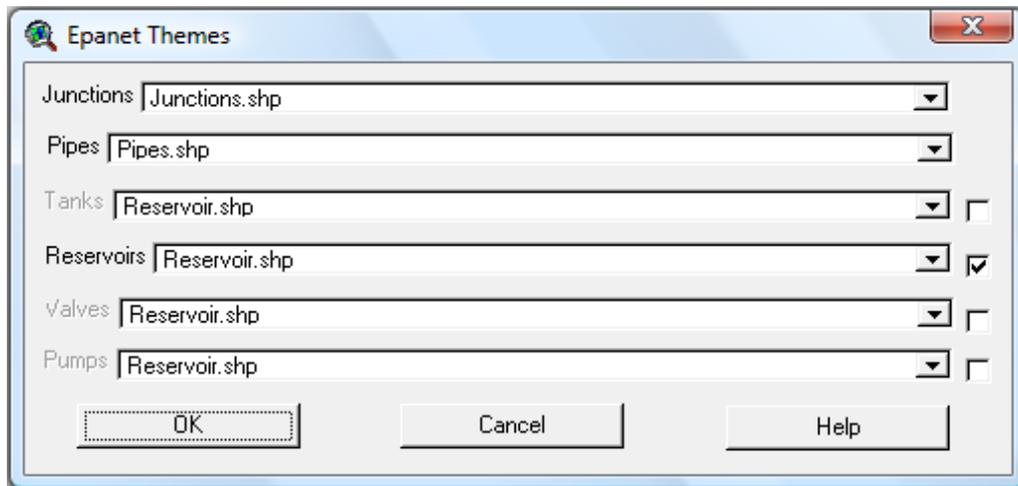


Figura 3.12 – Configuração do DC Water com os temas do projeto de rede

Tabelas com criação automática do ArcView por ocasião da importação dos temas: Reservoir.dbf (Quadro 3.2), Junctions.dbf (Quadro 3.3), Pipes.dbf (Quadro 3.4). Os campos marcados com * precisam ser preenchidos para a execução da rotina de otimização. A estrutura destas tabelas é a seguinte:

Quadro 3.2 – Lista de campos da tabela Reservoir.dbf

Propriedades da Tabela Reservoir.dbf				
Nome do campo	Tipo de dados	Descrição	Usado pelo EPANET?	Usado pela rotina de otimização?
Shape	Texto	Identifica o tipo de feição: polyline	Sim	Não
MapKey	Texto	Identificação automática gerenciada pelo Epanet	Sim	Não
DC_ID	Texto	*Identificação do reservatório preenchida pelo usuário (é preciso que seja iniciada por letras)	Sim	Sim
Elevation	Número	*Campo criado automaticamente. Refere-se à cota de altitude do nó em metros. Precisa ser preenchido pelo usuário.	Sim	Não
Demand	Número	*Campo criado automaticamente. Refere-se à demanda de água em l/s. Deve ser preenchido pelo usuário com zero.	Sim	Não
Pattern	Texto	Carga padrão (opcional)	Sim	Não
Result_Head	Número	Carga resultante no reservatório	Sim	Não
Result_Pressure	Número	Pressão resultante no reservatório	Sim	Sim
Result_demand	Número	Demanda resultante em l/s	Sim	Não
EmitterCoefficient	Número	Fluxo emitido a 1 m de pressão	Sim	Não
Head	Número	*Carga hidráulica do reservatório: elevação+pressão. Deve ser preenchido com zero pelo usuário.	Sim	Não

Quadro 3.3 – Lista de campos da tabela Junctions.dbf

Propriedades da Tabela Junctions.dbf				
Nome do campo	Tipo de dados	Descrição	Usado pelo EPANET?	Usado pela rotina de otimização?
Shape	Texto	Identifica o tipo de feição: point ou polyline	Sim	Não
MapKey	Texto	Identificação automática gerenciada pelo Epanet	Sim	Não
DC_ID	Texto	*Identificação dos nós preenchida pelo usuário (é preciso que seja iniciada por letras)	Sim	Sim
Elevation	Número	*Campo criado automaticamente. Refere-se à cota do nó em metros. Precisa ser preenchido pelo usuário.	Sim	Não
Demand	Número	*Campo criado automaticamente. Refere-se à demanda de água em l/s. Precisa ser preenchido pelo usuário.	Sim	Não
Pattern	Texto	Demand padrão.	Sim	Não
Result_Head	Número	Carga resultante no nó	Sim	Não
Result_Pressure	Número	Pressão resultante no nó	Sim	Sim
Result_demand	Número	Demanda resultante em l/s	Sim	Não
EmitterCoefficient	Número	Fluxo emitido a 1 m de pressão	Sim	Não

Quadro 3.4 – Lista de campos da tabela Pipes.dbf

Propriedades da Tabela Pipes.dbf				
Nome do campo	Tipo de dados	Descrição	Usado pelo EPANET?	Usado pela rotina de otimização?
Shape	Texto	Identifica o tipo de feição: point ou polyline	Sim	Não
MapKey	Texto	Identificação automática gerenciada pelo Epanet	Sim	Não
DC_ID	Texto	*Identificação dos trechos preenchida pelo usuário (é preciso que seja iniciada por letras)	Sim	Sim
Node1	Texto	*Identificação do nó do trecho à montante, preenchido com a execução da função “Make Epanet Model”	Sim	Não
Node2	Texto	*Identificação do nó do trecho à jusante, preenchido automaticamente com a execução da função “Make Epanet Model”	Sim	Não
Length	Número	*Comprimento do trecho em m, preenchido pelo usuário	Sim	Sim
Diameter	Número	*Diâmetro da tubulação em mm. Preenchido com o menor valor da tabela de diâmetros.	Sim	Sim
Roughness	Número	*Fator de atrito de Darcy Weisbach (adimensional)	Sim	Não
MinorLoss	Número	Mínimo coeficiente de perda	Sim	Não
Result_Flow	Número	Fluxo em l/s	Sim	Não
Result_velocity	Número	Velocidade do fluxo em m/s	Sim	Não
Result_Headloss	Número	Perda de carga no trecho em m	Sim	Não
Status	Texto	Aceita os seguintes valores: Open, closed, CV (check valve)	Sim	Não

3.5.2 Tabelas auxiliares à execução da rotina de otimização criadas pelo usuário:

- Custos.dbf: será preenchida automaticamente pela rotina de otimização (Quadro 3.5).
- Diametros.dbf: deve ser preenchida pelo usuário em ordem crescente de valores de diâmetros (Quadro 3.6).
- Parametros.dbf.: deve ser preenchida pelo usuário, sendo que o valor 1 é o mais rápido (Quadro 3.7).

Quadro 3.5 – Lista de campos da tabela Custos.dbf

Propriedades da Tabela Custos.dbf				
Nome do campo	Tipo de dados	Descrição	Usado pelo EPANET?	Usado pela rotina de otimização?
Trecho	Texto	Identificação dos trechos	Não	Sim
Diametro	Número	Diâmetro da tubulação do trecho	Não	Sim
Custo_tr	Número	Custo monetário do trecho	Não	Sim
Custo_Tot	Número	Custo monetário de toda a rede	Não	Sim
Gradiente	Número	Gradiente calculado com o diâmetro deste trecho	Não	Sim
DC_ID_LOSS	Texto	Identificação do nó com a menor pressão	Não	Sim
Step	Número	Avaliações realizadas com diâmetros nos trechos	Não	Sim
Pressure1	Número	Menor pressão anterior ao incremento do diâmetro	Não	Sim
Pressure2	Número	Menor pressão posterior ao incremento do diâmetro	Não	Sim
Dif_pres	Número	Diferença entre Pressure1 e Pressure2	Não	Sim
Trech_alt	Texto	Trecho que sofreu alteração de diâmetro na iteração anterior	Não	Sim

Quadro 3.6 – Lista de campos da tabela Diametros.dbf

Propriedades da Tabela Diametros.dbf				
Nome do campo	Tipo de dados	Descrição	Usado pelo EPANET?	Usado pela rotina de otimização?
Diametro	Número	Diâmetro em mm da tubulação	Não	Sim
Custo	Número	Custo de 1m da tubulação com o diâmetro especificado	Não	Sim

Quadro 3.7 – Lista de campos da tabela Parametros.dbf

Propriedades da Tabela Parametros.dbf				
Nome do campo	Tipo de dados	Descrição	Usado pelo EPANET?	Usado pela rotina de otimização?
NumStep	Número	Valor adicionado pelo usuário que será atribuído a uma variável interna do DC Water.	Não	Sim

3.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO

3.6.1 Solução prévia

A solução prévia do método de Granados, através da velocidade máxima admissível na tubulação, não é implementada neste método de otimização, visto que ela é utilizada só em redes ramificadas. Segundo Gomes (1997), o método da velocidade máxima admissível não tem significado prático e consiste apenas numa solução de contorno, ou de partida para a segunda fase do método Granados, determinando o menor diâmetro comercial para cada trecho da rede, de modo que a velocidade máxima não ultrapasse o limite da capacidade do tubo. Esta adaptação do Método de Granados, por sua vez, foi aplicado em

redes malhadas e seus diâmetros foram iniciados com valores mínimos admissíveis, cadastrados na tabela de diâmetros.

3.6.2 Número de iterações

A implementação do método de otimização utilizado aqui desenvolve iterações que testam de forma consecutiva e crescente os diâmetros da tubulação, verificando, a cada passo, as pressões, as perdas, o gradiente de câmbio e os custos dos trechos total e parcial.

A quantidade de iterações no processo de otimização é definida pelo usuário ao responder a uma solicitação da rotina de otimização no início da execução ou pode ser configurada para atingir uma determinada precisão. Neste processo, à medida em que se incrementam os diâmetros nos trechos, avalia-se a diminuição na perda de carga, mas a alteração definitiva do diâmetro é feita no trecho que proporciona menor aumento de custo por unidade de carga, ou seja, um menor gradiente de câmbio.

3.6.3 Os scripts do DC Water

O DC Water é formado por diversos “scripts” ou programas computacionais desenvolvidos na linguagem própria do ArcView GIS 3.x , o “Avenue”. Estes scripts são “abertos” aos usuários para serem utilizados e até adaptados, desde que se respeite os direitos autorais e não sejam comercializados, mas sim disponibilizados gratuitamente. É através destes scripts que as funções do DC Water são executadas.

Neste trabalho, alguns dos scripts do DC Water precisaram sofrer algumas pequenas adaptações para que pudessem ser executados repetidamente sem interrupções. Por exemplo, quando se executa a opção do DC Water Design “Run Epanet Calculation”, alguns

scripts são executados e, entre eles, o script “DCWatDes.Model.Epanet.writeInpFile” que, entre outras coisas, solicita, através de um diálogo, uma resposta do usuário. Naturalmente que a solicitação de uma intervenção do usuário, a cada execução do Epanet, inviabilizaria um processo interativo e automático que pode ser repetido centenas de vezes. Num outro caso, é apresentado um pequeno relatório a cada execução do Epanet. Após centenas de iterações, por exemplo, o resultado seria centenas de janelas com relatórios apresentados, sobrecarregando a tela e a memória do computador, comprometendo o desempenho do processamento de otimização.

São quatro (04) os scripts que sofreram uma pequena adaptação:

- DCWatDes.Model.Epanet.check: A única alteração se deu no isolamento (através de apóstrofes) de uma parte do script que procura por válvulas que não existem na rede de estudo e causa erros. (Figura 3.12)
- DCWatDes.Model.Epanet.loadResultsForStep: houve apenas alguns trechos que foram isolados, através dos apóstrofes, e uma linha de código que foi adicionada. (Figura 3.13)

```

' check for valves with diameter 0
' ftbValves = lstFTabs.get("Valves")
' strQuery = "([diameter] = 0)or([diameter].is
' bmpSelection = ftbValves.getSelection
' if(bmpSelection = nil)then
'   MsgBox.error("Empty Selection", "DC Water
'   exit
' end
' ftbValves.query(strQuery, bmpSelection, #VT
' if(bmpSelection.count > 0)then
'   MsgBox.warning("Found"++bmpSelection.count
'   ftbValves.updateSelection
'   exit
' end
'
' check for valves with type null
' ftbValves = lstFTabs.get("Valves")
' strQuery = "([type] = """)or([type].isnull
' bmpSelection = ftbValves.getSelection
' if(bmpSelection = nil)then
'   MsgBox.error("Empty Selection", "DC Water
'   exit
' end
' ftbValves.query(strQuery, bmpSelection, #VT
' if(bmpSelection.count > 0)then
'   MsgBox.warning("Found"++bmpSelection.count
'   ftbValves.updateSelection
'   exit
' end
'end

```

Figura 3.12 – Pequeno trecho isolado do script: DCWatDes.Model.Epanet.check

```

' strStep = MsgBox.choice(lstSteps, "Choos
' if(strStep = nil)then
'   return nil
' end
'
strStep=_theNumStep 'acrescentado

```

Figura 3.13 – Pequeno trecho isolado e uma linha adicionada no script:

DCWatDes.Model.Epanet.loadResultsForStep

- DCWatDes.Model.Epanet.run: sofreu apenas o acréscimo das expressões condicionais: “if” e “end”. (Figura 3.14)

Estes scripts permanecem ocultos ao se executar o DC Water, mas quando são colocados na janela de scripts do ArcView, eles se tornam visíveis e, uma vez tenham sido alterados e compilados, passam a ter prioridade na execução. O arquivo que sofre alteração é

apenas uma cópia, enquanto o original permanece inalterado. Se a cópia for descartada, o original voltará a ter prioridade na execução. Para que se possa manipular a cópia, é necessário que se crie um novo script (por padrão tem o nome de script1). Logo em seguida, ativa-se o procedimento “Load System Script” do Menu Script e será apresentada uma lista de scripts. Ao se escolher um deles, este será adicionado à janela do “script1”, recentemente criado (uma cópia). Após fazer a devida alteração, escolhe-se, no mesmo menu, a opção “Properties...” que permite a alteração do nome de “Script1” para o nome original do Script, tal como “DCWatDes.Model.Epanet.writeInpFile”, por exemplo. Logo em seguida, deve-se “compilar” o texto através da opção “Compile” do menu “Script”. Desta forma, embora ainda exista o script original oculto, o que passará a ser executado é a cópia que foi alterada e passou a fazer parte do projeto do ArcView GIS (Figura 3.16).

```

if (_showReport) then      '**** acrescentado
    if(av.run("DCWatDes.File.waitFor", {fInOut, numTimeout}).not)then
        exit
    end

    twinReport = TextWin.make(fInOut, "DC Water Design")
end

```

Figura 3.14 – Expressões “if” e “end” adicionados a um trecho do script: DCWatDes.Model.Epanet.run

- DCWatDes.Model.Epanet.writeInpFile: houve apenas alguns trechos que foram isolados através dos apóstrofes. (Figura 3.15)

```
'fIn_Xml = FileDialog.put("hydraulic_model.xml".asFileName
'if(fIn_Xml = nil ) then
'| User selected cancel
'|   exit
'|end

'if(fIn_Xml.getFullName.contains(" "))then
'| MsgBox.error("The path"+NL+"'" +fIn_Xml.getFullName+" '
'|   exit
'|end
```

Figura 3.15 – Pequeno trecho isolado do script: DCWatDes.Model.Epanet.writeInpFile

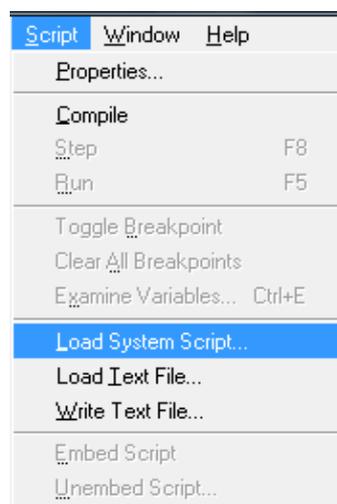


Figura 3.16 – Menu que permite uma cópia dos scrips do DC Water

3.6.4 O Script “Master”

O quinto script utilizado foi chamado de “Master”, mas poderia ter qualquer outro nome (Anexo I). Este não é propriedade do DC Water e sim fruto do desenvolvimento deste trabalho. O script Master, também escrito em Avenue, embora simples, é o responsável pelo controle das repetidas iterações baseadas numa adaptação do Método Granados, pelas avaliações de resultados de pressão e cálculos de gradientes e pela produção dos relatórios dos processamentos produzidos, tanto pelo Epanet quanto pelo DC Water.

Conforme já observado anteriormente, o método Granados é composto de duas etapas, sendo a primeira uma determinação prévia de diâmetros baseada na velocidade

máxima admissível e, a segunda, o cálculo dos diâmetros econômicos da rede. Esta técnica visa atingir o objetivo de maior economia sem, no entanto, representar uma sobrecarga de cálculos ao projetista. Na rotina de otimização informatizada (“Master”), baseada numa adaptação do método de Granados, o grande número de cálculos não é um problema, já que as iterações ocorrem de forma automática, com valores de diâmetros diferentes, sem a intervenção direta do projetista durante a execução, possibilitando a comparação de diversas possibilidades em um tempo relativamente curto, liberando o projetista para outras atividades.

A experiência prática do projetista, porém, é fundamental ao final das iterações solicitadas, visto que um relatório será apresentado com os custos da rede, os valores de diâmetros atribuídos aos trechos nas diversas etapas das iterações com as pressões nos nós e os menores gradientes resultantes. Visto que, ao final, haverá valores de pressões finais muito próximas entre si, caberá ao projetista definir o que é razoável para o projeto, que satisfaça ao mesmo tempo os requisitos técnicos da rede e os recursos financeiros disponíveis para o empreendimento, já que a variação da pressão resultante nas últimas iterações, mesmo incrementando os diâmetros e, conseqüentemente diminuindo as perdas de carga, tende a se estabilizar, mantendo uma variação de décimos do valor da pressão em mca.

3.6.5 Etapas do método de otimização

Antes de se iniciar a execução da rotina de otimização é necessário que toda a base de dados esteja estruturada.

As etapas de cálculos na rotina informatizada podem ser vistas no fluxograma da Figura 3.17, onde cada etapa foi numerada a fim de facilitar a sua descrição pormenorizada:

Etapas 01 – Atribui às tubulações o menor diâmetro da tabela:

Esta atribuição é feita automaticamente logo depois de se apagar o conteúdo da tabela “custos.dbf” pela rotina Master. Ela é importante, pois permite testar todas as possibilidades de diâmetros, verificando o que produz melhor gradiente no trecho em consideração.

Etapa 02 – Executa o Epanet

Esta primeira execução do Epanet garante que os campos das tabela de nós (Junctions.dbf) e de trechos (Pipes.dbf) sejam preenchidos com, a fim de se verificar a pressão com os diâmetros mínimos cadastrados.

Etapa 03 – Busca a menor pressão na tabela de nós

É feita uma varredura na tabela de nós (Junction.dbf) para se encontrar a menor pressão resultante. Este valor preencherá o campo pressure1 da tabela de trechos, Pipe.dbf.

Etapa 04 – Loop com o número de vezes em que a pressão da rede será avaliada

O número de vezes em que a pressão da rede será avaliada precisa ser previamente definido pelo usuário. Isto pode ser feito por se escrevê-lo na janela de entrada de dados da rotina Master. Caso não o faça, a execução da rotina se encerrará. (Figura 3.18)

O valor escolhido para este loop irá definir quantas reavaliações serão feitas na rede, ou seja, quantas vezes os trechos terão seus diâmetros incrementados e as pressões dos nós reavaliadas. O número máximo possível será o produto entre a quantidade de trechos e a quantidade de diâmetros menos 01 (um) cadastrados, muito embora este máximo não tem sentido, pois elevaria todos os trechos aos diâmetro máximo.

Etapa 05 – Loop com a avaliação em todos os trechos em busca do melhor gradiente

Este segundo loop encontra-se dentro do loop anterior (etapa 04). É aqui dentro que ocorre a parte principal do cálculo da rede.

Etapa 06 - Incrementa temporariamente o diâmetro com o valor imediatamente superior

É nesta etapa que os diâmetros serão modificados para um valor maior de forma experimental e temporária, permitindo a avaliação de seu efeito sobre a pressão na etapa 08 e a sua alteração definitiva na etapa 10, para o trecho com o menor gradiente. Eis aí a importância de os diâmetros serem cadastrados crescentemente, possibilitando que todos eles sejam avaliados de forma sequencial.

Etapa 07 – Executa o Epanet

Uma vez que o diâmetro do trecho tenha sido alterado é preciso que se execute o Epanet para que os novos efeitos resultantes da alteração do diâmetro sejam calculados e gravados na tabela.

Etapa 08 - Busca a menor pressão encontrada na tabela de nós

Visto que o Epanet foi executado novamente, é preciso que se encontre a menor pressão resultante na tabela de nós.

O valor encontrado preencherá o campo “pressure2” da tabela de de trechos, a Pipe.dbf e na tabela de Custos.dbf e será convertido, ao final, na cota piezométrica de cabeceira.

Etapa 09 – Calcula o gradiente

Segundo Gomes (1997), o gradiente de câmbio refere-se ao acréscimo de custo de um determinado trecho, produzido pela mudança de seu diâmetro pelo diâmetro nominal consecutivo superior, relacionado com a diminuição da perda de carga correspondente. O mesmo autor também explica que este gradiente representa o custo marginal da diminuição da perda de carga alcançada em um trecho determinado, mediante a substituição do seu diâmetro pelo consecutivo superior:

$$\text{gradiente} = (c_2 - c_1)/(h_1 - h_2) \quad (14)$$

Onde:

c_2 = custo no trecho com o diâmetro D_2

c_1 = custo no trecho com o diâmetro D_1

h_1 = menor pressão na rede com o diâmetro D_1

h_2 = menor pressão na rede com o diâmetro D_2

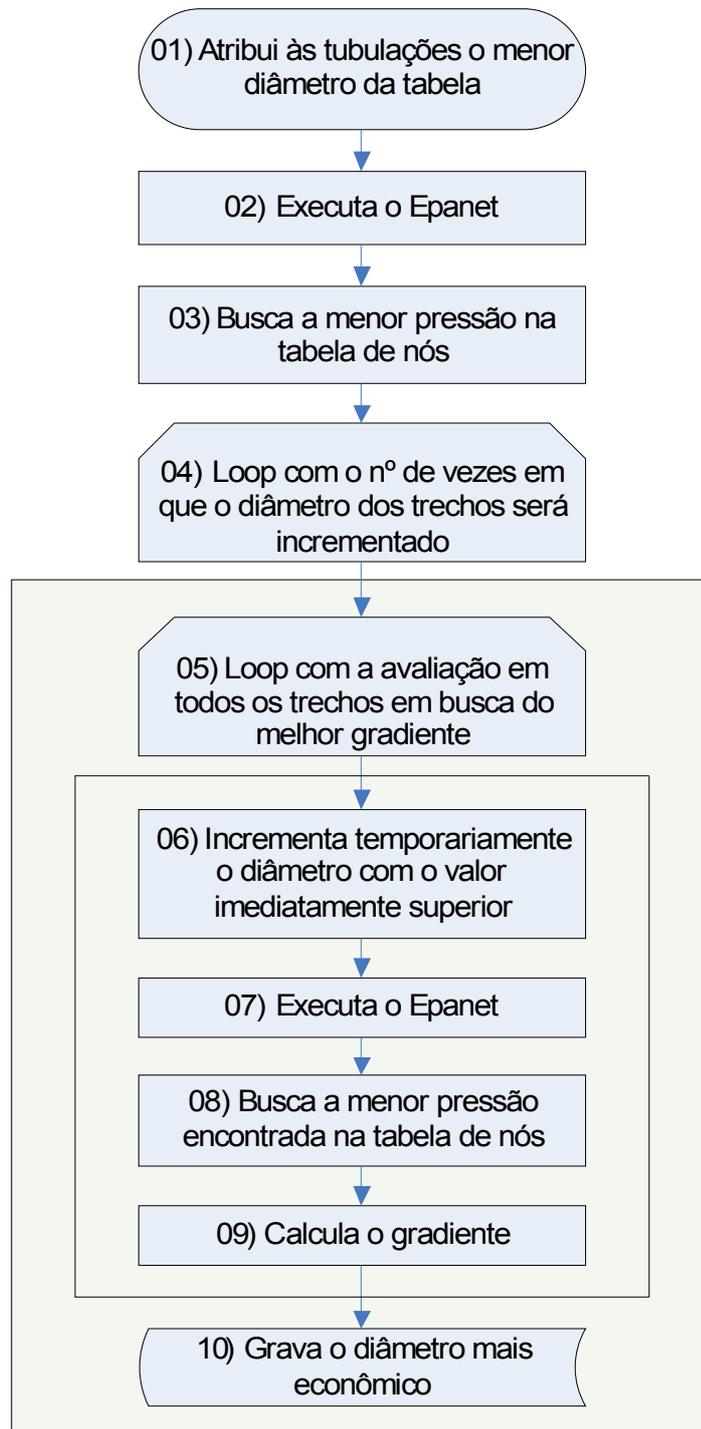


Figura 3.17 -Fluxograma da rotina de otimização adaptada do Método Granados

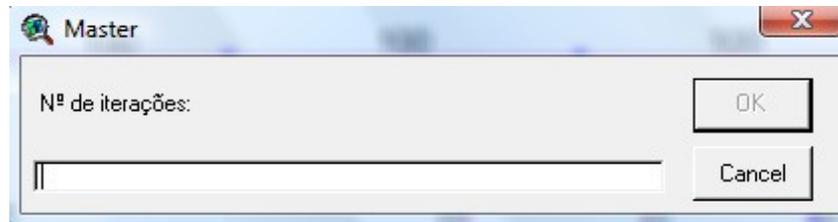


Figura 3.18 – Janela com a solicitação de entrada de um valor numérico indicando quantas iterações o usuário deseja que sejam feitas

Etapa 10 – Grava o diâmetro mais econômico

O trecho com o diâmetro mais econômico, o trecho ótimo, representa aquele cujo gradiente de câmbio foi o menor, o gradiente de câmbio ótimo.(GOMES, 1997)

Ainda nesta 10ª etapa, são feitas duas avaliações *após* a gravação do diâmetro econômico:

- avaliação dos diâmetros dos trechos que se encontram conectados ao trecho que foi alterado, em relação à tabela de cadastros de diâmetros que se encontra em ordem crescente (diametros.dbf). Para cada posição da tabela, que contem um diâmetro, é atribuído um nível a partir do zero, o primeiro nível e, em seguida vem o nível 1, o nível 2 e, assim sucessivamente. Caso um ou mais trechos que se conectam ao trecho alterado, seja num ou noutra extremo, se encontrarem com dois ou mais níveis acima do diâmetro do trecho alterado, o diâmetro do trecho alterado será aumentado em um ou mais níveis de diâmetro a fim de se aproximar dos trechos vizinhos (Figura 3.19);
- é feita uma varredura em todos os trechos da rede a fim de se encontrar algum trecho que esteja entre dois ou mais outros trechos com diâmetros superiores. Caso isso ocorra, o trecho do meio assumirá o diâmetro do trecho imediatamente

superior a fim de corrigir a distorção retornando, em seguida, à etapa 05 (Figura 3.20).

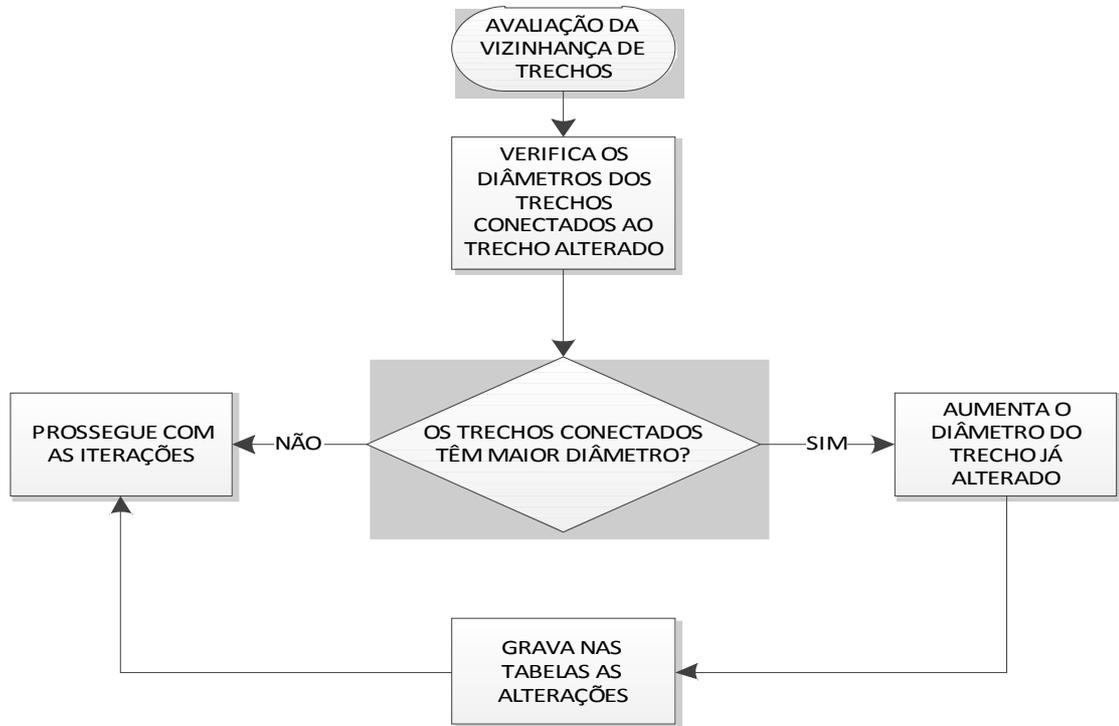


Figura 3.19 – Fluxograma da avaliação de um trecho cujo diâmetro foi alterado

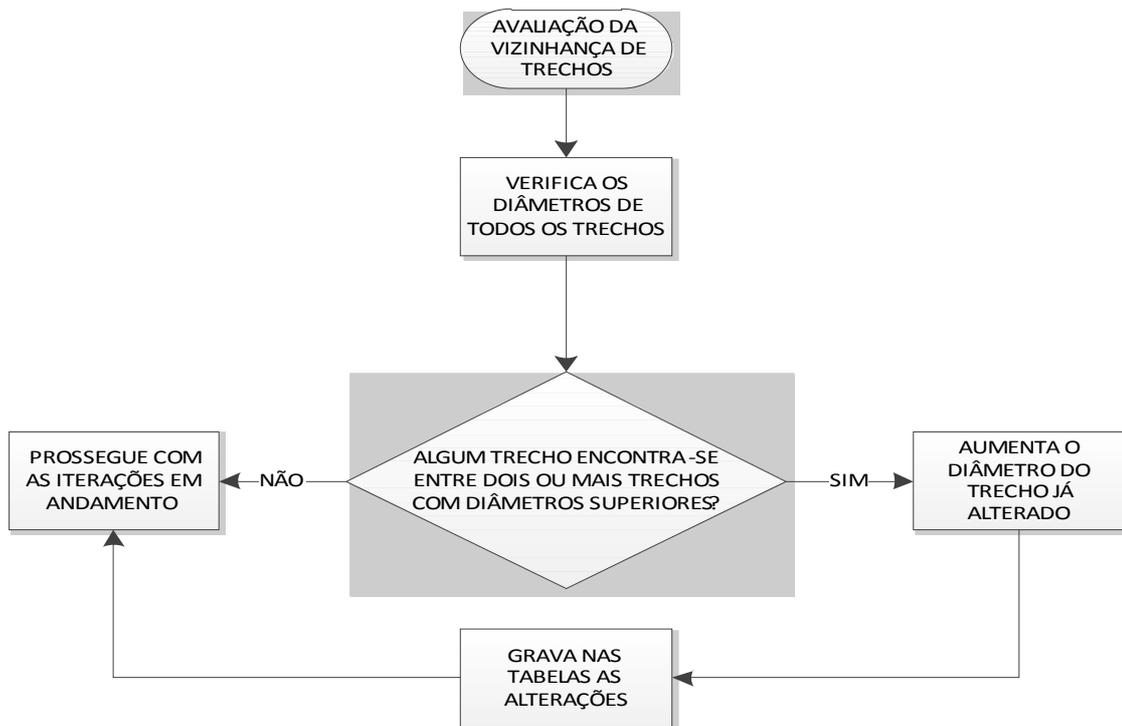


Figura 3.20 – Fluxograma da avaliação dos diâmetros de todos os trechos da rede

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a execução desta metodologia foram escolhidos dois exemplos de redes malhadas que já foram utilizadas em outros trabalhos empregando outras metodologias de otimização, o que possibilita a comparação dos resultados alcançados.

A primeira delas é a Rede “Dois Anéis”, proposta por Alperovitz e Shamir (1977). Esta é uma rede composta de dois circuitos, com seis nós de consumo, um reservatório e oito trechos (FORMIGA, 1999).

A segunda rede pertence a um projeto real de 1982, desenvolvida pela CAGEPA para o bairro do Bessa em João Pessoa – PB. (FORMIGA, 1999)

Em ambas as redes definiu-se internamente ao código da rotina de otimização a pressão mínima dos nós que deveria ser de 30 mca para a Rede “Dois Anéis” e de 15 mca para a Rede do Bessa e, para os cálculos da perda de carga, o EPANET utiliza, quando integrado ao ArcView GIS, a fórmula de Darcy-Weisbach que é aplicável a todos os regimes de escoamento e a todos os líquidos. O valor da rugosidade escolhido por Formiga (2005) para a rede Dois Anéis foi de 0,1 mm e para a rede do Bessa foi de 0,01 mm.

4.1 REDE DOIS ANÉIS (TWO-LOOP)

A rede Dois Anéis é abastecida por gravidade a partir de um reservatório em que, conforme o Método Granados, a cota piezométrica inicial é de 0,0 (zero) mca, mas a cada iteração uma nova cota será determinada pelo sistema. Todos os trechos possuem

comprimento de 1000 m e as características dos trechos e as demandas e cotas de cada nó são apresentados nas tabelas 3.1 a 3.3.

Para a rede Dois Anéis o diâmetro definido para todos os trechos no início do processamento foi de 50 (cinquenta) mm, por ser este o primeiro valor da tabela de diâmetros.

O passo inicial para a execução da metodologia consiste na preparação de todas as estruturas e bases de dados descritas nas seções 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6.

Foi realizado um processamento por etapas de número de iterações a fim de se poder acompanhar a evolução dos dados: 1 iteração (Figura 4.1), 10 iterações (Figura 4.2), 20 iterações (Figura 4.3), 30 iterações (Figura 4.4), 40 iterações (Figura 4.45), 50 iterações (Figura 4.6), 60 iterações (Figura 4.7), 70 iterações (Figura 4.8) e, finalmente, 100 iterações (Figura 4.9).

O processamento com as 100 iterações foi realizado em 35 (trinta e cinco) minutos e os demais com frações deste tempo. Para cada iteração são realizadas, inicialmente, 11 (onze) avaliações, segundo o número dos diâmetros (12 diâmetros cadastrados na tabela “diametros.dbf”) para cada trecho da rede e este número vai decrescendo, à medida em que os diâmetros são incrementados, visto que só são avaliados os diâmetros acima do valor do diâmetro do trecho. Esta rede Dois Anéis é composta de 8 (oito) trechos e 6 (seis) nós e, nas 100 (cem) iterações, foram realizadas 620 (seiscentos e vinte) execuções do EPANET, o que justifica em parte a demora do processamento e ressalta o valor do auxílio de métodos de otimização informatizados no desenvolvimento de projetos de redes de distribuição de água. Portanto, cada iteração demorou cerca de 21 segundos em média.

Nestas iterações observa-se que, a medida em que se incrementa o diâmetro das tubulações, diminui-se a perda de carga e o nível do reservatório, o que resulta na melhor distribuição da pressão nos nós.

A Figura 4.1, por exemplo, na 1ª iteração, apresenta níveis elevados de pressões (191.264,10 mca), já que os diâmetros das tubulações são inicialmente muito pequenos (50 mm) e apenas um trecho foi alterado para 100 mm (1ª iteração) e o nível do reservatório também é muito alto (207.205,62 m). A Figura 4.5, por sua vez, com 40 iterações, tem o nível do reservatório de 208,92 m e as pressões em todos os trechos já se encontram próximas do valor desejado de 30 mca., definido internamente.

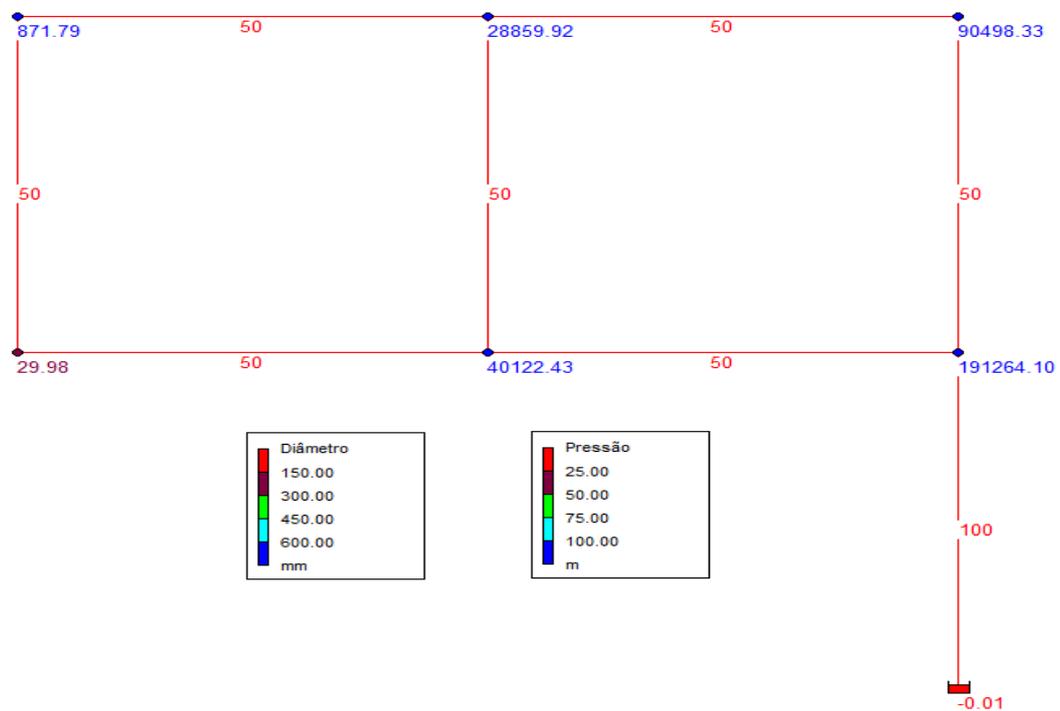


Figura 4.1 – Pressões e diâmetros – 1ª iteração – Cota: 207.205,62 m (Custo: 46.000,00)

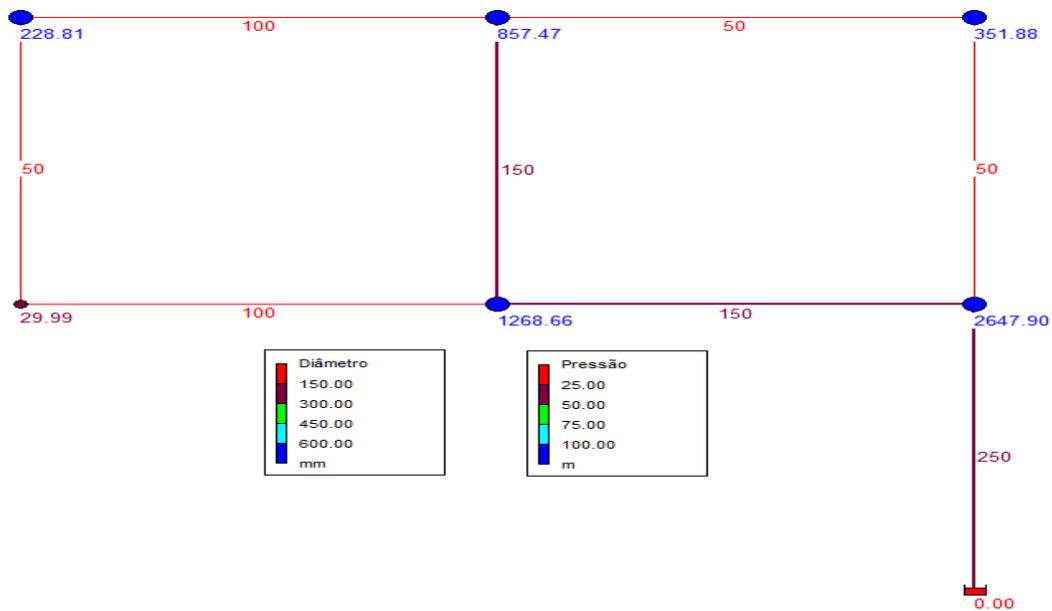


Figura 4.2 – Pressões e diâmetros – 10ª iteração – Cota: 2.931,88 m (Custo: 101.000,00)

A habilidade do projetista é muito importante para avaliar o custo benefício do número de iterações. Por exemplo, à medida em que se incrementam os diâmetros, a cota do reservatório diminui, mas o custo deste investimento pode ser muito alto, como é o caso da passagem da 40ª iteração (Figura 4.5) com o custo de 503.000,00 para a 50ª iteração (Figura 4.6) com o custo de 1.571.000,00 com o benefício de se reduzir em 10,83 m o nível do reservatório.

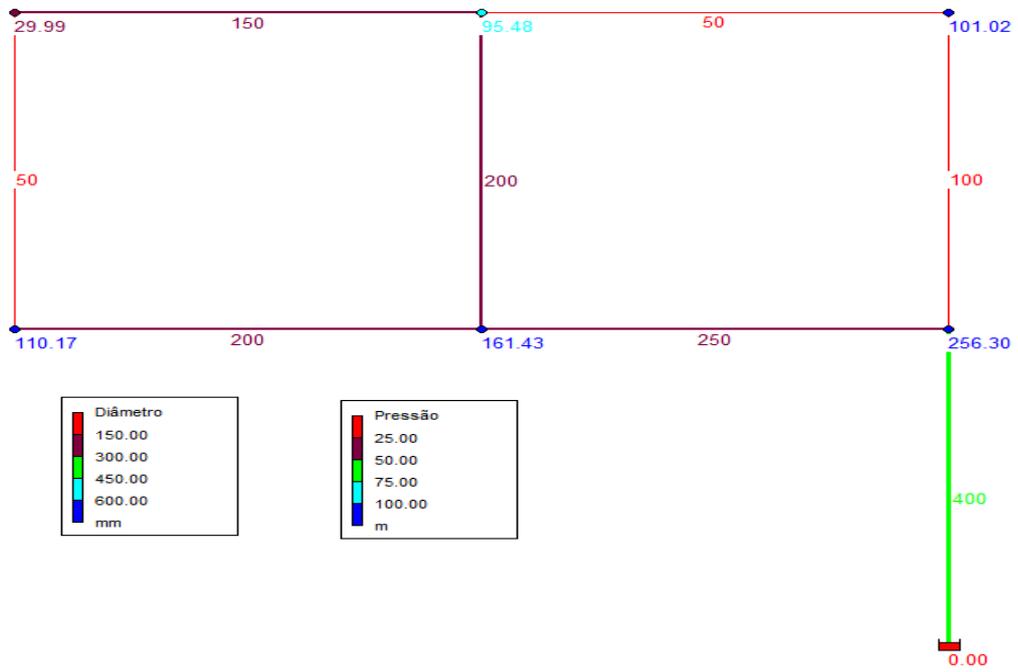


Figura 4.3 – Pressões e diâmetros – 20ª iteração – Cota: 418,25 m (Custo: 207.000,00)

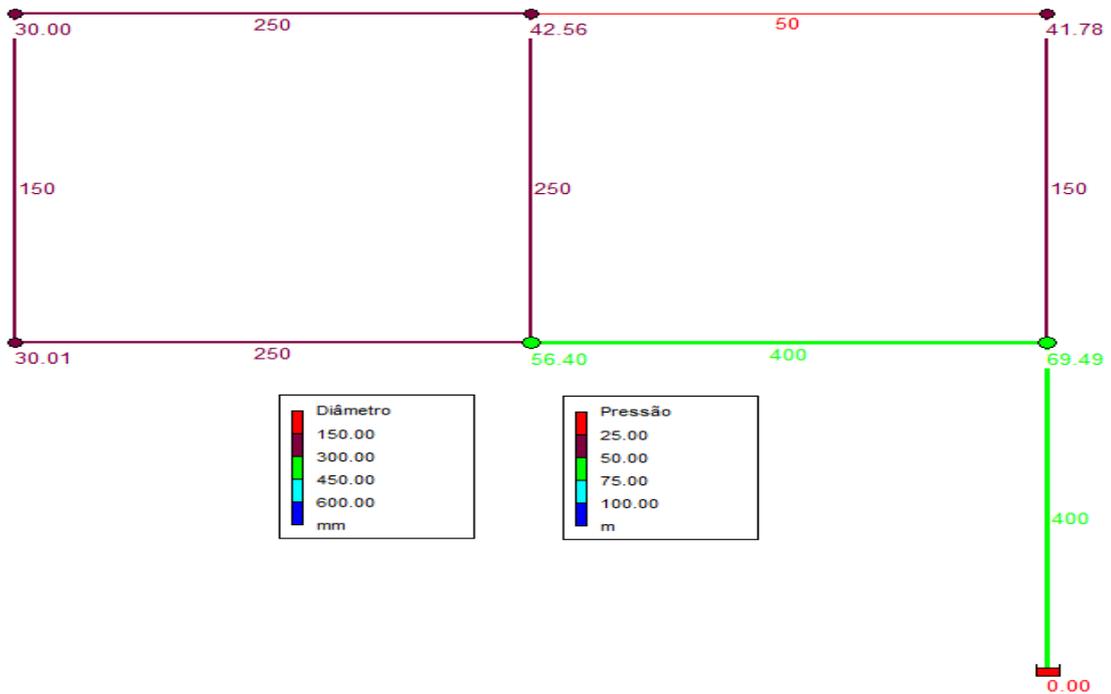


Figura 4.4 – Pressões e diâmetros – 30ª iteração – Cota: 231,44 m (Custo: 313.000,00)

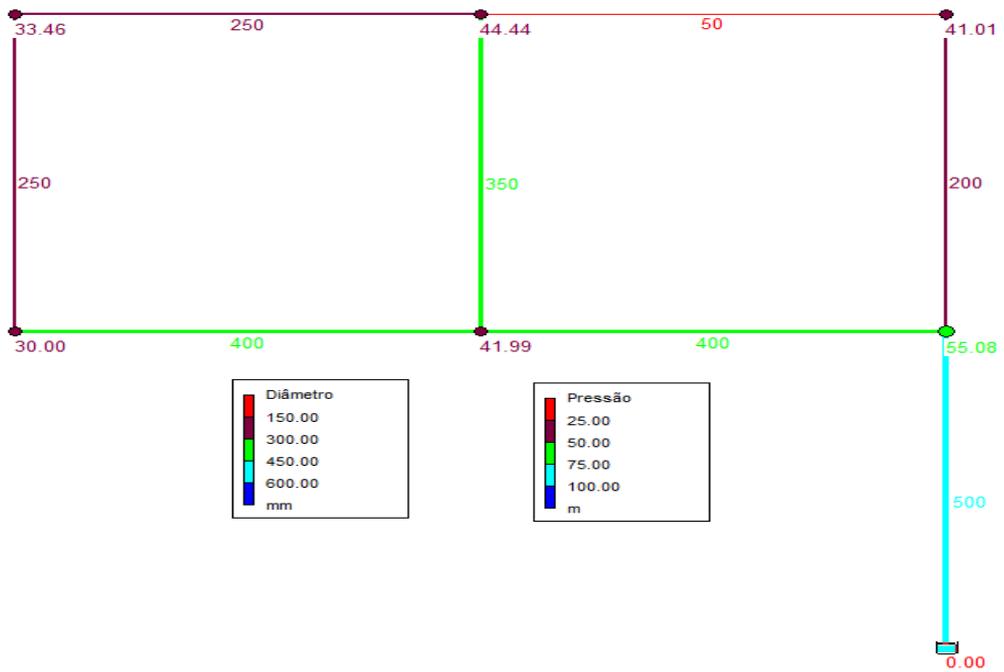


Figura 4.5 – Pressões e diâmetros – 40ª iteração – Cota: 208,92 m (Custo: 503.000,00)

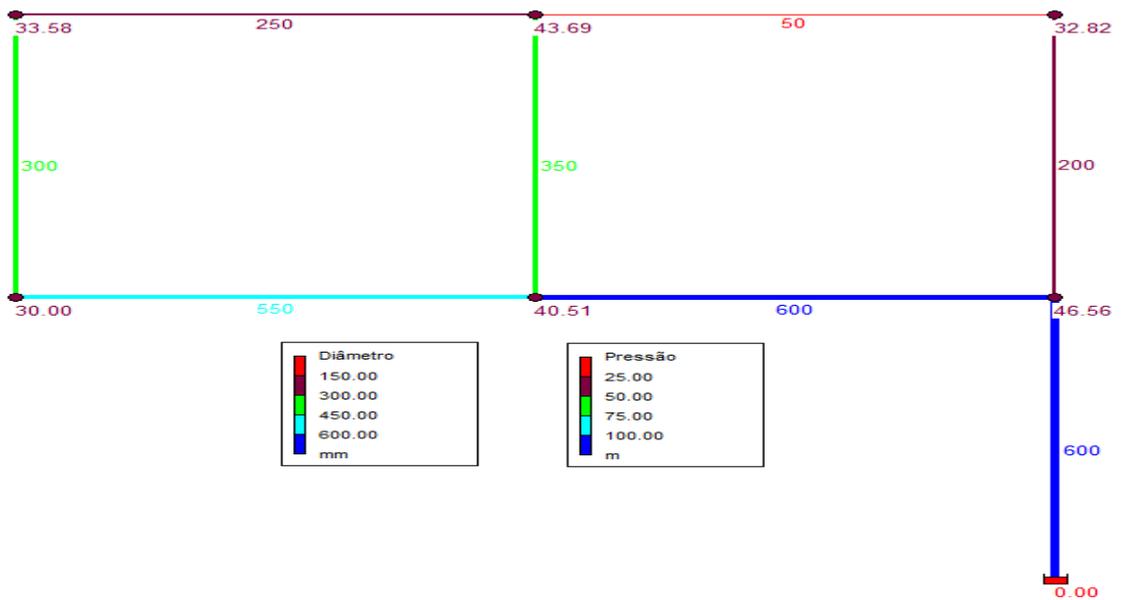


Figura 4.6 – Pressões e diâmetros – 50ª iteração – Cota: 198,09 m (Custo: 1.571.000,00)

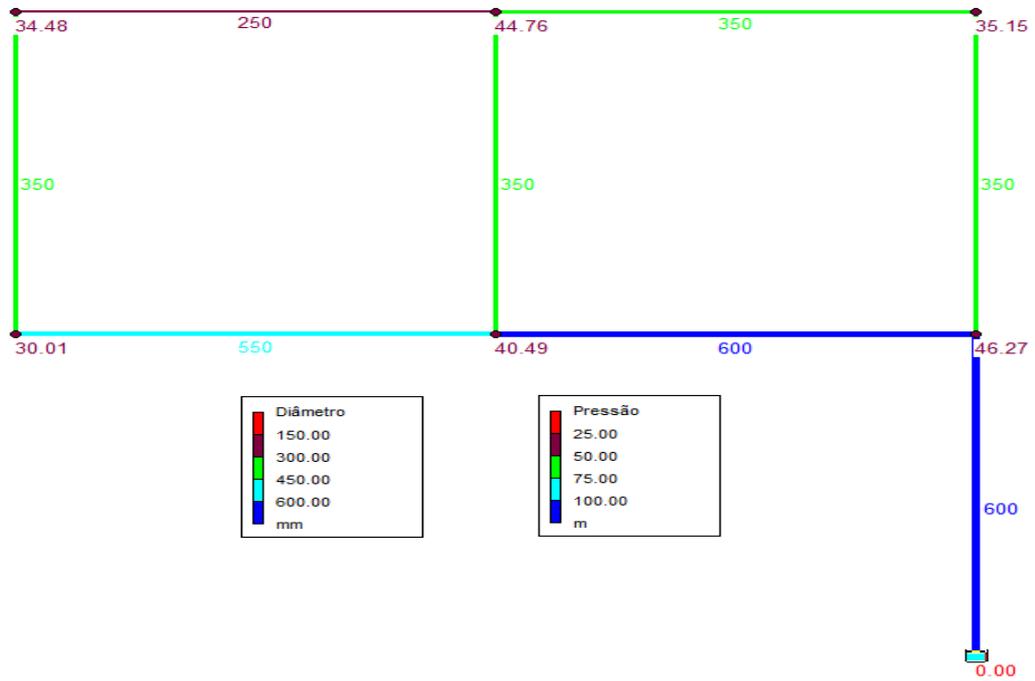


Figura 4.7 – Pressões e diâmetros – 60ª iteração – Cota: 197,8 m (Custo: 1.672.000,00)

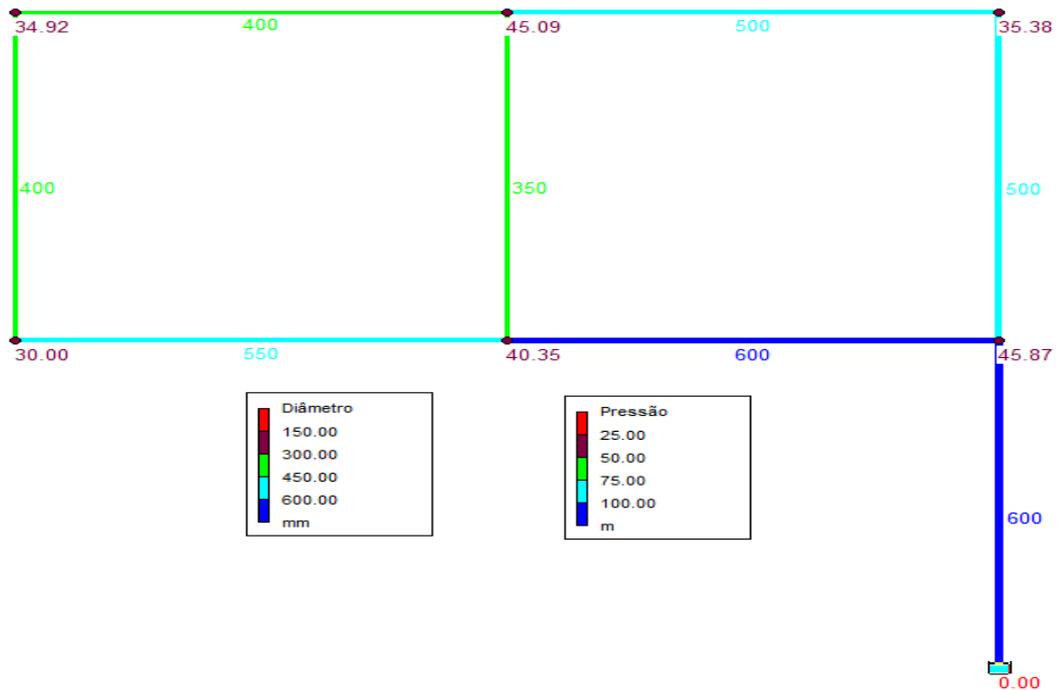
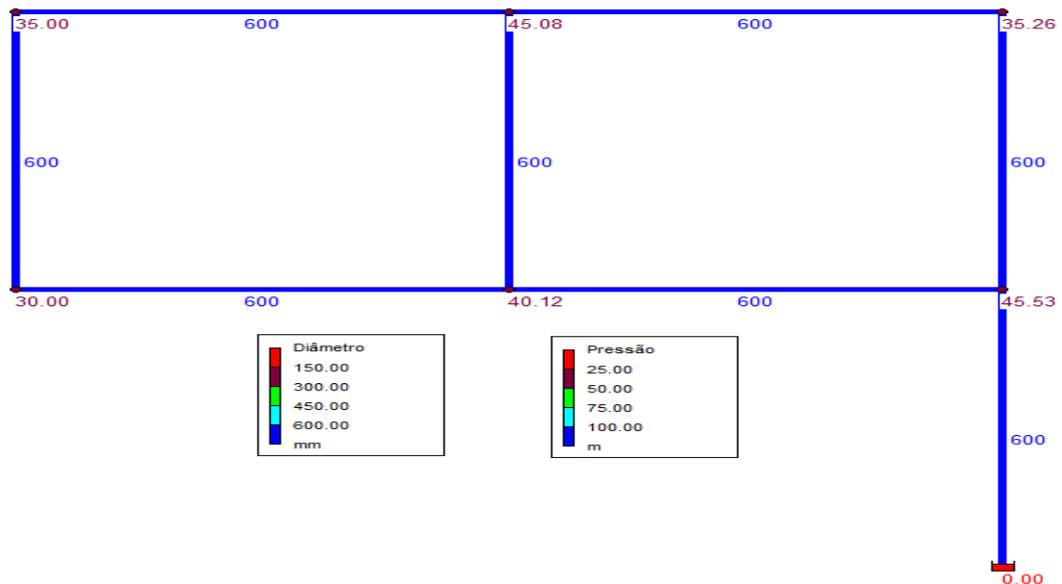


Figura 4.8 – Pressões e diâmetros – 70ª iteração – Cota: 197,37 m (Custo: 1.980.000,00)



**Figura 4.9 – Pressões e diâmetros – 100ª iteração – Cota: 197,06 m (tempo de processamento: 35 min) –
Custo: 4.400.000,00**

Da 50ª iteração (Figura 4.6) até a 100ª iteração (Figura 4.9) percebe-se que a variação da cota do reservatório é insignificante: de 198,09 m para 197,06 m. Já a variação do custo é muito alta: de 1.571.000,00 para 4.400.000,00, ou seja, 2.829,00 por uma redução de 1,03 m no nível do reservatório. A 100ª iteração apresenta os diâmetros já saturados, pois atingiram o valor máximo cadastrado na tabela de diâmetros.

4.1.1 Comparação entre os resultados do processamento da rede Dois Anéis

Formiga (1999) aplicou a metodologia de otimização de redes malhadas através da programação não linear utilizando a rede Dois Anéis com cota fixa de 210 m. A fim de se poder traçar um paralelo entre os resultados das duas metodologias, a mesma rede (Figura 4.10) foi calculada neste trabalho com 37 iterações até atingir a cota do reservatório de 210,27

m. Os diâmetros dos trechos e as pressões dos nós após o processamento podem ser observados na figura 4.11.

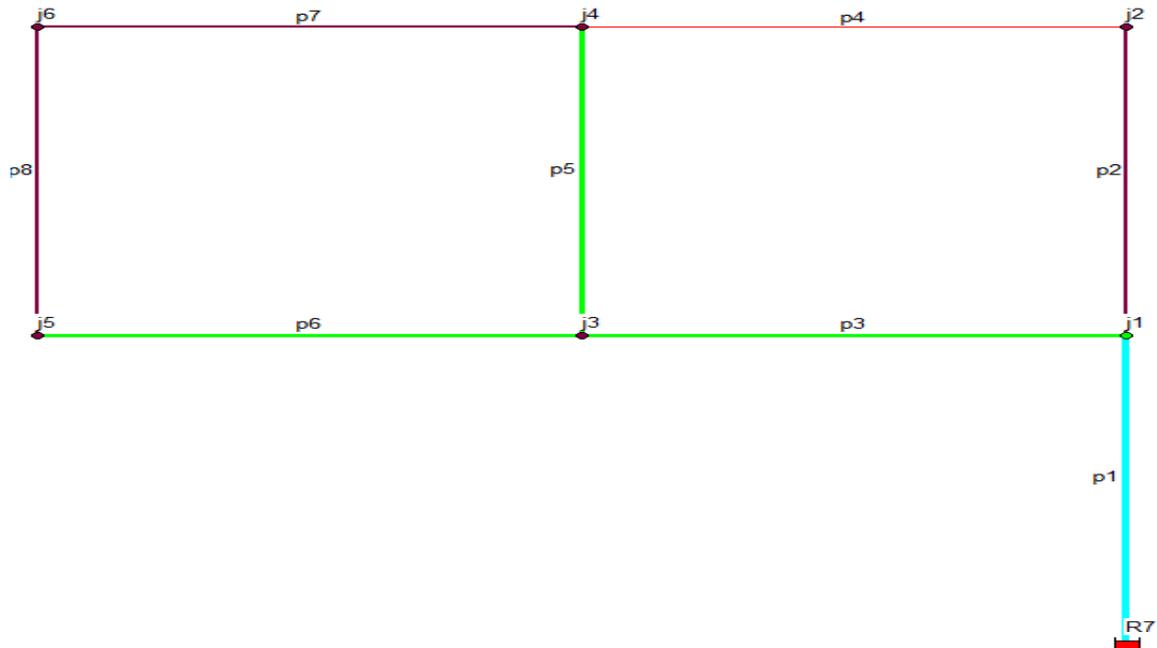


Figura 4.10 – Identificadores de Nós e Trechos da Rede Dois Anéis

A Figura 4.11, com 37 iterações (15 minutos de processamento), mostra que o trecho P4 (Figura 4.10) não teve seu diâmetro alterado, já que a vazão calculada tendeu a ser nula (Tabela 4.15), assim como aconteceu com Formiga (1999), o que se justifica pela inclinação do método de otimização econômica de realizar um cálculo de rede ramificada numa rede malhada por ser esta mais barata do que uma malhada do mesmo porte. Esta tendência poderia ser amenizada ou até evitada pela introdução de uma restrição de diâmetros mínimos para os trechos, evitando assim que alguns trechos ficassem muito menores que os vizinhos. (FORMIGA, 1999)

A Figura 4.13 mostra que, à medida em que se aumentam as iterações, o custo da rede vai aumentando também. Na Figura 4.14, o decréscimo da cota piezométrica de cabeceira ocorre com as sucessivas iterações tendendo para a estabilização. Observa-se que o

decrécimo maior ocorre até a iteração 20, quando se estabiliza, tendendo a valores mais realísticos. Já a Figura 4.14 apresenta a relação entre o decréscimo da cota de cabeceira e aumento dos custos e na Figura 4.15 a cota diminui tendendo à estabilização enquanto que o gradiente aumenta.

Fica evidente na Figura 4.12 a proporcionalidade entre o aumento do custo da rede e o aumento do número de iterações, já que estas resultam em aumento do diâmetro das tubulações que têm um custo superior à medida em que se aumentam seus diâmetros.

A Figura 4.13 apresenta a relação entre a cota piezométrica de cabeceira e o número de iterações. Percebe-se que a cada iteração a cota diminui, tendendo a um limite mínimo no decréscimo e estabilizando-se num valor baixo. A partir da 37ª iteração os valores da cotas variam pouco e os custos variam muito.

O mesmo se dá na Figura 4.14 que relaciona a cota piezométrica de cabeceira com os custos. O valor da cota vai diminuindo à medida em que se aumenta o custo da rede, mas esta redução também tende a se estabilizar, conforme mostra a Figura 4.13. Com base nisto, percebe-se que as iterações otimizam a rede até um determinado limite. Após isto as diferenças de cota são insignificantes, mas o custo se torna cada vez mais elevado.

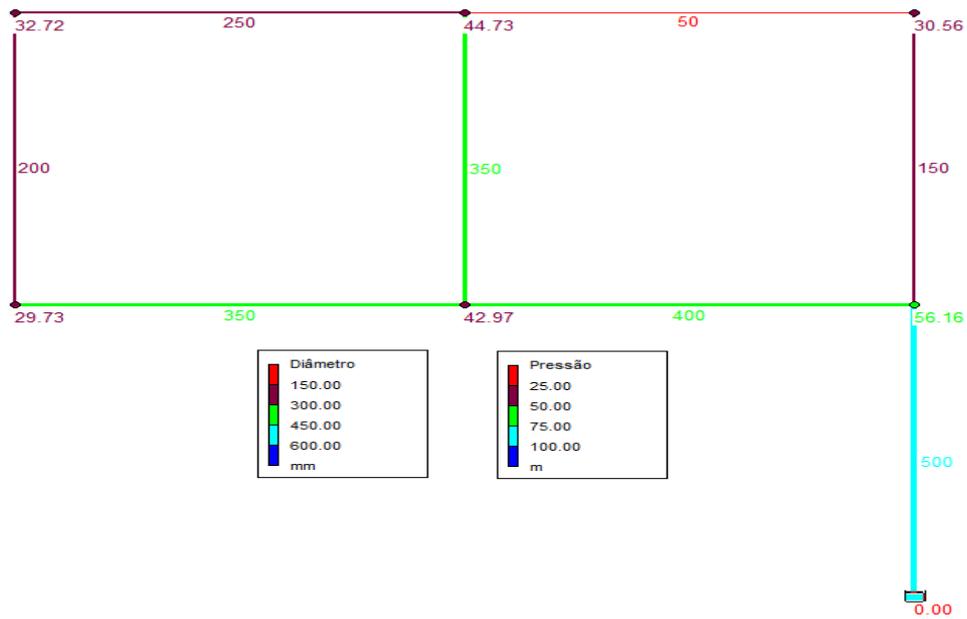


Figura 4.11 – Diâmetros e Pressões – 37ª iteração - nível do reservatório = 210 m (Custo: 457.000,00)

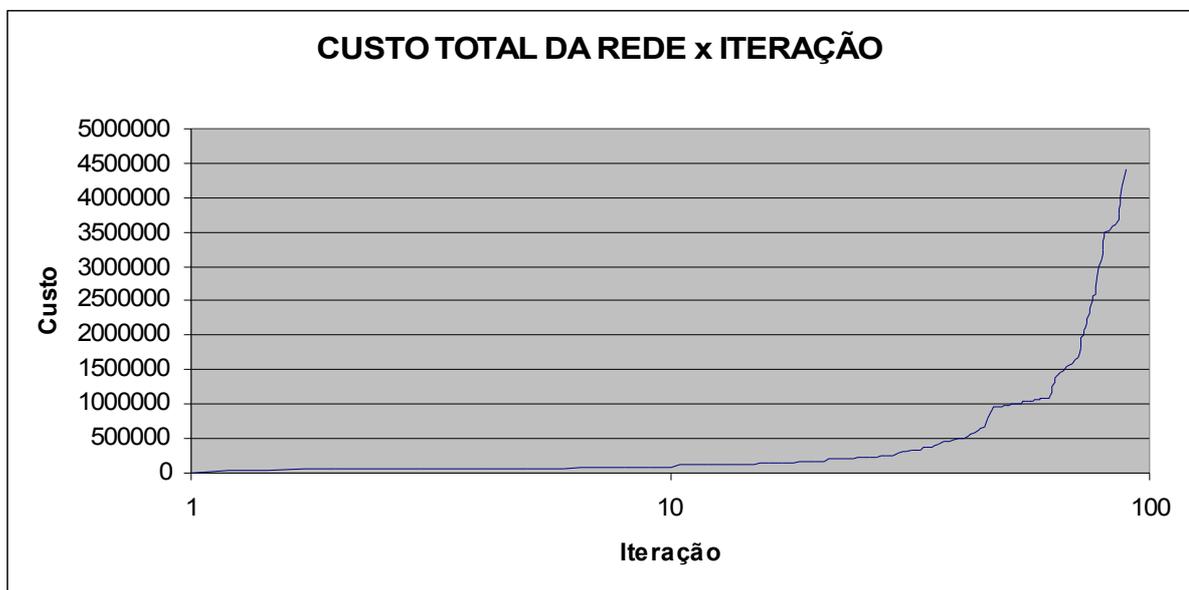


Figura 4.12 – Relação Iteração x Custo Total da Rede Bessa - nível do reservatório = 210 m

A Figura 4.15 mostra a relação entre a cota de cabeceira e o gradiente de câmbio. Observa-se que a cota diminui à medida em que se aumenta o gradiente de câmbio, que se

constitui na relação entre o acréscimo de custo e a perda de carga (Seção 2.5.2.2). O custo tende a aumentar com o incremento do diâmetro do trecho, mas o gradiente indica o melhor trecho a receber este investimento, pois retornará numa menor perda de carga.

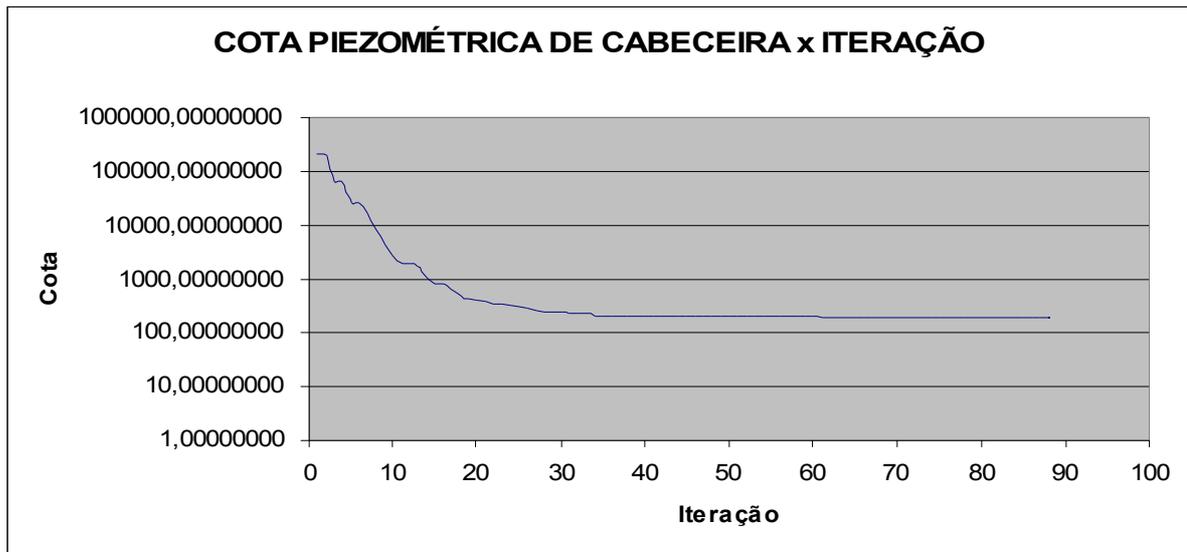


Figura 4.13 – Relação Cota Piezométrica de Cabeceira x Iteração da rede Dois Anéis

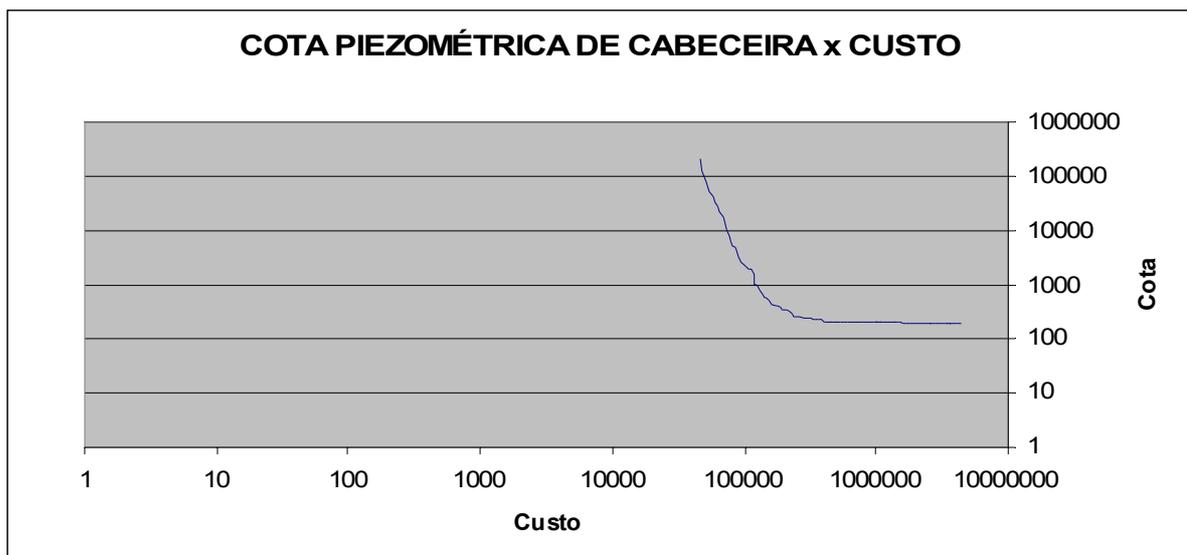


Figura 4.14 – Cota Piezométrica de Cabeceira x Custo da Rede Dois Anéis

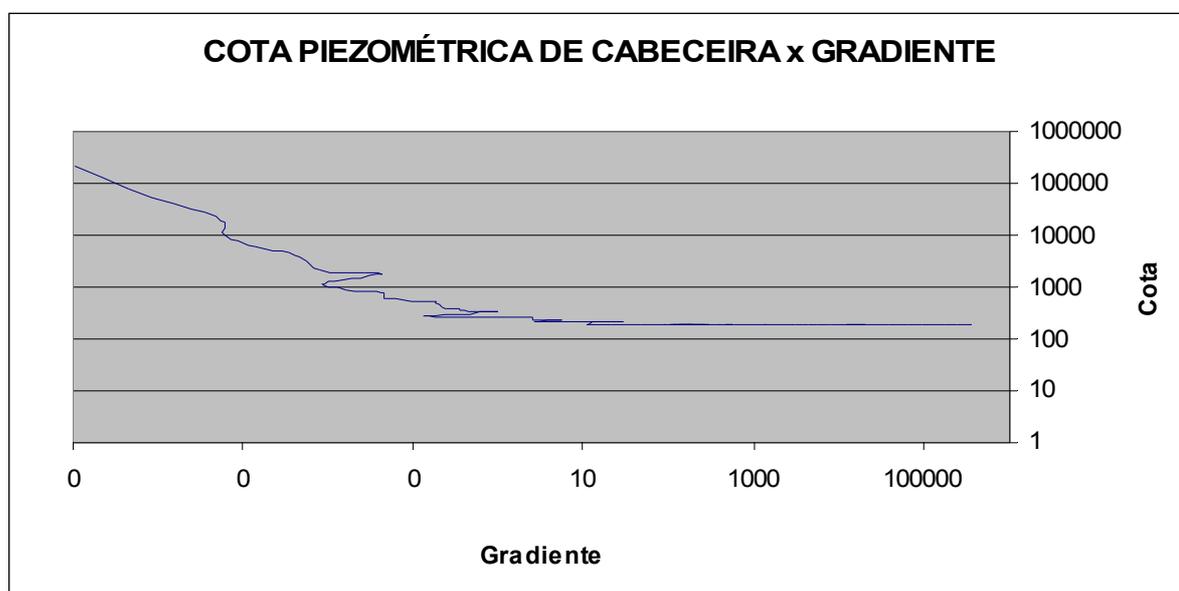


Figura 4.15 – Cota Piezométrica de Cabeceira x Custo da Rede Dois Anéis

Os diâmetros dos trechos calculados com o método de otimização baseado no método de Granados (Tabela 4.15), aplicado neste trabalho, comparados com os otimizados através da programação não linear, que resulta em dois diâmetros candidatos para cada trecho (FORMIGA, 1999), podem ser vistos na Tabela 4.16.

Tabela 4.15 – Propriedades dos trechos da Rede Dois Anéis – 37ª iteração - nível do reservatório = 210 m

Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Rugosidade (mm)	Vazão (LPS)	Velocidade (m/s)	Perda de carga (m/km)
P1	1000	500	0,1	311,12	1,58	3,84
P3	1000	400	0,1	256,28	2,04	8,20
P6	1000	350	0,1	111,47	1,16	3,23
P8	1000	200	0,1	19,8	0,63	2,01
P7	1000	250	0,1	-35,76	0,73	2,01
P4	1000	50	0,1	0,72	0,37	4,17
P2	1000	150	0,1	-27,06	1,53	15,60
P5	1000	350	0,1	-111,48	1,16	3,23

Tabela 4.16 – Comparação entre os resultados dos cálculos dos diâmetros dos trechos da Rede Dois Anéis – 37ª iteração - nível do reservatório = 210 m

Trecho	Método Baseado em Granados	Programação Não Linear
	Diâmetro (mm)	Diâmetro (mm)
P1	500,00	508,00
		457,20
P2	150,00	304,80
		254,00
P3	400,00	406,40
		355,60
P4	50,00	50,80
		25,40
P5	350,00	406,40
		355,6
P6	350,00	254,00
		203,2
P7	250,00	254,00
		203,2
P8	200,00	50,80
		25,4
CUSTO TOTAL:	457.000,00	401.159,17

Segundo mostra a Tabela 4.16 o custo da otimização baseado no método Granados, calculada neste trabalho, foi de 457.000,00 enquanto que o custo da rede processada segundo o método da Programação Não Linear foi de 401.159,17 (FORMIGA, 1999). Através do método apresentado neste trabalho, a rede ficou mais cara 13,67% que o da Programação Não Linear. Porém, a mesma rede processada por de Alperovits e Shamir (1977) teve o custo de 497.525,00, o processamento de Gouter et al. (1986) ficou em 435.015,00 e o de Kessler e Shamir (1989) ficou em 417.500,00. Isto indica que, embora a metodologia utilizada neste trabalho não tenha sido a mais econômica, ela foi mais econômica que a de Alperovits e Shamir (1977) em 8,14% e ficou na faixa dos outros métodos.

As pressões dos nós calculados com o método de otimização baseado no método de Granados (Tabela 4.17) comparados com os otimizados através da programação não linear, segunda etapa (FORMIGA, 1999) podem ser vistos na Tabela 4.18.

Tabela 4.17 – Propriedades dos nós da Rede Dois Anéis – 37ª iteração - nível do reservatório: 210 m

Nó	Cota (m)	Consumo (LPS)	Carga Hidráulica (m)	Pressão (m)
J1	150,00	27,78	206,16	56,16
J3	155,00	33,33	197,97	42,97
J5	165,00	91,67	194,73	29,73
J6	160,00	55,56	192,72	32,72
J4	150,00	75,00	194,73	44,73
J2	160,00	0,00	190,56	30,56
RNF R7	210,00	0,00	210,00	0,00

Tabela 4.18 – Comparação entre os resultados dos cálculos das pressões dos nós da Rede Dois Anéis – 37ª iteração - nível do reservatório = 210 m

Nó	Método Baseado em Granados	Programação Não Linear
	Pressão (mca)	Pressão (mca)
J1	56,16	53,35
J2	30,56	30,00
J3	42,97	44,02
J4	44,73	31,74
J5	29,73	30,00
J6	32,72	30

Tabela 4.19 – Resumo da Tabela de Custos Relacionados Com Gradiente e Cota da Rede Dois Anéis – 37ª iteração - nível do reservatório = 210 m

ITERAÇÃO	CUSTO	GRADIENTE	COTA
1	46.000,00	0,000010	207205,625
2	51.000,00	0,000008	193314,438
3	57.000,00	0,000047	66199,211
4	65.000,00	0,000062	64724,539
5	71.000,00	0,000158	26771,494
6	79.000,00	0,000209	26479,832
7	85.000,00	0,000613	16691,234
8	90.000,00	0,000620	8628,961
9	96.000,00	0,001413	4381,426
10	101.000,00	0,003449	2931,886
11	109.000,00	0,008182	1954,141
12	127.000,00	0,016990	1872,460
13	133.000,00	0,041449	1727,704
14	138.000,00	0,008719	1154,254
15	143.000,00	0,016328	848,038
16	153.000,00	0,029866	819,422
17	161.000,00	0,045226	642,531
18	169.000,00	0,046726	471,320
19	199.000,00	0,163989	459,592
20	207.000,00	0,193532	418,255
21	213.000,00	0,179504	384,830
22	218.000,00	0,248157	364,682
23	226.000,00	0,360588	342,496
24	234.000,00	0,560003	328,210
25	252.000,00	0,920312	308,651
26	257.000,00	0,132528	270,923
27	267.000,00	0,529001	252,020
28	275.000,00	0,833316	242,420
29	283.000,00	2,529492	239,257
30	313.000,00	3,837729	231,440
31	353.000,00	3,026773	226,042
32	393.000,00	4,928473	223,324
33	411.000,00	5,431860	220,010
34	429.000,00	2,690643	213,320
35	439.000,00	5,920628	211,63
36	449.000,00	5,703544	209,878
37	457.000,00	20,575655	210,27

A Tabela 4.19 é um resumo dos resultados do processamento da rede Dois Anéis, com 37 iterações. As 37 iterações se dão em vista de que foram o bastante para se atingir a cota de 210 m, necessária para se fazer a comparação dos resultados com outros trabalhos além de que atingiu a diferença de 0,1 m entre o nível de cabeceira da iteração anterior e a 37ª.

4.2 REDE BESSA

A rede do Bairro do Bessa foi projetada pela CAGEPA em 1982 (LEAL, 1995) e é composta por 01 (um) reservatório, 72 (setenta e dois) trechos e 61 (sessenta e um) nós.

As Figuras 4.16 e 4.17 apresentam a estrutura da rede Bessa com a distribuição de seu reservatório, seus trechos, seus nós e seus setores. Os trechos são identificados pela letra “T” e os nós pela letra “N” seguidas de um número sequencial.

O processamento de otimização da Rede Bessa também é apresentado em etapas para que se possa acompanhar sua evolução e identificar suas particularidades e a progressiva definição da cota de cabeceira:

- as Figuras 4.18, 4.19 e 4.20 apresentam a distribuição das pressões dos nós, a identificação dos diâmetros e a perda de carga na tubulação, respectivamente, da 21ª iteração cuja cota piezométrica inicial é de 799,49 m, com o custo de 98.694.565,00 (UMT) que se constitui num valor de cota não operacional para a rede em consideração, já que a maior cota geométrica dos nós é de 6 m;
- 41 iterações (Figuras 4.21 a 4.23) produziu uma cota piezométrica de cabeceira de 189,00 m ao custo de 140.796.835,00 (UMT);

- 61 iterações (Figura 4.24 a 4.26) resultou na cota de cabeceira de 54,3 m com o valor de 210.507.085,00 (UMT) que se constitui numa cota operacional, considerando-se que é um valor otimizado.

As Figuras 4.18 e 4.19 apresentam as pressões e os diâmetros resultantes do processamento da 21ª iteração da rede do Bessa. Percebe-se uma grande diferença entre as pressões máximas e mínimas na 21ª iteração em virtude das perdas ocasionadas especialmente pelos pequenos diâmetros dos trechos que ainda não sofreram nenhuma modificação no seu valor inicial de 100 mm. A Figura 4.20, por sua vez, mostra a distribuição das perdas de carga ao longo dos trechos da rede. Percebe-se a existência de valores de perdas de carga muito altos, considerando-se pequenos diâmetros ligados a um reservatório com cota bastante elevada o que contribui para o aumento da velocidade de escoamento.

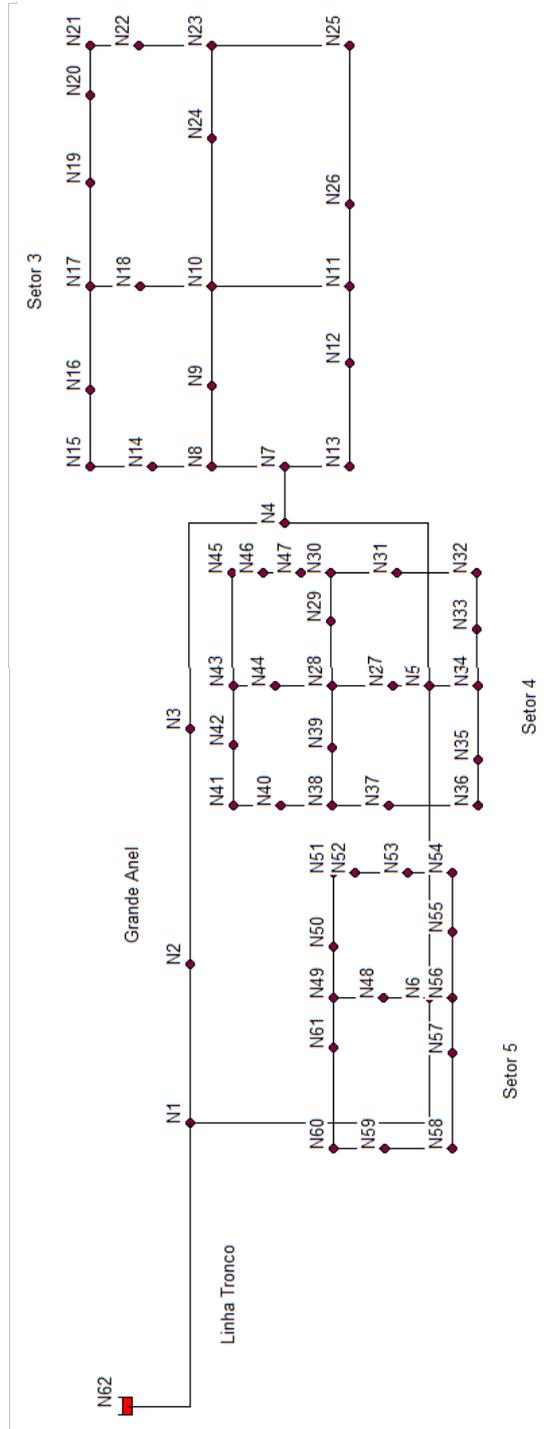


Figura 4.16 – Identificação dos nós da Rede Bessa

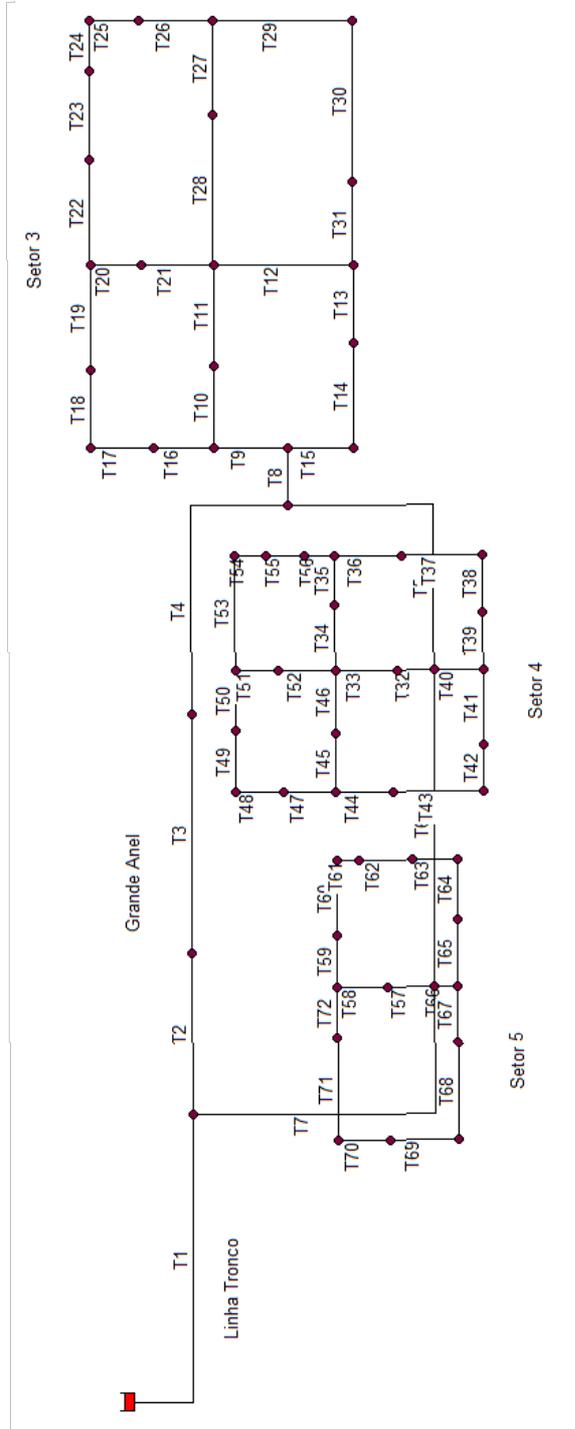


Figura 4.17 – Identificação dos trechos da Rede Bessa

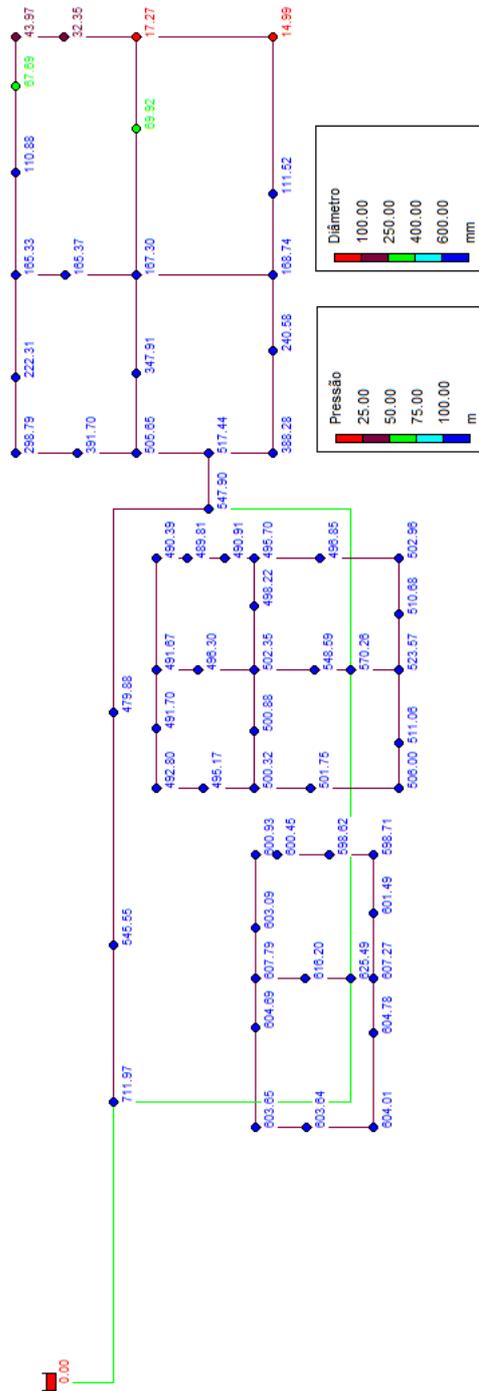


Figura 4.18 – Pressões dos Nós da Rede Bessa – 21ª iteração - nível do reservatório = 799,49 m (Custo: 98.694.565,00)

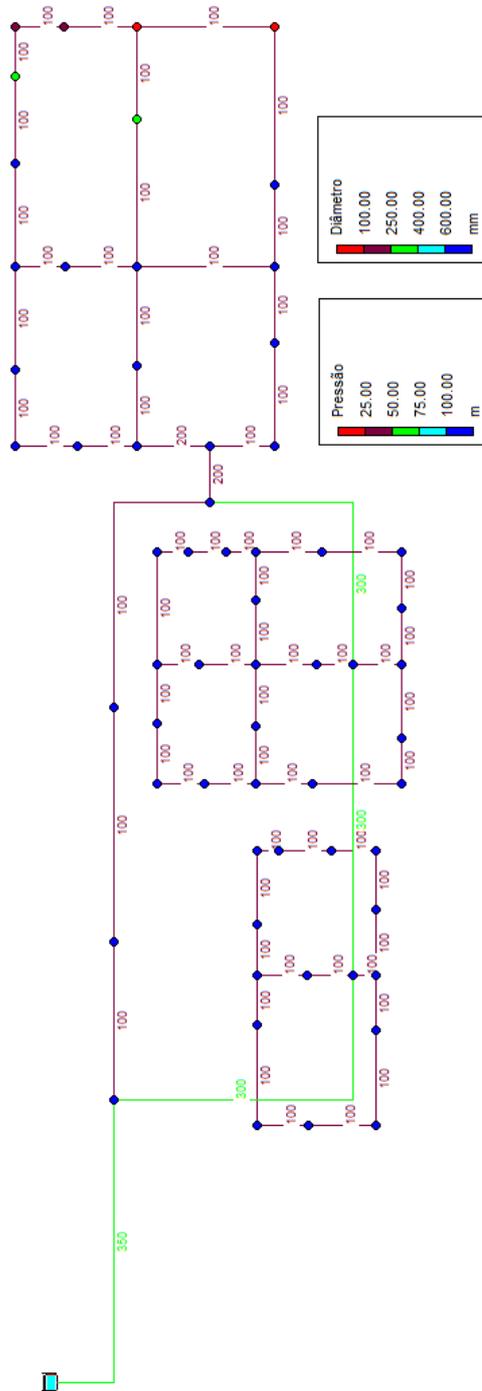


Figura 4.19 – Diâmetros dos Trechos da Rede Bessa – 21ª iteração - nível do reservatório = 799,49 m

(Custo: 98.694.565,00)

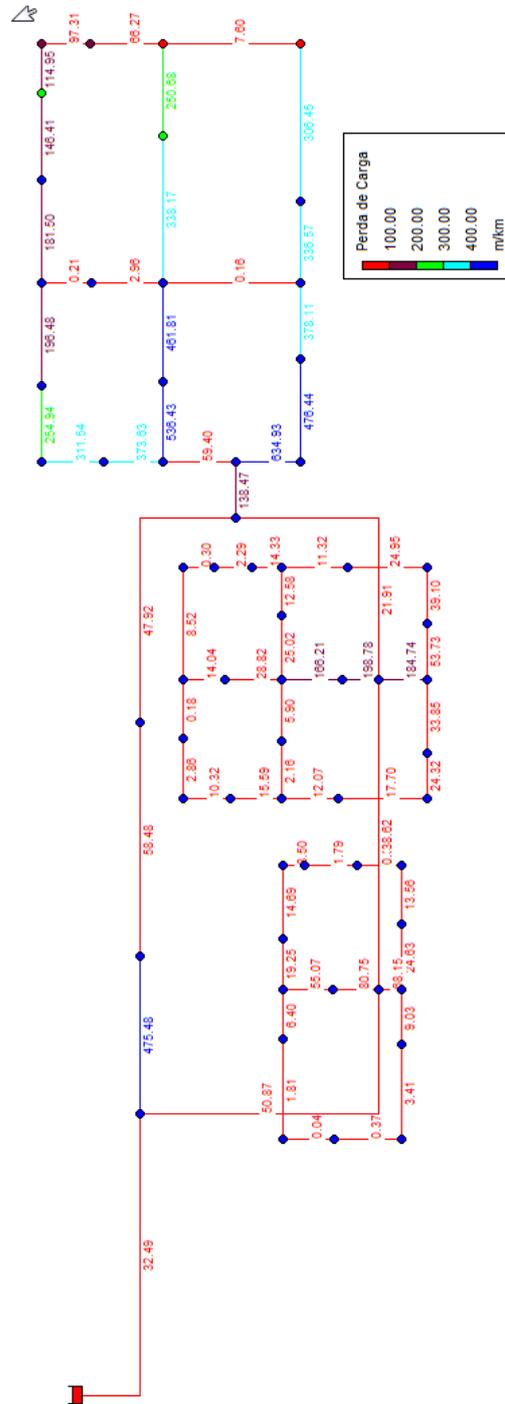


Figura 4.20 – Valores de Perdas de Cargas da Rede Bessa – 21ª iteração - nível do reservatório = 799,49 m

(Custo: 98.694.565,00)

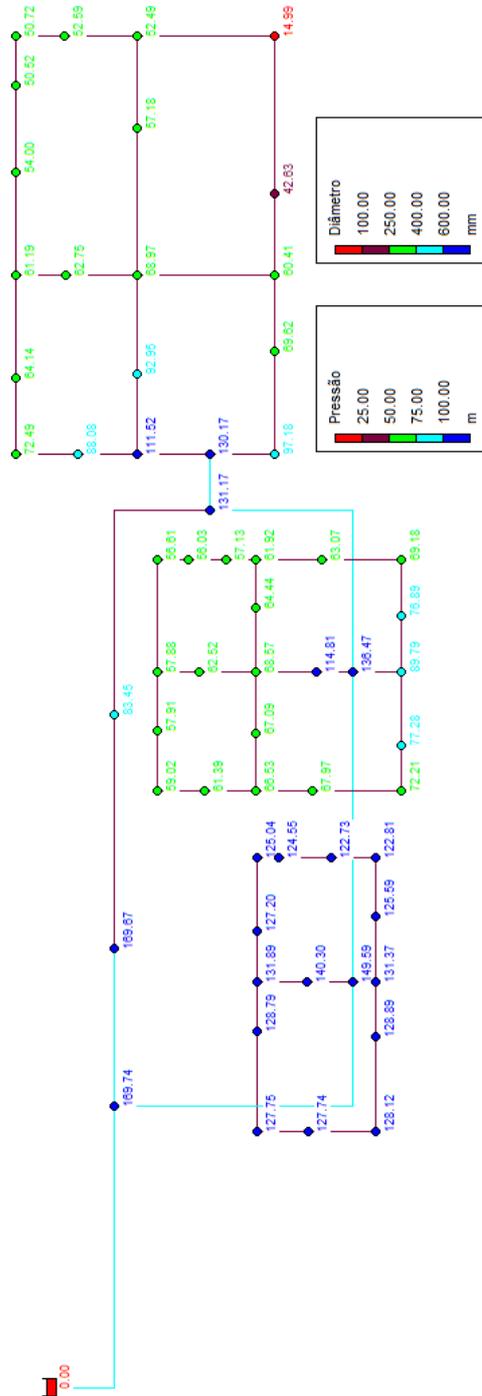


Figura 4.21 – Pressões da Rede Bessa – 41ª iteração - nível do reservatório = 189,00 m (Custo: 140.796.835,00)

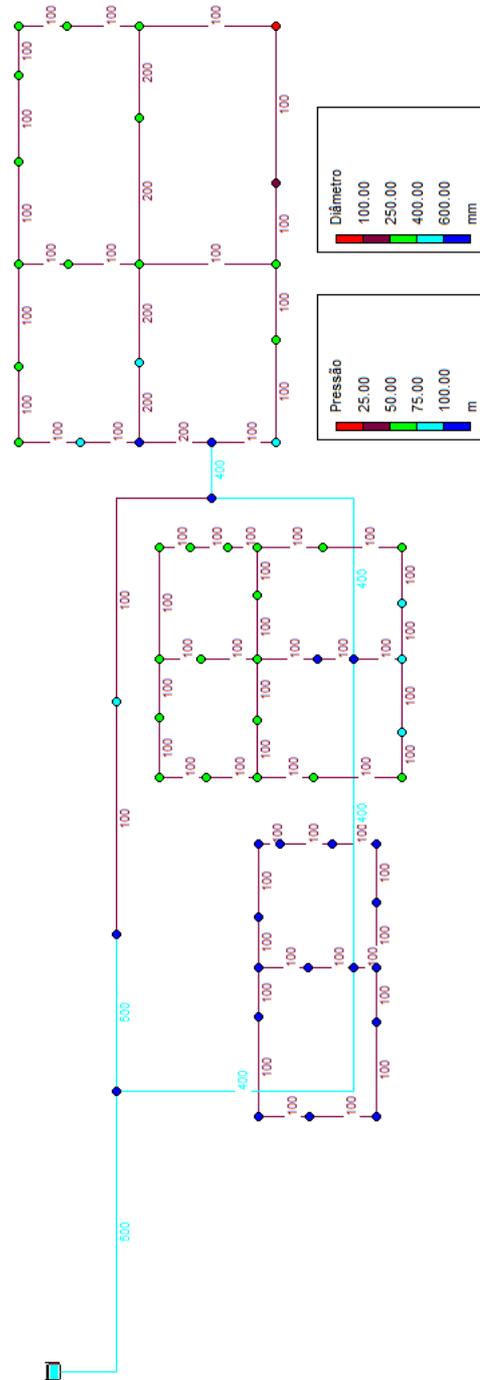


Figura 4.22 – Diâmetros da Rede Bessa – 41ª iteração - nível do reservatório = 189,00 m (Custo: 140.796.835,00)

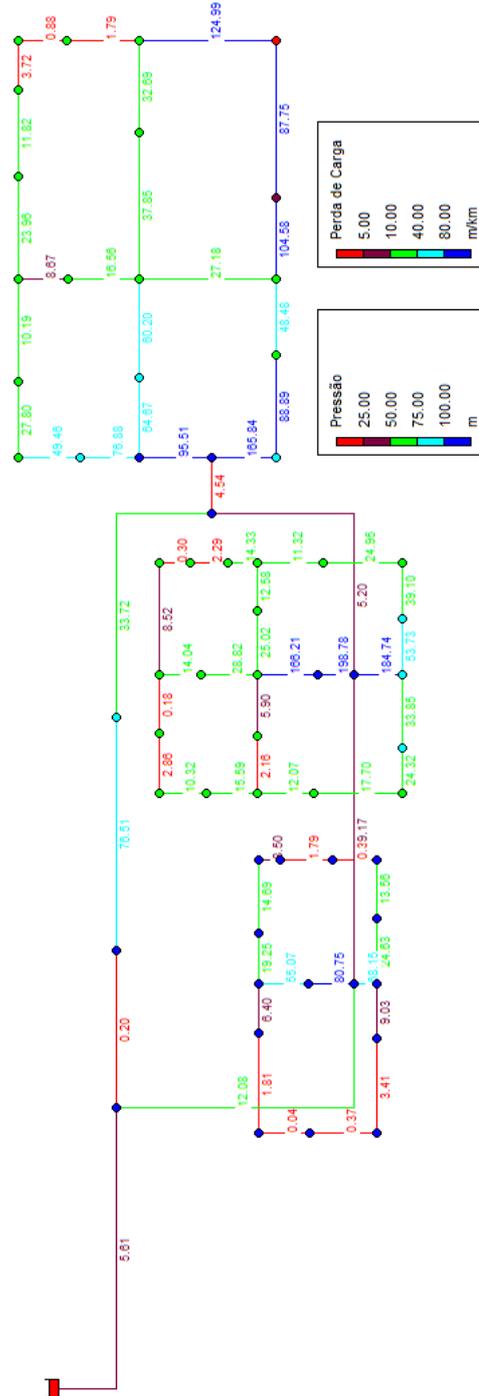


Figura 4.23 – Valores de Perdas de Carga da Rede Bessa – 41ª iteração - nível do reservatório = 189,00 m

(Custo: 140.796.835,00)

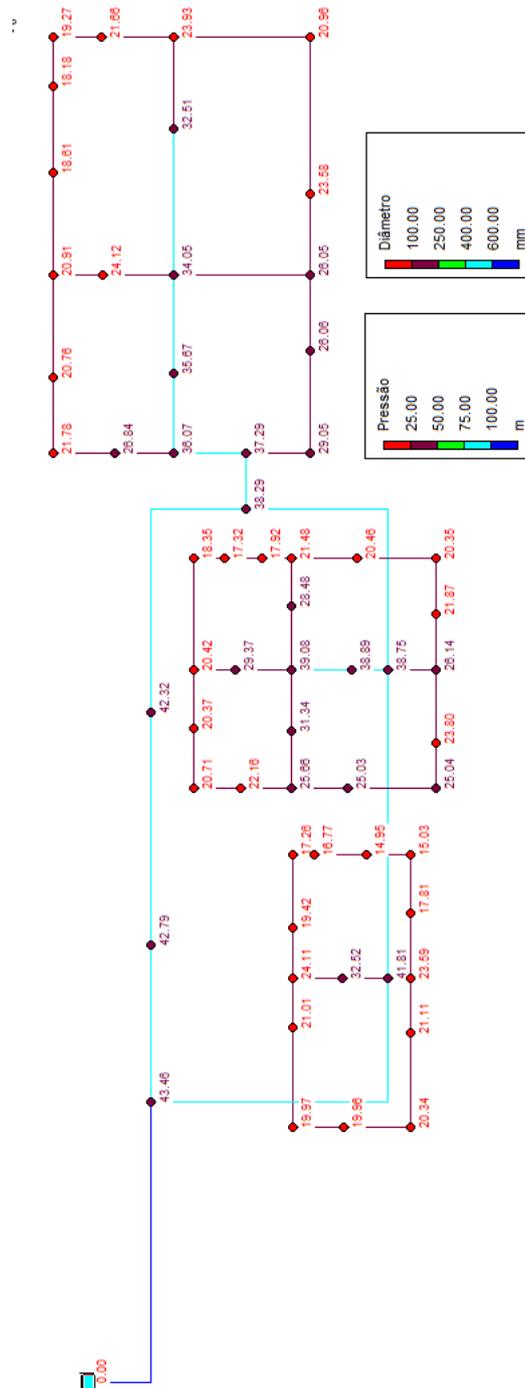


Figura 4.24 – Pressões da Rede Bessa – 61ª iteração – nível do reservatório = 54,3 m (Custo: 210.507.085,00)

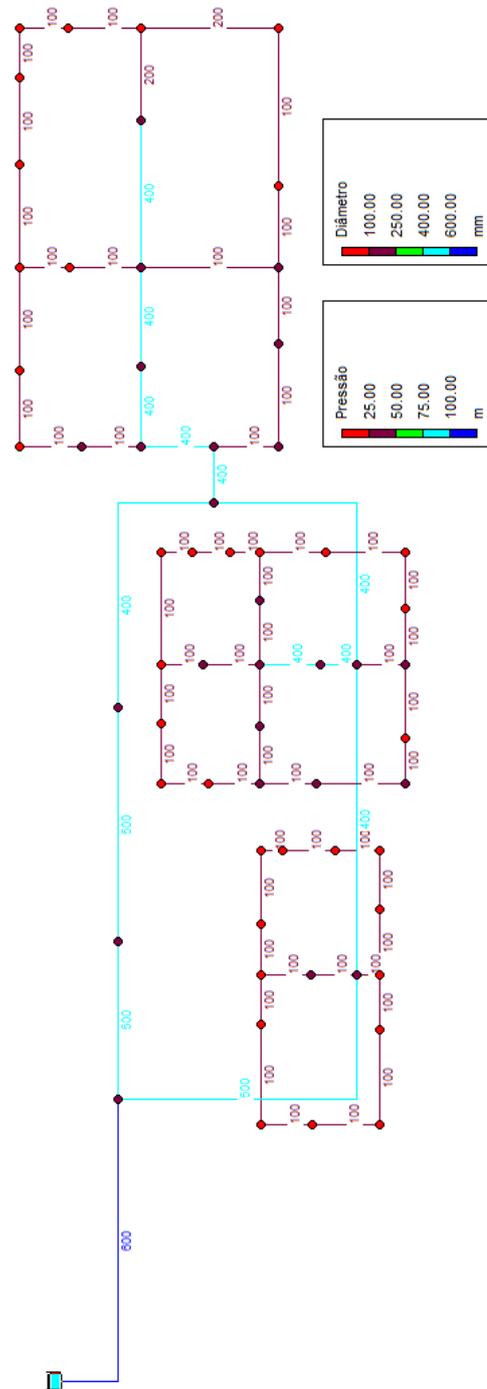


Figura 4.25 – Diâmetros da Rede Bessa – 61ª iteração – nível do reservatório = 54,3 m (Custo: 210.507.085,00)

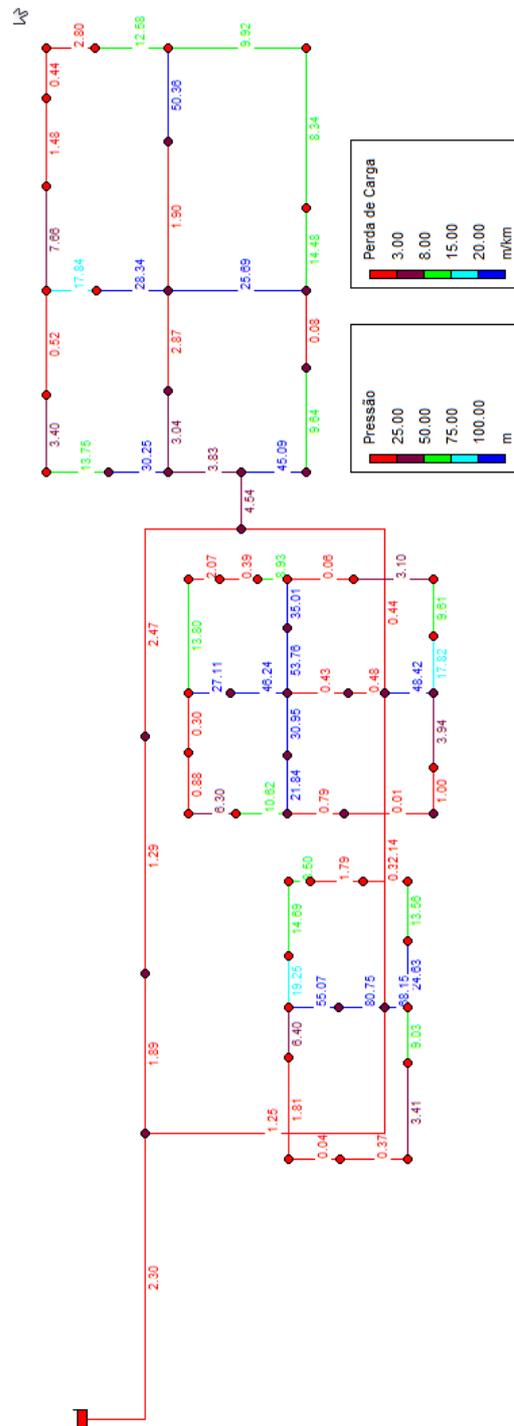


Figura 4.26 – Valores de Perda de Carga da Rede Bessa – 61ª iteração – nível do reservatório = 54,3 m
(Custo: 210.507.085,00)

Percebe-se que há uma relação inversamente proporcional entre a cota e o custo da rede (Figura 4.27); nas primeiras iterações a cota é muito alta e o custo da rede é o menor. Mas esta situação vai se modificando durante as iterações, até chegar numa cota baixa, mas a um custo muito alto, em virtude do aumento dos diâmetros da tubulação, o que encarece gradativamente a rede, e diminui a perda de carga (Figura 4.28). Mas, ainda assim, a metodologia utilizada neste trabalho se preocupa em investir no trecho com menor gradiente de câmbio, pois este se constitui num indicativo de custo benefício do investimento no trecho, resultando num custo bem menor e numa rede otimizada no aspecto econômico e estrutural (Figura 4.29).

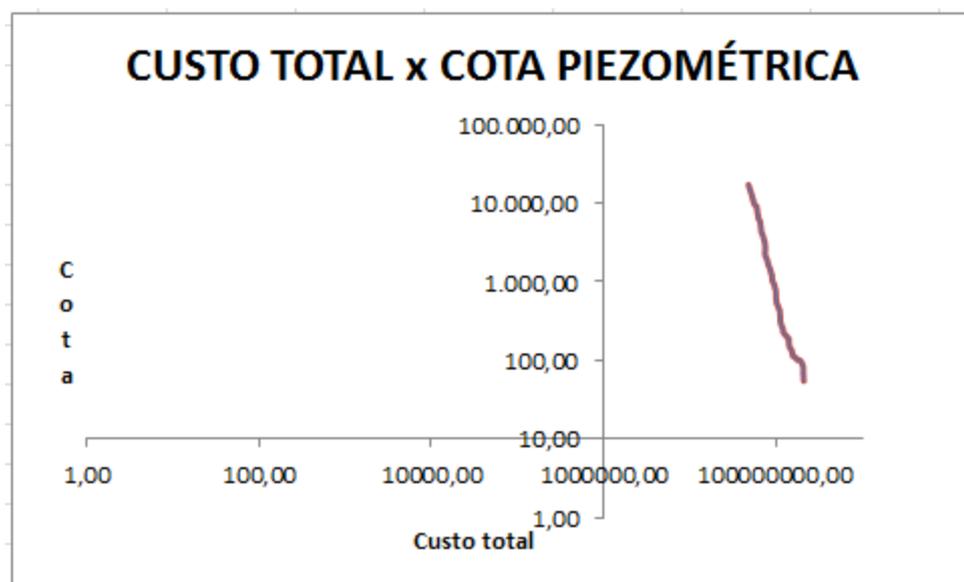


Figura 4.27 – Custo Total x Cota Piezométrica de Cabeceira

A relação da cota piezométrica com o gradiente, mostrada na Figura 4.29, apresenta o comportamento do gradiente que aumenta com a diminuição da cota. O gradiente é oscilante mas tende para uma estabilização, ou seja, tem um limite de saturação que se observa através das pequenas diferenças entre as cotas piezométricas com a diminuição da

cota, quando não se consegue grandes reduções de pressão ao longo do processo de otimização (Figura 4.41).

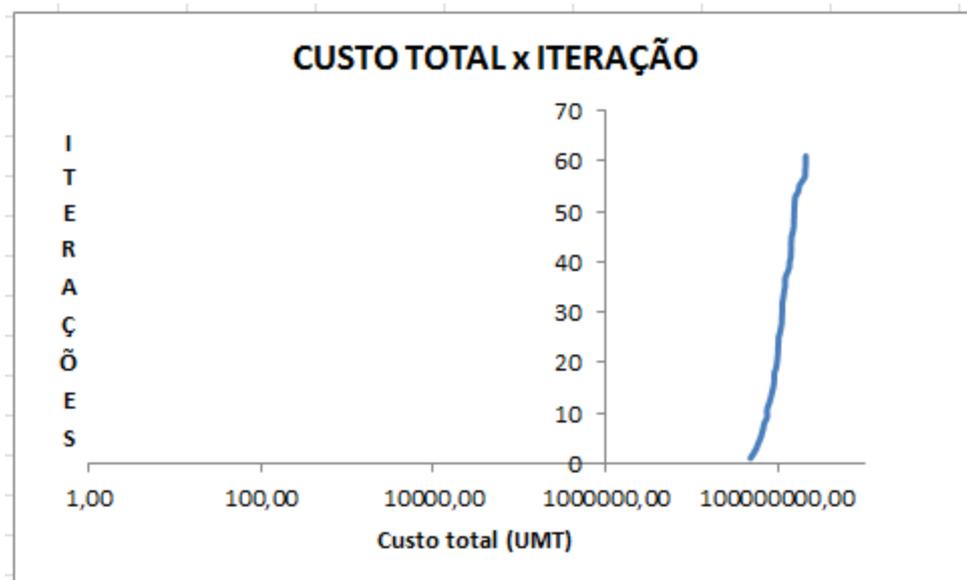


Figura 4.28 – Custo Total da rede x Iteração

A Figura 4.30 apresenta a evolução das diferenças de cota piezométrica de cabeceira em relação à iteração, à medida em que ocorre a redução dos valores da cota. Percebe-se que esta diferença começa bastante alta, já que os diâmetros dos trechos sofreram pouca alteração, mas, com a sequência de iterações e com a aproximação da otimização, a tendência da cota é ir diminuindo gradualmente.

Na Figura 4.31 observa-se a relação entre a cota piezométrica de cabeceira versus a iteração e nela percebe-se que, enquanto as iterações vão se sucedendo, a cota vai diminuindo até um determinado limite, tendendo a estabilizar-se.

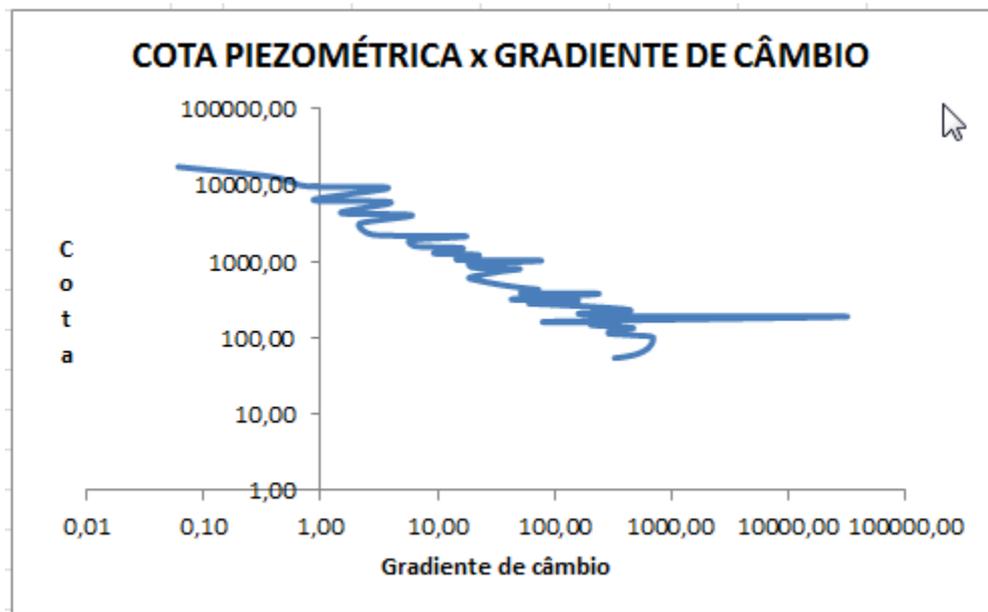


Figura 4.29 – Cota Piezométrica de Cabeceira x Gradiente

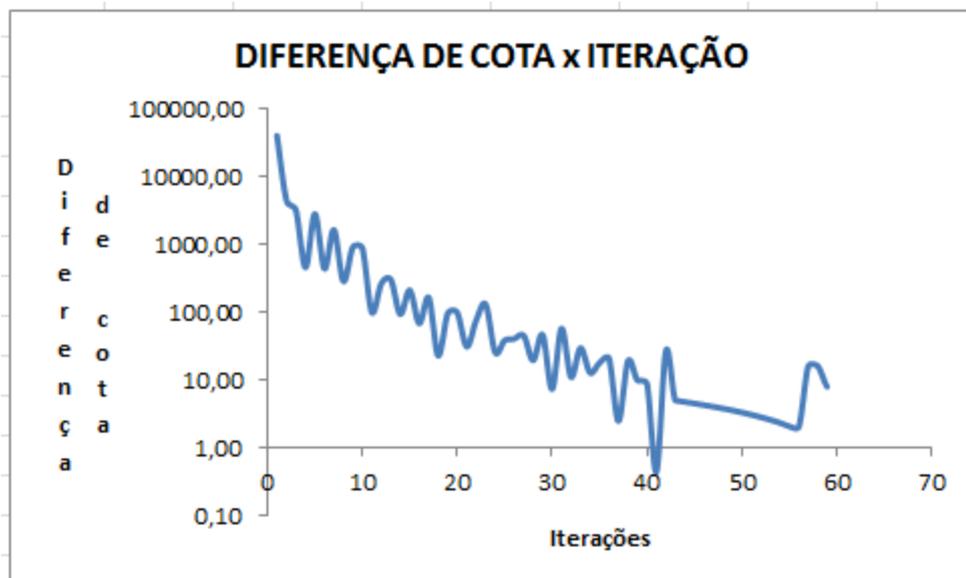


Figura 4.30 – Diferença da Cota Piezométrica de Cabeceira Anterior Com a Seguinte x Gradiente



Figura 4.31 – Cota Piezométrica de Cabeceira x Iteração

A Figura 4.32 apresenta a relação do valor da iteração com o gradiente. Percebe-se que, à medida em que o número de iterações aumenta, o gradiente também aumenta. Na rede em questão esta oscilação tem a ver com a natureza do problema, rede malhada, uma vez que ao se mudar o diâmetro de um trecho da rede, ocorre alteração de fluxo no sistema, o que altera também a relação perda de carga x preço. No entanto, a tendência de redução deste gradiente é bem representada na Figura 4.26.

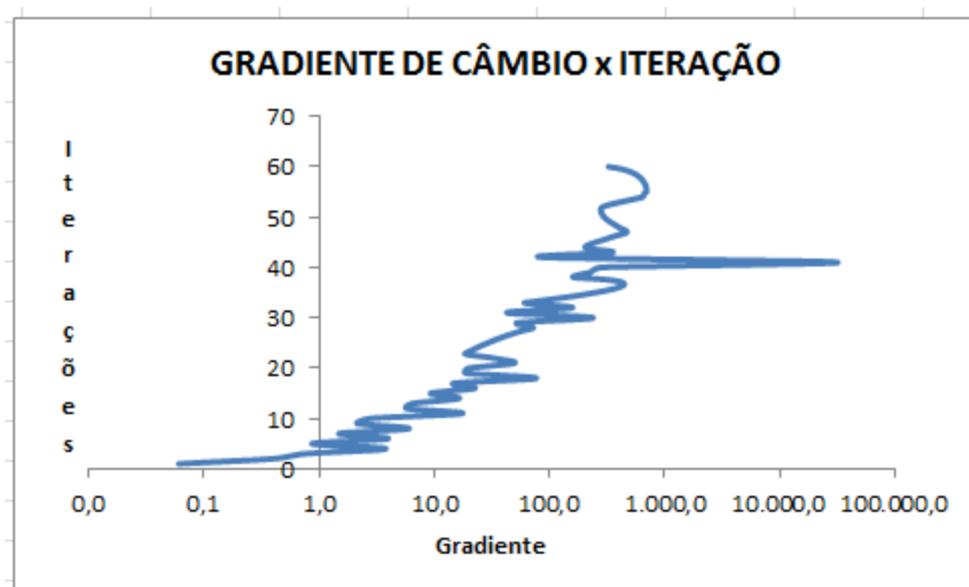


Figura 4.32 – Gradiente x Iteração

Formiga (1999) apresentou os resultados da aplicação da Metodologia de Otimização de Redes Malhadas, através da Programação Não Linear (PNL), juntamente com outros métodos, sobre a Rede Bessa que são comparados na Tabela 4.20 com o resultado do custo total da 61ª iteração do método utilizado neste trabalho, para a cota piezométrica de cabeceira de 54,3 m. Esta comparação revelou que o método deste trabalho ficou 18,67% mais caro que o método da PNL.

Tabela 4.20 – Comparação de Custos de Métodos de Otimização

Metodologia	PNL	Granados-Hardy-Cross	Wadison	Metodologia deste trabalho
	177.383.949,00	187.587.392,00	191.919.136,00	210.507.085,00
Economia da PNL:	-	6,00%	8,00%	18,67%

Adaptada de Formiga (1999)

O custo total da metodologia aplicada neste trabalho, cota 54,3 m, na 61ª iteração foi de 210.507.085,00 (UMT), 18,67% mais cara que a rede de Formiga (1999).

A Tabela 4.21 apresenta detalhes referentes aos trechos da rede Bessa após o processamento das 61 iterações.

Tabela 4.21 – Resultados das 61 Iterações da Rede Bessa

Trecho	Comprimento m	Diâmetro mm	Vazão LPS	Velocidade m/s	Perda de Carga m/km	Fator de Atrito
T01	2540,00	600,00	-420,63	1,49	2,30	0,01
T02	350,00	500,00	233,57	1,19	1,89	0,01
T03	1140,00	500,00	190,13	0,97	1,29	0,01
T04	1430,00	400,00	149,84	1,19	2,47	0,01
T05	1020,00	400,00	58,66	0,47	0,44	0,02
T06	1430,00	400,00	-138,76	1,10	2,14	0,01
T07	1710,00	500,00	187,06	0,95	1,25	0,01
T08	220,00	400,00	208,50	1,66	4,54	0,01
T09	190,00	400,00	190,05	1,51	3,83	0,01
T10	295,00	400,00	-167,79	1,34	3,04	0,01
T11	390,00	400,00	-162,59	1,29	2,87	0,01
T12	370,00	100,00	-13,61	1,73	25,69	0,02
T13	190,00	100,00	0,55	0,07	0,08	0,03
T14	310,00	100,00	7,95	1,01	9,64	0,02
T15	205,00	100,00	18,45	2,35	45,09	0,02
T16	305,00	100,00	14,86	1,89	30,25	0,02
T17	295,00	100,00	9,66	1,23	13,75	0,02
T18	300,00	100,00	4,46	0,57	3,40	0,02
T19	290,00	100,00	-1,54	0,20	0,52	0,03
T20	180,00	100,00	-11,14	1,42	17,84	0,02
T21	315,00	100,00	-14,34	1,83	28,34	0,02
T22	300,00	100,00	7,00	0,89	7,66	0,02
T23	295,00	100,00	2,80	0,36	1,48	0,02
T24	215,00	100,00	-1,40	0,18	0,44	0,03
T25	140,00	100,00	-4,00	0,51	2,80	0,02
T26	220,00	100,00	-9,20	1,17	12,58	0,02
T27	220,00	200,00	-122,05	3,88	50,36	0,01
T28	285,00	400,00	-129,95	1,03	1,90	0,01
T29	300,00	200,00	50,94	1,62	9,92	0,02
T30	315,00	100,00	-7,36	0,94	8,34	0,02
T31	170,00	100,00	-9,96	1,27	14,48	0,02
T32	110,00	400,00	60,93	0,48	0,48	0,02
T33	280,00	400,00	57,23	0,46	0,43	0,02
T34	225,00	100,00	20,29	2,58	53,76	0,02

Trecho	Comprimento	Diâmetro	Vazão	Velocidade	Perda de Carga	Fator de Atrito
	m	mm	LPS	m/s	m/km	
T35	200,00	100,00	16,09	2,05	35,01	0,02
T36	190,00	100,00	0,47	0,06	0,06	0,04
T37	285,00	100,00	-4,23	0,54	3,10	0,02
T38	210,00	100,00	-7,93	1,01	9,61	0,02
T39	240,00	100,00	-11,13	1,42	17,82	0,02
T40	250,00	100,00	-19,17	2,44	48,42	0,02
T41	340,00	100,00	4,84	0,62	3,94	0,02
T42	270,00	100,00	2,24	0,29	1,00	0,02
T43	240,00	100,00	0,14	0,02	0,01	0,04
T44	160,00	100,00	-1,96	0,25	0,79	0,03
T45	260,00	100,00	-12,44	1,58	21,84	0,02
T46	250,00	100,00	-15,04	1,92	30,95	0,02
T47	330,00	100,00	8,38	1,07	10,62	0,02
T48	230,00	100,00	6,28	0,80	6,30	0,02
T49	385,00	100,00	2,08	0,26	0,88	0,03
T50	160,00	100,00	-1,12	0,14	0,30	0,03
T51	330,00	100,00	-14,00	1,78	27,11	0,02
T52	210,00	100,00	-18,70	2,38	46,24	0,02
T53	150,00	100,00	9,68	1,23	13,80	0,02
T54	255,00	100,00	3,38	0,43	2,07	0,02
T55	260,00	100,00	-1,32	0,17	0,39	0,03
T56	230,00	100,00	-7,62	0,97	8,93	0,02
T57	115,00	100,00	25,25	3,21	80,75	0,02
T58	180,00	100,00	20,55	2,62	55,07	0,02
T59	140,00	100,00	11,62	1,48	19,25	0,02
T60	215,00	100,00	10,02	1,28	14,69	0,02
T61	175,00	100,00	7,42	0,94	8,50	0,02
T62	180,00	100,00	3,12	0,40	1,79	0,02
T63	260,00	100,00	-1,18	0,15	0,33	0,03
T64	205,00	100,00	-9,58	1,22	13,56	0,02
T65	255,00	100,00	-13,28	1,69	24,63	0,02
T66	260,00	100,00	-23,05	2,93	68,15	0,02
T67	275,00	100,00	7,67	0,98	9,03	0,02
T68	315,00	100,00	4,47	0,57	3,41	0,02
T69	200,00	100,00	1,27	0,16	0,37	0,03
T70	175,00	100,00	-0,33	0,04	0,04	0,04
T71	300,00	100,00	-3,13	0,40	1,81	0,02
T72	250,00	100,00	-6,33	0,81	6,40	0,02

5 CONCLUSÕES

Existem diversos aspectos que precisam ser examinados de forma individual para se fazer uma avaliação mais precisa deste trabalho, já que vários recursos foram integrados para que se buscassem os resultados.

5.1 SOFTWARES

- ArcView GIS 3.2 teve um bom desempenho, levando-se em conta as centenas de processamentos que nele foram realizados, permitindo que fossem abertos ao mesmo tempo vários projetos, além do fato de ter sido executado de forma satisfatória quando conectado ao EPANET.
- DC Water atendeu muito bem às expectativas de permitir a conexão ArcView GIS e EPANET, não apresentando nenhum “bug” durante o seu uso, sendo capaz de analisar a estrutura da rede em busca de quaisquer incompatibilidades.
- EPANET atingiu plenamente às expectativas de ser um simulador hidráulico de alto desempenho.
- A linguagem de programação Avenue é uma linguagem simples, interpretada e intuitiva. Como toda linguagem interpretada, não tem a velocidade como um dos seus principais atributos. A grande dificuldade de seu uso se dá pela falta de bibliografia, por não mais ser utilizada nas versões recentes do ArcView GIS.

Entretanto, seu “help” facilita um pouco a pesquisa, apresentando muitos exemplos práticos.

5.2 GEOPROCESSAMENTO

Os recursos do geoprocessamento utilizados neste trabalho justificam plenamente a sua utilização devido os seguintes fatores:

- possibilita um ambiente de desenvolvimento do projeto;
- possibilita o monitoramento do projeto em qualquer fase e facilita alterações e ampliações necessárias;
- além de permitir que se calcule as tubulações e fornecer relatórios sobre os seus aspectos, pode ser utilizada mesmo depois da implantação da rede, acrescentando funcionalidades que auxiliem a concessionária responsável a tomar decisões relativas à sua manutenção e atualização de expansões necessárias, realizando as simulações hidráulicas sem maiores dificuldades;
- permite a agregação de extensões que visem acrescentar recursos de análise e desenvolvimento ao sistema;
- permite não apenas o desenvolvimento do projeto, mas também uma estrutura de informações que pode ser utilizada posteriormente.

5.3 ROTINA DE OTIMIZAÇÃO

O procedimento adotado de diversas iterações mostrou-se bastante eficaz, pois possibilita a verificação da estrutura da rede que melhores resultados pode dar, o que facilita bastante o trabalho do projetista.

Os resultados apresentados permitem uma detalhada análise da rede a fim de se tomar decisões embasadas em informações reais que dão uma visão transparente da situação do projeto.

Embora *esta* metodologia, adaptada do método de Granados, aplicada neste trabalho, não tenha produzido a rede mais econômica, ela produziu uma rede econômica. É importante que se leve em conta que a comparação realizada com as demais metodologias se deu tendo por base o nível do reservatório. No caso particular da Rede do Bessa, esta ficou mais cara que a rede referência (PNL) em 18,67%. Entretanto, se for observada a figura 4.24, a distribuição das pressões, notar-se-á que a mínima pressão da rede do Bessa superou os 20 mca, quando esta deveria ser de 15 mca, o que indica que ela pode ficar mais barata ainda, diminuindo o diâmetro da tubulação.

De qualquer forma, a utilização da rotina deste trabalho pode ser adaptada a situações específicas de projetos, a fim de derivar melhores resultados, já que o método apresentou bons resultados para a rede mais simples (Dois Anéis) e para a rede mais complexa do Bessa,.

5.4 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se a aplicação do método a um sistema de abastecimento secundário, após a realização de modificações no método original para uma melhor adaptação às redes malhadas.

Será preciso também aperfeiçoar o código da rotina utilizada de modo que esta possa trabalhar com sistemas maiores sem gastar tanto tempo de processamento. Uma solução seria trabalhar diretamente com a rotina do EPANET dentro do Avenue, ao invés de se utilizar do DC Water que necessita criar arquivos de leitura e relatórios do EPANET.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, H. Et al. **Performance indicators for water supply services**. International Water Association Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H0QS, Reino, 2000.

ALPEROVITS, E.; SHAMIR, U.; **Design of optimal water distribution systems**. **Water Resources Research**, vol. 13, nº 6, p. 885-900, dezembro, 1977.

Atlas de saneamento / IBGE, Coordenação de Geografia. - Rio de Janeiro : IBGE, 2004.
151p. : mapas

BITTERS, Barry. **Spatial relationship networks: network theory applied to GIS data**. *Cartography and Geographic Information Science* 36.1 (2009): 81+. Academic OneFile. Disponível em: <<http://find.galegroup.com/gps/start.do?prodId=IPS&userGroupName=capes51>>. Acesso em 21/01/2010

BONDY, J. A.; MURTY, U. S. R. **Graph Theory with Applications**. London: The Macmillan Press LTD, 1977.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Portaria nº 1.469/2000, de 29 de dezembro de 2000: aprova o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2001. 32 p.

CÂMARA, G., DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: DPI/INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em 12/05/2009.

CASANOVA, M. A. et al. **Bancos de dados geograficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005.

CASTILLO, L., GONZÁLEZ, A. **Distribution network optimization: Finding the most economic solution by using genetic algorithms**. *European Journal of Operational Research* 108, Pages 527-537, 1998.

CHEUNG, P. B. **Análise de reabilitação de redes de distribuição de água para abastecimento via algoritmos genéticos multiobjetivo**. São Carlos, 2004. 268 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2003.

CHOI, JINMU; E. LYNN USERY. **A prototype feature system for feature retrieval using relationships**. *Cartography and Geographic Information Science* 36.4 (2009): 331+. The Gale Group. Disponível em: <<http://find.galegroup.com/gtx/start.do?prodId=SPJ.SP01&userGroupName=capes51>>. Acesso em: 20/01/2009

CROSS, H. **Analysis of flow in networks of conduits of conductors**. Bulletin No 286. Urbana: Eng. Experiment Station, Univ. of Illinois, 1936.

CURTIN, Kevin M. **Network analysis in geographic information science: review, assessment, and projections**. *Cartography and Geographic Information Science* 34.2 (2007): 103+. The Gale Group . Disponível em: <<http://find.galegroup.com/gtx/start.do?prodId=SPJ.SP01&userGroupName=capes51>>. Acesso em 20/01/2010.

DIBIASE, David, et al. **Introducing the first edition of Geographic Information Science and Technology Body of Knowledge**. *Cartography and Geographic Information Science* 34.2 (2007): 113+. *The Gale Group - Textos Completos - Humanas e Tecnológicas*. Disponível em: <<http://find.galegroup.com/gtx/start.do?prodId=SPJ.SP01&userGroupName=capes51>>. Acesso em 21/01/2010.

FLORANCE, Patrick. **GIS collection development within an academic library**. *Library Trends* 55.2 (2006): 222+. The Gale Group –Disponível em:

<http://find.galegroup.com/gtx/start.do?prodId=SPJ.SP01&userGroupName=capex51> Acesso em 20/01/2010.

FORMIGA, K. T. M. **Metodologia de Otimização de Redes Malhadas Através da Programação Não Linear**, Dissertação de Mestrado; UFPB, CCT, Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande-PB; 1999. 158p.

FORMIGA, K. T. M. **Otimização Multiobjetivo de Projetos de Redes de Distribuição de Água**. São Carlos, 2005, 276 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FORMIGA, K. T. M.; CHAUDHRY, F. H. **Modelos de análise hidráulica de redes de distribuição de água considerando demanda dirigida pela pressão e vazamentos**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, Junho/2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522008000200005&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 01/05/2009.

FORMIGA, K. T. M.; CHAUDHRY, F. H. **Utilização de Algoritmos Evolucionários Multiobjetivos no Dimensionamento de Redes de Abastecimento de Água**. In: Seminário de Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento, 2002, João Pessoa. Anais do Seminário de Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento. João Pessoa : Anais em CD-ROM

GOMES, H. P. **Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 2 ed., 390 p., 1997.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água. Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias**, 2ed. Ed. Universitária UFPB. 2 ed., 242 p., 2004.

GOMES, H. P. e NÓBREGA, C. C. **Dimensionamento de Sistemas de Abastecimento Urbano de Água a Partir de Técnicas de Otimização Econômica**. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu. 1997. Disponível: em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/otimizacion.pdf>> Acesso: em 24/04/2009

GOMES, H. P. ; BEZERRA, S. T. M. **Reabilitação de redes coletivas de sistemas pressurizados de irrigação**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.457-463, 2005 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG - <http://www.agriambi.com.br>

GOUTER, Ian C.; LUSSIER, Bernard, M.; MORGAN, David R. **Implications of Head Loss Path Choice in Optimization of Water Distribution Networks**. *Water Resources Research*. AGO. Vol. 22, nº 5, p. 819-822, New York, NY, USA, 1986.

GRANADOS, A. **Infraestructuras de Regadíos - Redes Colectivas de Riego a Presión** Servicio de Publicación de la E.T.S.I. de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid.1990

GUPTA, I.; GUPTA, P.; Khanna, P. **Genetic algorithm for optimization of water distribution systems**. National Environmental Engineering Research Institute, Nagpur, 1998.

JÚNIOR, J. V. F.; FILHO, M. L. **Algoritmo para o dimensionamento ótimo de uma rede malhada de distribuição de água a partir do seccionamento fictício**.UFRN, 2001. Disponível em: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/trabalhos/A01_01.pdf> Acesso em: 14/07/2010.

KARMELI, D.; GADISH, Y; MEYERS, S. Design of Optimal Water Distribution Networks. *Journal of Pipeline Division, ASCE*, Vol. 94, nº 10, pp. 1-10, New York, NY, USA, 1968.

KESSLER, Avner; SHAMIR, Uri. Analysis of the Linear Programming Gradient Method for Optimal Design of Water Supply Networks. *Water Resources Research*, Vol. 25, nº 7, p. 1469-1480, New York, NY, USA, 1989.

LANSEY, K. E. **The Evolution Of Optimizing Water Distribution System Applications**.8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, Ohio, USA, August 27-30, 2006

LEAL, ANTONIO FARIAS. **Estudo comparativo de métodos de otimização de redes malhadas pressurizadas**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1995. 141p.

LEAL, A F.; GOMES, H. P. **Utilização da Metodologia Granados Para a Otimização de Redes Hidráulicas Malhadas**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v. I, p.13-15, 1997

MAYS, Larry W. **Water Distribution System Handbook**. McGraw-Hill. 2000.

MILSON, A. J.; CURTIS, MARY D. **Where and why there? Spatial thinking with geographic information systems**. National Council for the Social Studies, USA, 2009. *The Gale Group*, 2009. Disponível em: <<http://find.galegroup.com/gtx/start.do?prodId=SPJ.SP01&userGroupName=capes51>>. Acesso:20/01/2010

MUKHERJEE, Falguni, and RINA Ghose. **Complexities in GIS construction and spatial knowledge production in Dane County, Wisconsin**. Cartography and Geographic Information Science 36.4 (2009): 299+. The Gale Group, 2009 – Disponível em: <<http://find.galegroup.com/gtx/start.do?prodId=SPJ.SP01&userGroupName=capes51>>. Acesso em 20/01/2010

NOBEL, C.E.; ALLEN, D.T. **Using Geographic Information Systems (GIS) in Industrial Water Reuse Modelling, Process Safety and Environmental Protection, Volume 78, Issue 4, Sustainable Development**, July 2000, Pages 295-303, ISSN 0957-5820, DOI: 10.1205/095758200530817. Disponível em:

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/B8JGG-4RV2MW7-9/2/7aea281d63697b94d9d0aa7d70b92607>) Acesso em 22/01/01

REDE Interagencial de Informação para a Saúde. **Indicadores básicos para a saúde no Brasil: conceitos e aplicações** / Rede Interagencial de Informação para a Saúde - Ripsa. – 2. ed. – Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2008. 349 p. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2006/indicadores.pdf>>. Acesso em 28 set. 2009.

RODRIGUES, M. (1993) **Geoprocessamento: Um Retrato Atual**. In: Revista Fator GIS, Ano 1, n.º 2, p. 20-23. Curitiba: Sagres.

TEIXEIRA, A. L. A.; CHRISTOFOLETTI, A. **Sistemas de informação geográfica** (Dicionário ilustrado). São Paulo: HUCITEC, 1997.

TOMLIN, D. C. **Geographic Information Systems and cartographic modeling**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1990.

TISUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 643 p

USERY, E.L.. **Category theory and the structure of features in geographic information systems**. Cartography and Geographic Information Science, 1993.

NATH, S. S., BOLTE, J. P., ROSS, L. G., AGUILAR, J-M., **Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture, Aquacultural Engineering**, Volume 23, Issues 1-3, September 2000, Pages 233-278, ISSN 0144-8609, DOI: 10.1016/S0144-8609(00)00051-0. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T4C-40WMPVY-C/2/1dfedfb3bdc106e01fa6898d391b48c3>). Acesso em 22/01/2010

ANEXO I: Script da Rotina Master

```
thisView = av.GetProject.FindDoc("REDE BESSA COMPLETA")
```

```
theTableParameters = av.GetProject.FindDoc("Parameters.dbf")
```

```
theTableDiametros = av.GetProject.FindDoc("Diametros.dbf")
```

```
theTableCustos = av.GetProject.FindDoc("Custos.dbf")
```

```
theVtabParameters = theTableParameters.GetVtab
```

```
theVtabDiametros = theTableDiametros.GetVtab
```

```
theVtabCustos = theTableCustos.GetVtab
```

```
theThemeJunctions = thisView.FindTheme("Junctions.shp")
```

```
theFtabJunctions = theThemeJunctions.GetFTab
```

```
theFieldDiametro_m = theVTabDiametros.FindField("Diametro")
```

```
*****
```

```
' inicialização de variáveis
```

```
*****
```

```
FieldNumStep = theVTabParameters.FindField("NumStep")
```

```
_theNumStep = theVTabParameters.ReturnValueString(FieldNumStep, 0)
```

```
_showReport = FALSE
```

```
theTableDiametros = av.GetProject.FindDoc("Diametros.dbf")
```

```
theTableParameters = av.GetProject.FindDoc("Parameters.dbf")
```

```
theVtabParameters = theTableParameters.GetVtab
```

```
theVtabDiametros = theTableDiametros.GetVtab
```

```
*****
```

```
' inicialização do dicionário de diâmetros
```

```
*****
```

```
dicDiametros = Dictionary.Make(theVTabDiametros.GetNumRecords)
```

```

dicNiveis = Dictionary.Make(8)

*** cria List e adiciona o diametro
lista = List.make
lista_nivel = List.make
lista_diam = List.make
lista_diametro = List.make
lista_trecho = List.make
lista_DiamTotal= List.make

for each index in theVTabDiametros
  lista.Add(theVTabDiametros.ReturnValue(theVTabDiametros.FindField("Diametro"), index))
end

*** ordena crescentemente os diametros dentro da List
lista.sort(true)

*** adiciona em dicDiametros o diâmetro e o custo por metro
for each y in theVTabDiametros
  d = theVTabDiametros.ReturnValue(theVTabDiametros.Findfield("Diametro"),y)
  dicDiametros.add(d,
theVTabDiametros.ReturnValueNumber(theVTabDiametros.FindField("custo"),y))
end

*****
' Redução da perdas por aumentar o diâmetro
*****
myText = MsgBox.Input( "N° de iterações: ", "Master", "" )
qtde = myText.AsNumber

*** Limpa a tabela custos.dbf que é a tabela de relatório
if (theVtabCustos.GetNumRecords>0) then
  theVtabCustos.SetEditable(true)
  for each x in theVtabCustos
    theVtabCustos.RemoveRecord(x)
  end

```

```
theVtabCustos.Flush *** grava no disco as mudanças da memória  
theVtabCustos.SetEditable(False)  
end
```

```
theThemePipes = thisView.FindTheme("Pipes.shp")  
theFtabPipes = theThemePipes.GetFTab
```

```
*** grava na tabela de Pipes o menor diâmetro  
menor_diametro = lista.Get(0) 'recebe o menor diâmetro da tabela, o primeiro da lista  
theFtabPipes.SetEditable(true)  
for each k in theFtabPipes 'tabela de trechos  
    theFtabPipes.SetValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"), k, menor_diametro)  
end  
theFtabPipes.Flush  
theFtabPipes.SetEditable(False)
```

```
*** Executa o epanet uma vez a fim de preencher os campos de pipes, junctions e reservoir  
av.Run("DCWatDes.Model.Epanet.Run",nil)
```

```
*** Realiza as iterações : incrementa os diâmetros nas tubulações *
```

```
incr = 1  
contador = 0  
h1 = 0
```

```
conta_exec = 0
```

```
dicPressure = Dictionary.Make(theFtabPipes.GetNumRecords)
```

```
pressao_ant = 0
```

```

*** Calcula a menor result_pressure na tabela de junctions
pressure = 0

for each n in theFtabJunctions 'tabela de junctions (nós)
  pres = theFtabJunctions.ReturnValue(theFtabJunctions.FindField("result_pressure"),n)
  if (pres < 0) then
    pres = pres * (-1)
  end
  if (pres > pressure) then
    pressure = pres
    junction_1 = theFtabJunctions.ReturnValue(theFtabJunctions.FindField("dc_id"),n)
  end
end
h1 = pressure+15
conta_step=0
while (incr <= qtde)
  grad = 9999999999

for each i in theFtabPipes 'tabela de trechos
  diametro = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"),i)
  comprimento = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("length") ,i)
  trecho = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("dc_id") ,i)

  custo1 = dicDiametros.Get(diametro) 'retorna o custo do metro de tubo
  contador = 0
  ind = lista.Get(contador) 'recebe o menor diâmetro da tabela, o primeiro da lista

*** busca o diâmetro imediatamente superior ao do primeiro trecho cadastrado
while ((ind <= diametro) and (contador <= (lista.count -2)))
  contador = contador + 1
  ind = lista.Get(contador) 'retorna o diâmetro
end

if (ind = diametro) then 'Se alcançou o diâmetro máximo passa-se para o outro trecho

```

```

    continue
end

if (ind > diametro) then
    c1      = custo1

    *** grava na tabela de Pipes temporariamente o novo diâmetro até o processamento Epanet
    theFtabPipes.SetEditable(true)
    theFtabPipes.SetValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"), i, ind)
    theFtabPipes.Flush
    theFtabPipes.SetEditable(False)

    *** executa o epanet com o novo diametro
    av.Run("DCWatDes.Model.Epanet.Run",nil)

    conta_exec = conta_exec+1

    *** calcula a maior result_pressure na tabela de junctions (nós)
    pressure2 = 0

    for each n in theFtabJunctions 'tabela de junctions (nós)
        pres2 = theFtabJunctions.ReturnValue(theFtabJunctions.FindField("result_pressure"),n)
        if (pres2 < 0) then
            pres2 = pres2 * (-1)
        end
        if (pres2 > pressure2) then
            pressure2 = pres2
            junction_1 = theFtabJunctions.ReturnValue(theFtabJunctions.FindField("dc_id"),n)
        end
    end

    *** Calcula o custo total da rede
    c_tot = 0 *** custo total
    for each z in theFtabPipes 'tabela de trechos
        comp = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("Length"),z)
        diam = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"),z)
    end
end

```

```

    c_tot = c_tot + (dicDiametros.Get(diam) * comp)
end

c2 = dicDiametros.Get(ind) 'custo2
h2 = pressure2+15

*** cálculo do gradiente
gradiente = 0
g = 0

if (incr > 1) then 'significa que já houve um processamento
    h1 = pressao_ant
end

if (h1 = h2) then
    g = 10^200
else
    gradiente = (c2 - c1)/(h1 - h2)

    if (gradiente < 0) then
        g = (gradiente * (-1))
    else
        g = gradiente
    end
end

*** grava na tabela de Pipes o diâmetro antigo, devolvendo-o
theFtabPipes.SetEditable(true)
theFtabPipes.SetValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"), i, diametro)
theFtabPipes.Flush
theFtabPipes.SetEditable(False)

*** verifica o menor gradiente
if (g < grad) then
    grad = g
    trecho_final = trecho

```

```

diam_final = ind 'diâmetro

***

xtrecho = trecho
xind = ind
xg = g
xcusto = (c2*comprimento)
xc_tot = c_tot
xh1 = h1
xh2 = h2
xjunction_1 = junction_1
xincr = incr
xh1h2 = (h1-h2)
***
end

*** adiciona ao dicPressure a pressão resultante do diâmetro testado
dicPressure.set(trecho, h2)
end

end

*** grava na tabela de Pipes (trechos) o diâmetro econômico
for each l in theFtabPipes 'tabela de trechos
  if (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("dc_id"),l) = trecho_final) then
    xnode1 = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node1"),l)
    xnode2 = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node2"),l)
    theFtabPipes.SetEditable(true)
    theFtabPipes.SetValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"), l, diam_final)
    theFtabPipes.Flush
    theFtabPipes.SetEditable(False)
    incr = incr+1
    pressao_ant = dicPressure.get(trecho_final)
    dicPressure.Empty
    break
  end
end
end

```

***** Grava o gradiente na tabela custos.dbf**

```

theVtabCustos.SetEditable(true)
new_record = theVtabCustos.AddRecord
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("trecho"), new_record, xtrecho)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("diametro"), new_record, xind)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("gradiente"), new_record, xg)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("custo_tr"), new_record, xcusto)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("custo_tot"), new_record, xc_tot)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("Pressure1"), new_record, xh1)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("Pressure2"), new_record, xh2)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("dc_id_loss"), new_record, xjunction_1)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("STEP"), new_record, xincr)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("Dif_pres"), new_record, xh1h2)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("trech_alt"), new_record, trecho_final)

theVtabCustos.Flush 'grava em disco.
theVtabCustos.SetEditable(False)

```

***** inicio acréscimo

```

primeiro = true
proseguir = true
segundo = false
while (proseguir)
  lista_nivel.empty
  lista_diam.empty
  lista_diametro.empty
  altera = false
  nivel_trechof = 0
  diam_final2=0

  if (primeiro) then
    for each x2 in theFtabPipes 'tabela de trechos
      if ((theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node1"),x2) = xnode1)
        or (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node2"),x2) = xnode2)
        or (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node1"),x2) = xnode2)
        or (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node2"),x2) = xnode1)) then

        if (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"),x2) > diam_final) then

```

```

        lista_diam.add(theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"),x2))
    end
end
end
if (lista_diam.count>0) then
    lista_diam.removeduplicates
    lista_diam.sort(true)
    if (lista_diam.count=1) then
        diam_final2 = lista_diam.get(0)
    elseif (lista_diam.count>=2) then
        diam_final2 = lista_diam.get(1)
    end
end
primeiro=false
segundo = true
else *** se não for o primeiro
    lista_diametro.Empty
    lista_trecho.Empty
    lista_DiamTotal.Empty
    for each y in theFtabPipes
        pula = false
        xnode1    = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node1"),y)
        xnode2    = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node2"),y)
        diam_final3 = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"),y)
        trecho_final3 = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("dc_id"),y)
        for each xx in theFtabPipes 'tabela de trechos
            if (((theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node1"),xx) = xnode1)
                or (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node2"),xx) = xnode2)
                or (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node1"),xx) = xnode2)
                or (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("node2"),xx) = xnode1))
                and (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("dc_id"),xx) <> trecho_final3)) then
                if (((theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("diameter"),xx)>=diam_final3)) then
                    if (((theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("diameter"),xx)=diam_final3)) then
                        pula = true
                        lista_DiamTotal.Empty
                        break
                    else
                        lista_DiamTotal.Add(theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("diameter"),x
x))

```

```

        end
    end
end
end
if (pula) then
    continue
end
lista_DiamTotal.RemoveDuplicates
lista_DiamTotal.Sort(True)

if (lista_DiamTotal.count>0) then
    lista_diametro.add(lista_DiamTotal.get(0))
    lista_trecho.add(trecho_final3)
    lista_DiamTotal.Empty
end

end
prosegue = false
end

if ((diam_final2>diam_final) or (lista_diametro.Count>0)) then
    if (diam_final2>diam_final) then
        primeiro = false
        c1 = dicDiametros.Get(diam_final) 'retorna o custo do metro de tubo
        diam_final = diam_final2
        '** grava na tabela de Pipes (trechos) o diâmetro econômico
        for each l in theFtabPipes 'tabela de trechos
            if (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("dc_id"),l) = trecho_final) then
                theFtabPipes.SetEditable(true)
                theFtabPipes.SetValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"), l, diam_final)
                theFtabPipes.Flush
                theFtabPipes.SetEditable(False)
                break
            end
        end
    end
elseif (lista_diametro.Count>0) then
    for each gh in (0..(lista_diametro.Count-1))

```

```

diam_final3 = lista_diametro.get(gh)
trecho_final3 = lista_trecho.get(gh)
c1 = dicDiametros.Get(diam_final) 'retorna o custo do metro de tubo
*** grava na tabela de Pipes (trechos) o diâmetro econômico
for each l in theFtabPipes 'tabela de trechos
    if (theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("dc_id"),l) = trecho_final3) then
        theFtabPipes.SetEditable(true)
        theFtabPipes.SetValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"), l, diam_final3)
        theFtabPipes.Flush
        theFtabPipes.SetEditable(False)
        break
    end
end
end
end

*** executa o epanet com o novo diametro
av.Run("DCWatDes.Model.Epanet.Run",nil)

conta_exec = conta_exec+1

*** calcula a maior result_pressure na tabela de junctions (nós)
pressure2 = 0
n = 0
for each n in theFtabJunctions 'tabela de junctions (nós)
    pres2 = theFtabJunctions.ReturnValue(theFtabJunctions.FindField("result_pressure"),n)
    if (pres2 < 0) then
        pres2 = pres2 * (-1)
    end
    if (pres2 > pressure2) then
        pressure2 = pres2
        junction_1 = theFtabJunctions.ReturnValue(theFtabJunctions.FindField("dc_id"),n)
    end
end
end

*** Calcula o custo total da rede
c_tot = 0 *** custo total

```

```

for each z in theFtabPipes 'tabela de trechos
    comp = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("Length"),z)
    diam = theFtabPipes.ReturnValue(theFtabPipes.FindField("Diameter"),z)
    c_tot = c_tot + (dicDiametros.Get(diam) * comp)
end

c2 = dicDiametros.Get(diam_final) 'custo2
h2 = pressure2+15

*** cálculo do gradiente
gradiente = 0
g = 0

'if (incr > 1) then
    h1 = pressao_ant
'end
pressao_ant = h2

if (h1 = h2) then
    g = 10^200
else
    gradiente = ((c2 - c1)/(h1 - h2))

    if (gradiente < 0) then
        g = (gradiente * (-1))
    else
        g = gradiente
    end
end

xtrecho = trecho_final
xind = diam_final
xg = g
xcusto = (c2*comprimento)
xc_tot = c_tot
xh1 = h1

```

```

xh2 = h2
xjunction_1 = junction_1
xincr = incr
xh1h2 = (h1-h2)

```

```

*** Grava o gradiente na tabela custos.dbf

```

```

theVtabCustos.SetEditable(true)
new_record = theVtabCustos.AddRecord
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("trecho"), new_record, xtrecho)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("diametro"), new_record, xind)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("gradiente"), new_record, xg)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("custo_tr"), new_record, xcusto)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("custo_tot"), new_record, xc_tot)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("Pressure1"), new_record, xh1)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("Pressure2"), new_record, xh2)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("dc_id_loss"), new_record, xjunction_1)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("STEP"), new_record, xincr)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("Dif_pres"), new_record, xh1h2)
theVtabCustos.SetValue(theVtabCustos.FindField("trech_alt"), new_record, trecho_final)

```

```

theVtabCustos.Flush 'grava em disco.

```

```

theVtabCustos.SetEditable(False)

```

```

incr = incr+1

```

```

end

```

```

end

```

```

end

```

```

***** fim acréscimo

```

```

MsgBox.Info(conta_exec.asstring, "Total de exec EPANET")

```

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)