

REDES DE ESGOTOS SOB PRESSÃO - MODELO DE CÁLCULO DO EQUILÍBRIO HIDRÁULICO -

**Isabel BENTES⁽¹⁾; José TENTÚGAL VALENTE⁽²⁾; João BARROSO⁽³⁾ e José
BULAS-CRUZ⁽⁴⁾**

RESUMO

O processo de drenagem de esgotos domésticos em Portugal tem permanecido praticamente inalterável ao longo do tempo, continuando a utilizar-se em quaisquer circunstâncias redes de funcionamento gravítico. No entanto, em determinados aglomerados populacionais verifica-se que o investimento *per capita* é muito elevado optando-se muitas vezes pela sua não execução com os inerentes custos sociais e ambientais. Esta situação merece reflexão e procura de soluções alternativas. Uma das soluções alternativas é o sistema de esgotos sob pressão. Este sistema utiliza diâmetros de tubagem de reduzidas dimensões, que acompanham a topografia da região a drenar. Devido ao seu funcionamento sob pressão, utilizam tubagens seladas sem câmaras de visita, pelo que não há infiltrações. Desta forma consegue-se muitas vezes reduzir significativamente o custo do investimento por redução dos diâmetros da tubagem, por redução do custo dos movimentos de terras em terrenos planos e rochosos, por eliminação de estações elevatórias e pela redução das dimensões das estações de tratamento, sobretudo em zonas de altos níveis freáticos onde os caudais de infiltração seriam consideráveis. A especificidade do sistema obriga à pesquisa de métodos de dimensionamento adequados ao bom funcionamento da rede. O equilíbrio hidráulico deste tipo de redes não é trivial, o que leva a que os processos de cálculo envolvidos no seu dimensionamento sejam mais complexos do que poderia antecipar-se. Neste sentido, foi desenvolvido um modelo computacional, adaptado ao cálculo e simulação de funcionamento destas redes de esgotos, baseado no paradigma de programação orientada para objectos. Com base neste modelo, foi implementado um utilitário para ajuda ao dimensionamento.

Palavras-chave: Esgotos sob pressão, bombagem de esgotos, equilíbrio hidráulico, programação orientada para objectos, linguagem "C++".

¹ Assistente da Secção de Engenharias (Eng.^a Civil) da U.T.A.D., Vila Real, Portugal.

² Professor Associado da Faculdade de Engenharia (Eng.^a Civil) da U.P., Porto, Portugal.

³ Assistente da Secção de Engenharias (Eng.^a Electrotécnica) da U.T.A.D., Vila Real, Portugal.

⁴ Professor Auxiliar da Secção de Engenharias (Eng.^a Electrotécnica) da U.T.A.D., Vila Real, Portugal.

1- INTRODUÇÃO

Só a partir de meados do século XIX se começou a ter alguma preocupação técnica na concepção de redes de esgotos para implantação nas principais cidades europeias. Desde então não mais se tem parado no desenvolvimento dos processos de cálculo e no estudo dos materiais a utilizar [METCALF & EDDY, INC. (1981)]. No entanto, a sua filosofia tem permanecido praticamente inalterada continuando a utilizar-se redes gravíticas (com funcionamento em superfície livre).

Uma breve análise do panorama português permite constatar que, embora se tenha feito nos últimos 25 anos um esforço significativo no sentido de servir a população com infraestruturas de saneamento básico, a especificidade e topografia dos nossos aglomerados populacionais transformam essas infraestruturas em investimentos *per capita* demasiadamente avultados optando-se muitas vezes pela sua não execução.

Hoje em dia as preocupações ambientais e as exigências da população não se compadecem com a inexistência de redes de drenagem de esgotos domésticos. Esta situação merece reflexão e procura de soluções alternativas. Uma das soluções alternativas é o sistema de esgotos sob pressão [ROSE, (1972)].

Não obstante a bombagem de esgoto já ser prática corrente há muitos anos sob a forma de estações elevatórias, os designados sistemas de esgotos sob pressão só apareceram depois da A.S.C.E. (*American Society of Civil Engineers*) ter lançado um desafio para o estudo de sistemas técnica e economicamente alternativos aos sistemas gravíticos, nos finais dos anos 60 [EPA-625/1 (1991), EPA-625/4 (1997)].

Para este tipo de redes, o processo de cálculo é complexo quando existe um número apreciável de bombas, o que justifica o recurso ao cálculo automático. Dado que uma cuidada estruturação do modelo é um aspecto muito importante para o bom desempenho do sistema computacional a implementar, foi adoptado o paradigma de programação orientada para objectos, para as várias fases do seu desenvolvimento: análise, desenho e implementação.

Esta comunicação encontra-se organizada da seguinte forma: O capítulo 2 descreve sumariamente os sistemas de esgotos sob pressão. O capítulo 3 explica o processo de cálculo proposto para o equilíbrio hidráulico do sistema. O capítulo 4 refere o paradigma de programação orientada para objectos. O capítulo 5 descreve o desenho do sistema. O capítulo 6 faz referência a um exemplo de aplicação. Finalmente, o capítulo 7 contém as conclusões e perspectivas de trabalho futuro.

2- OS SISTEMAS DE ESGOTOS SOB PRESSÃO

Estes sistemas são constituídos fundamentalmente por uma conduta principal de pequeno diâmetro (50 a 150 mm), enterrada a pequena profundidade, ligada às habitações por ramais de ligação também de pequeno diâmetro (25 a 45mm). Nestes ramais de ligação é intercalado um tanque de bombagem que contém uma bomba de pequena potência, habitualmente 1 a 2 HP, que pressuriza o esgoto e o transporta (sob pressão) através da conduta principal até à zona de tratamento ou outro destino final.

Divergências de opinião relativamente aos dispositivos de pressurização a utilizar originaram o aparecimento de dois tipos fundamentais de sistemas de esgotos

sob pressão: o sistema STEP (*septic tank effluent pump*) e o sistema GP (*grinding pump*). A principal diferença entre os dois sistemas é o equipamento mecânico, embora existam também algumas diferenças a nível de projecto e de cargas poluentes do esgoto final.

No sistema STEP, o efluente proveniente de cada habitação é drenado por gravidade até uma câmara de decantação (tipo fossa séptica), de onde são retirados os sólidos em suspensão e as gorduras. Daí é encaminhado para o tanque de bombagem, onde uma bomba submersível, com capacidade de manipular sólidos orgânicos e inorgânicos, com impulsores em bronze ou material plástico para reduzir os problemas de corrosão, pressuriza o esgoto e o transporta para o colector. Este encaminha-o para o sistema de tratamento ou para um colector gravítico (Figura 1).

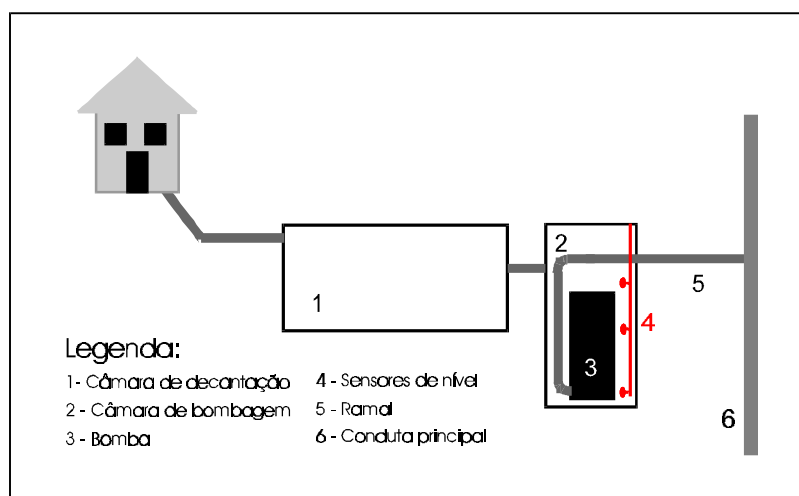


Figura 1 - Sistema STEP

A introdução da câmara de decantação imediatamente antes do tanque de bombagem tem a vantagem de possibilitar a remoção dos sólidos e das gorduras, evitando o entupimento ou a redução da secção das canalizações por deposição de sólidos ou por agregação das gorduras às paredes das condutas. A câmara de decantação tem ainda a vantagem de efectuar um primeiro tratamento do esgoto. No entanto, nos períodos de Verão, a acção biológica é mais intensa provocando alguma liquefacção dos sólidos e produção de gás, reduzindo a sua eficácia de retenção de sólidos.

No sistema GP (Figura 2), o efluente proveniente da habitação é encaminhado directamente para um tanque de bombagem, onde se encontra instalada uma bomba trituradora que pressuriza o sistema. O efluente sob pressão é transportado, tal como no sistema anterior, pela conduta principal até à zona de desembaraçamento pretendida [CARCICH *et al* (Fev/1974)].

A exclusão da câmara de decantação pode ser um factor económico determinante na escolha deste sistema. Estas unidades de bombagem têm ainda a grande vantagem de poderem ser colocadas nas caves dos edifícios, não necessitando de terreno disponível, como no caso do sistema STEP, favorecendo ainda as operações de manutenção.

Estudos efectuados nos Estados Unidos apontam os sistemas de esgotos sob pressão como uma alternativa técnica e economicamente viável às redes públicas

tradicionais, em zonas de baixa densidade populacional, em regiões montanhosas, em terrenos rochosos, onde o nível freático for elevado e, onde houver necessidade de instalar estações elevatórias [Carcich *et al* (Maio 1974)].

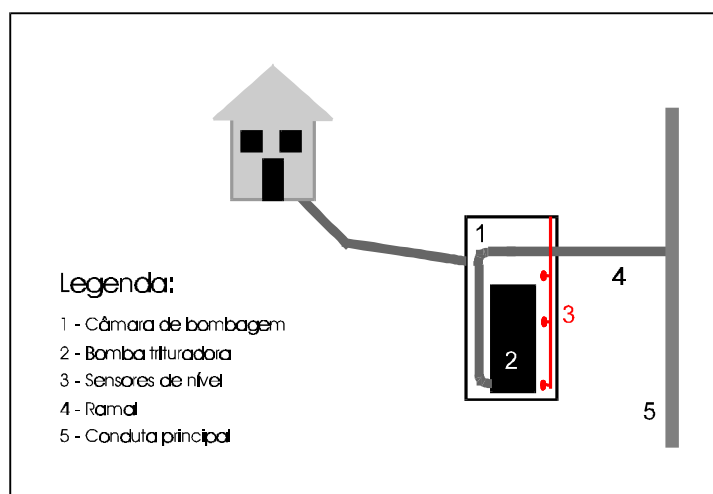


Figura 2 - Sistema GP

O benefício principal destes sistemas é o seu baixo custo de instalação. Por trabalharem sob pressão, utilizam a secção cheia e condutas seladas, eliminando os caudais de infiltração e permitindo a utilização de tubagens de diâmetro reduzido, normalmente de PVC. Mais, permitem que a tubagem acompanhe a topografia do terreno, diminuindo substancialmente os custos de escavação, tanto mais significativos quanto mais rochosa ou montanhosa for a zona a drenar. Eliminando os caudais de infiltração, conduzem a sistemas de tratamento de dimensões mais reduzidas de acordo com os caudais afluídos.

Quanto aos inconvenientes, são sobretudo de duas naturezas. Em primeiro lugar, a eliminação dos caudais de infiltração provoca uma maior concentração de matérias poluentes, exigindo um maior grau de tratamento do esgoto. Em segundo lugar, os custos de operação e de manutenção são mais elevados, devido ao consumo de energia para o funcionamento dos equipamentos mecânicos e à necessidade de assistência por pessoal especializado para a reparação das avarias próprias de equipamento mais complexo. Com o funcionamento sob pressão são eliminadas as caixas de visita, o que dificulta eventuais reparações das condutas. Além disso, é necessário assegurar sempre a ocorrência de pressões positivas e a instalação de válvulas de purga nos pontos altos da rede.

3- EQUILÍBRIO HIDRÁULICO DAS REDES DE DRENAGEM SOB PRESSÃO

As redes de esgotos sob pressão são do tipo ramificado e para que exista equilíbrio hidráulico é necessário que a energia em cada nó seja a mesma, independentemente da inclinação da linha de energia e do sentido do escoamento. Isto implica que o caudal de bombagem não seja habitualmente igual em todos os ramos, sendo obviamente função da curva característica da bomba utilizada e da instalação.

O problema reduz-se ao funcionamento simultâneo de múltiplas bombas (possivelmente todas iguais), que geralmente bombam caudais diferentes para que seja estabelecido o equilíbrio hidráulico da rede. O facto de se utilizar num mesmo

sistema um reduzido número de tipos de bombas justifica-se quer por limitação dos modelos existentes no mercado, quer pela maior facilidade de manutenção da rede em caso de avaria de uma bomba.

Considere-se um sistema constituído por uma conduta principal, n ramais de ligação e n tanques de bombagem com a respectiva bomba (Figura 3).

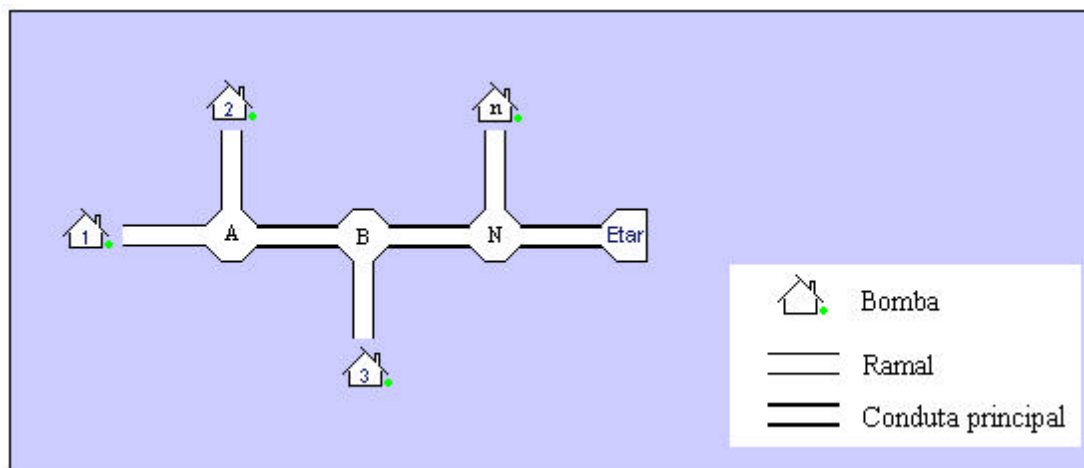


Figura 3 - Esquema de uma rede

Para análise do sistema começa por fazer-se um pré-dimensionamento para escolha das bombas e dos diâmetros das condutas, considerando:

- caudal constante função do número de habitantes servidos por cada bomba;
- um valor de referência de 1m/s para a velocidade.

Em seguida são calculados os parâmetros de funcionamento da rede (caudais, velocidades, perdas de carga e alturas de elevação das bombas), de modo a verificar se há necessidade de alteração dos diâmetros da tubagem ou de proceder à escolha de novas unidades de bombagem.

Considere-se que cada bomba tem uma curva característica (altura de elevação função do caudal) do tipo da representada na Figura 4.

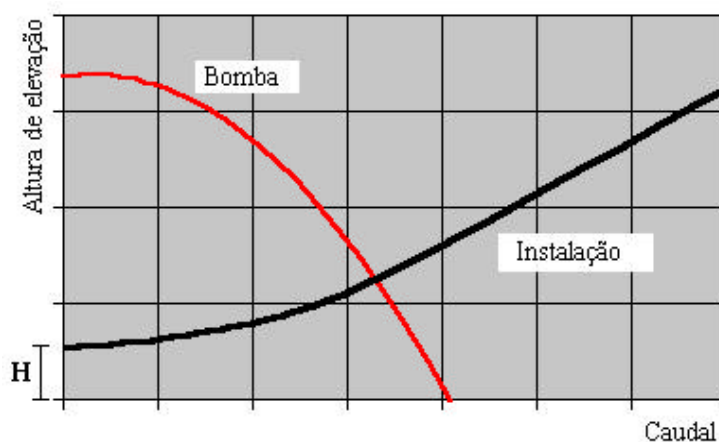


Figura 4 - Exemplo de curvas características de uma bomba e de uma instalação

Considerando a perda de carga função do caudal e o desnível geométrico H entre 1 e A, pode representar-se a respectiva curva característica da instalação como se ilustra na Figura 4.

Subtraindo a curva característica da instalação de 1 a A à curva característica da bomba 1, obtém-se a curva característica de uma bomba virtual colocada no ponto A, que é habitualmente designada por curva característica modificada da bomba 1.

O processo de obtenção da curva característica modificada da bomba 2, colocada no ponto A, seria idêntico ao anterior. É ainda necessário transformar as bombas virtuais 1 e 2 numa bomba virtual equivalente a estas duas, que se obtém considerando o seu funcionamento em paralelo.

O processo repete-se de forma semelhante até à obtenção de uma bomba virtual no ponto N, conhecendo-se assim a curva característica da bomba virtual equivalente a todas as bombas do sistema.

Conhecida a curva característica da instalação de N à ETAR obtemos o respectivo ponto de funcionamento, determinando-se desta forma a altura de elevação e o caudal movimentado pela bomba virtual referenciada ao ponto N.

Por um processo inverso consegue determinar-se o caudal movimentado por cada bomba para que haja equilíbrio hidráulico na rede previamente fixada.

Pela análise das velocidades em cada troço da tubagem e pela análise dos pontos de funcionamento das bombas em cada nó, podem tirar-se conclusões quanto às bombas a utilizar e aos diâmetros das tubagens.

O processo de cálculo é complexo para redes com um número apreciável de bombas. Como a probabilidade de as várias bombas estarem em funcionamento simultaneamente é muito baixa, convém dispor de uma ferramenta que permita experimentar de modo rápido diferentes combinações. Estudos estatísticos permitiram determinar de modo aproximado o número de bombas em funcionamento simultâneo, em função do número total de bombas do sistema [TRASHER (1988)]. Com base no número de bombas que poderão estar simultaneamente em funcionamento em determinada rede, convém estudar diversas combinações, para certificação de que o sistema tem grande probabilidade de funcionar correctamente em situações mais desfavoráveis.

Estas razões levaram os autores a optar pelo recurso ao cálculo automático. Dado que uma cuidada estruturação do modelo é neste caso fundamental, foi adoptado o paradigma de programação orientada para objectos, para a análise, desenho e implementação deste sistema em computador.

4- O PARADIGMA DE PROGRAMAÇÃO ORIENTADA PARA OBJECTOS

A programação de computadores tem vindo a evoluir desde o aparecimento do primeiro computador na década de 40. No início foi dada pouca atenção às linguagens de programação, que eram consideradas como uma simples convenção notacional. No entanto, com o rápido desenvolvimento de plataformas de *hardware* mais poderosas, sentiu-se a necessidade de criar *standards*. Assistiu-se assim ao desenvolvimento de linguagens *Assembly* e de bibliotecas de rotinas. À medida que as linguagens ganharam em funcionalidade e poder expressivo, foi necessário dar mais atenção ao desenvolvimento de conceitos de engenharia de *software*. Encontra-se hoje

generalizada a ideia de que para aumentar a qualidade do *software* ele deve ser **modular** [BOOCH (1994)]. Cox sustenta o ponto de vista de que a construção de *software* tem de abandonar a etapa em que "tudo no domínio de *software* é único, composto por módulos e rotinas que nunca foram usadas antes e nunca serão usadas depois" [COX (1990)]. A produção de *software* tem de entrar noutra etapa, onde os programadores construirão novos sistemas a partir de bibliotecas de módulos de *software* reusáveis.

O paradigma de programação orientada para objectos vai na linha de produzir *software* modular, na medida em que neste paradigma existem entidades que reúnem os dados e os procedimentos que manipulam estes dados, os **objectos** [MEYER (1988)]. Os conceitos mais importantes do paradigma de programação orientada para objectos são analisados de modo muito sumário de seguida.

4.1- Objectos

O conceito fundamental do paradigma de programação orientada para objectos é o de **objecto**. Rumbaugh define um objecto "como um conceito, abstracção ou coisa, com fronteiras bem definidas e com significado para o problema em causa" [RUMBAUGH (1991)]. De acordo com Wegner um objecto é "uma colecção de operações que partilham um estado" [WEGNER (1990)]. Este estado, representado por uma estrutura de dados, deve ser externamente acessível unicamente por funções de interface, usualmente chamadas de **métodos**.

Exemplos de objectos numa rede de esgotos podem ser as condutas, as bombas, os nós, as estações de tratamento. O objecto bomba pode ter como dados, os seus **atributos**, por exemplo: o tipo de bomba, a curva característica, o consumo de energia eléctrica, os diâmetros da tubagens de aspiração e da tubagem de elevação. Para saber qual o caudal obtido com determinada bomba para uma determinada altura de elevação, deve ser enviada uma **mensagem** ao respectivo objecto que invoca o método correspondente, o qual responde com o valor do caudal.

A capacidade de combinar numa só identidade, o objecto, quer os dados (**atributos**) quer os procedimentos que manipulam esses dados (**métodos**) é normalmente conhecida como **encapsulação** ou **ocultação de dados**. Cox afirma que a **ocultação de dados** é o um conceito fundamental no paradigma de programação orientada para objectos, dando uma maior importância às técnicas de empacotamento [COX (1986)].

Do ponto de vista do utilizador, um objecto é uma caixa preta, um componente com determinada funcionalidade. Assim, é possível construir aplicações que são facilmente mantidas e alteradas, porque são fáceis de entender. Os objectos podem ser vistos numa relação cliente/servidor: cada objecto oferece aos seus clientes um determinado número de serviços e é responsável por eles [WIRFS-BROCK (1989)].

Na maioria dos sistemas orientados para objectos, os objectos são organizados em **classes** de objectos e **instâncias** de objectos. Classes de objectos são modelos. Instâncias de objectos são criadas a partir desses modelos. Uma classe de objectos é uma abstracção, que define os atributos e o comportamento dos membros dessa classe, representando um grupo de coisas similares, por exemplo a classe "bomba". Uma instância representa uma entidade concreta, por exemplo a "bomba número um" de um sistema de esgotos. A classe "bomba" representa o esqueleto a partir da qual a instância que representa a "bomba número um" é criada.

4.2- Abstracção

Organizando os objectos em classes, o paradigma de programação orientada para objectos tem uma maior capacidade de abstrair os problemas. De acordo com Rumbaugh "a abstracção dá à modelação a capacidade de generalizar a partir de poucos casos específicos, para inúmeros casos semelhantes" [RUMBAUGH (1991)]. Também o reuso de código deriva da abstracção. As operações são escritas uma vez por classe, para serem usados por todos os objectos dessa classe.

4.3- Herança

A herança torna possível derivar uma classe a partir de outra. Essa classe terá a funcionalidade da classe de que derivou (a sua superclasse) com a possibilidade de poder mudar alguns aspectos. Usando a herança é fácil estender uma classe, criando uma subclasse na qual os detalhes que faltavam serão adicionados. A herança é usada em sistemas orientados para objectos para desenvolver hierarquias de classes.

Uma hierarquia de classes captura a relação "**do tipo**": uma bomba modelo "SPG150" é **do tipo** bomba. Este tipo de relação é normalmente usado em **classificação**.

Alguns sistemas de classes não usam herança. Usam no entanto um mecanismo de linguagem designado por **delegação**, em que os objectos são vistos como protótipos que delegam o seu comportamento para os objectos relacionados.

4.4- Polimorfismo

O **polimorfismo** permite a um sistema usar nomes comuns para o mesmo género de operações em diferentes objectos. Tomemos como exemplo a classe "ElementoDeRedeDeEsgotos", tendo como subclasses, também chamadas classes derivadas, "Conduta" e "Bomba". Se as classes "Conduta" e "Bomba" têm ambos métodos para determinar o seu preço, faz sentido que esses métodos tenham o mesmo nome para os objectos das duas classes. O programador só precisa de se lembrar do nome "ObterPreço" e usá-lo sempre que necessite de determinar o preço de um componente da rede. A identificação do método que deverá ser chamado quando a mensagem "ObterPreço" é recebida é feita quando o programa é executado, em lugar de ser feita quando o programa é compilado. Esta técnica toma o nome de **ligação tardia** ou **dinâmica** (*late binding* ou *dynamic binding*). Usando polimorfismo é possível reduzir o número de identificadores numa aplicação, reduzindo aquilo que Cox designa por **área superficial** da aplicação [COX, (1986)].

4.5- Ligações e associações

Segundo Rumbaugh, "ligações e associações são os meios para estabelecer relações entre objectos e classes". Uma **ligação** representa uma conexão entre instâncias. Uma rede de esgotos **pertence a** uma povoação. Uma **associação** descreve um grupo de ligações com uma estrutura comum. "Uma associação descreve um conjunto de potenciais ligações da mesma maneira que uma classe descreve um conjunto de potenciais objectos" [RUMBAUGH (1991)].

No desenvolvimento de uma hierarquia devem ter-se em conta diferentes aspectos das relações entre os objectos componentes. Alguns desses aspectos são:

- "**do tipo**" ou "**é um**": um objecto de um certo nível é **do tipo** do objecto do nível acima - exemplo: um "sistema de esgotos sob pressão" é **um** "sistema de esgotos" e um "sistema de esgotos STEP" é **um** "sistema de esgotos sob pressão" (relação de **classificação**).
- "**Um componente de**" ou "**uma parte de**": os objectos de um certo nível são os componentes de um dos objectos do nível acima - exemplo: as "bombas", as condutas, etc., são **uma parte de** um "sistema de esgotos sob pressão" (relação de **composição**).

Como anteriormente notado, as relações **do tipo** estão relacionadas com a **classificação** e são implementadas pela **herança**. Outra importante forma de associação é a **agregação**. Ela representa as relações "**um componente de**" ou "**uma parte de**", sendo usualmente implementada por objectos "contentores".

4.6- Modelação e desenho

O desenvolvimento de um sistema de *software* envolve três passos: **análise** - desenvolvimento do modelo conceptual; **desenho** - desenvolvimento do modelo do *software*; **implementação** - desenvolvimento do código de *software*. Analisando, abstraindo e representando o mundo real, é construído um modelo conceptual, que só tem em conta os aspectos relevantes para a resolução do problema. O modelo conceptual é de seguida adaptado a um modelo apropriado para ser implementado no computador (o modelo de *software*). O modelo de *software* é então traduzido numa linguagem de programação.

4.7- Notação

Uma notação gráfica é normalmente útil nas fases de análise e desenho. O projecto deste sistema segue os passos e as notações definidas pela OMT (*Object Modeling Technique*), proposta por [RUMBAUGH (1991)].

5- DESENHO DO SISTEMA

O modelo de análise foca os três aspectos de um sistema de objectos: a estrutura **estática** (modelo de cada objecto), a sequência de interacções (modelo **dinâmico**) e a transformação dos dados (modelo **funcional**). Os três modelos não têm a mesma importância em cada problema. Em problemas com muita interacção com o utilizador e com uma temporização definida, como interfaces de utilizador e processos de controlo, o modelo dinâmico é muito importante.

Analisando o projecto proposto, podem distinguir-se à partida quatro objectos principais: a **Rede**, a **Etar**, o **Ramo**, o **Nó** e a **Bomba**. Com base na existência de características (atributos e métodos) comuns a estes objectos, optou-se por um desenho "tipo árvore" (*tree approach*), isto é, todos as classes são colocados na mesma hierarquia (Figura 5), cuja raiz é a classe **Genérico**. Esta classe representa um elemento genérico da rede de esgotos.

Uma rede concreta é definida pelo utilizador. Foram definidas algumas restrições, que reflectem a estrutura de base de uma rede de esgotos. Cada **Etar** tem apenas associado um objecto **Ramo**, na entrada. Cada **Nó** tem associado apenas objectos **Ramo**, um na saída e um ou mais nas entradas (nesta implementação, sete no

máximo). Cada objecto **Ramo** está associado a quatro combinações possíveis de dois elementos: **Etar/Nó**, **Etar/Bomba**, **Nó/Nó**, **Nó/Bomba**. Cada objecto **Bomba** tem apenas associado um objecto **Ramo**, na saída.

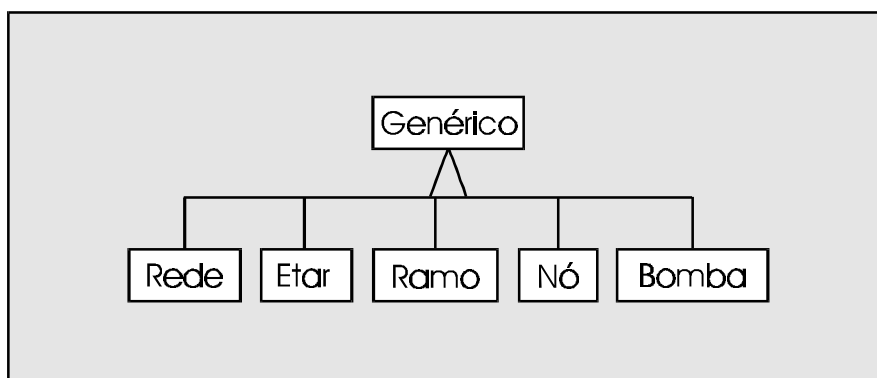


Figura 5 - Hierarquia "tipo de" dos objectos da rede de esgotos

Pelo facto de o objecto **Nó** ter no máximo uma conexão a jusante e sete conexões a montante, o objecto **Ramo** tem oito disposições gráficas, sendo também o seu comprimento variável.

A rede de esgotos é modelada por uma relação de composição (**a parte de**) de objectos da classe **Genérico**, constituintes de um objecto **Rede**. As classes dos objectos **Genérico**, **Etar**, **Ramo**, **Nó** e **Bomba**, encontram-se representados graficamente na Figura 6.

Genérico	Etar	Ramo
ConexãoMontante ConexãoJusante TabelaHidráulica Cota PontoDeFuncionamento AspectoGráfico	ConexãoMontante ConexãoJusante TabelaHidráulica Cota PontoDeFuncionamento AspectoGráfico	ConexãoMontante ConexãoJusante TabelaHidráulica Cota PontoDeFuncionamento AspectoGráfico
EstabelecerConexõesMontante EstabelecerConexõesJusante PreencheTabelaHidraulica Calcular Visualizar propriedades Desenhar	EstabelecerConexõesMontante EstabelecerConexõesJusante Calcular Visualizar propriedades Desenhar	Diâmetro Comprimento Velocidade EstabelecerConexõesMontante EstabelecerConexõesJusante Calcular Visualizar propriedades Desenhar
Nó	Bomba	
ConexãoMontante ConexãoJusante TabelaHidráulica Cota PontoDeFuncionamento AspectoGráfico	ConexãoMontante ConexãoJusante TabelaHidráulica Cota PontoDeFuncionamento AspectoGráfico	
EstabelecerConexõesMontante EstabelecerConexõesJusante Calcular Visualizar propriedades Desenhar	DadosHabitacionais EstabelecerConexõesMontante EstabelecerConexõesJusante Calcular Visualizar propriedades Desenhar	

Figura 6 - Objectos utilizados na modelação de uma rede

São analisados de seguida alguns atributos e métodos relativos às várias classes.

5.1- Classe **Genérico**

A ConexãoMontante contém zero (caso da classe **Bomba**) ou mais conexões.

A ConexãoJusante contém zero (caso da classe **Etar**) ou uma conexões.

A TabelaHidraulica é uma *look-up-table*, sendo os seus valores representativos da relação existente entre caudal e altura de elevação. A Cota representa a cota de instalação, sendo no caso particular do ramo a diferença de cotas entre os seus extremos.

O PontoDeFuncionamento é um par ordenado, indicando o caudal e a altura de elevação associada.

O AspectoGráfico contém informação necessária ao desenho do objecto numa janela gráfica.

O método EstabelecerConexõesMontante coloca no atributo ConexõesMontante as conexões existentes.

O método EstabelecerConexõesJusante coloca no atributo ConexõesJusante as conexões existentes.

O método PreencheTabelaHidraulica, completa o atributo TabelaHidraulica com o caudal e respectiva altura de elevação.

O método Calcular dimensiona a estrutura da rede de esgotos com base no auto-dimensionamento de cada objecto. Este método subdivide-se em dois: CalculoPreliminar: pré-dimensionamento; CalculoFinal: dimensionamento. O método Calcular invoca o método Calcular do objecto **Genérico** a montante.

O método VisualizarPropriedades permite ao utilizador consultar a informação relativa ao objecto seleccionado.

O método Desenhar apresenta o objecto numa janela gráfica.

5.2- Classe **Rede**

A **Rede** é um objecto que contém os vários elementos da rede. A existência deste objecto permite, por exemplo, usar num mesmo universo mais de uma rede e modelar uma rede como um conjunto de redes (sub-redes).

5.3- Classe **Etar**.

A ConexãoMontante indica a conexão com o objecto **Ramo** associado. A ConexãoJusante contém zero conexões. Os restantes atributos contêm a informação referenciada na classe **Genérico**.

O método Calcular não realiza qualquer cálculo, limitando-se a invocar o método Calcular do objecto a montante. Os restantes métodos realizam funções referenciadas na classe **Genérico**.

5.4- Classe **Ramo**.

A ConexãoMontante contém uma conexão com um objecto **Nó** ou **Bomba**. A ConexãoJusante contém uma conexão com um objecto **Nó** ou **Etar**. O Diâmetro, Velocidade e Comprimento contêm respectivamente o que o próprio nome sugere.

Os restantes atributos contêm a informação referenciada na classe **Genérico**.

5.5- Classe **Nó**

A ConexãoMontante contém uma conexão com os objectos **Ramo** associados (máximo de sete). A ConexãoJusante contém a conexão com o objecto **Ramo** a jusante.

Os restantes atributos contêm a informação referenciada na classe **Genérico**.

O método Calcular não realiza cálculo do respectivo diâmetro, realizando a chamada do objecto associado a montante para efectuar o respectivo cálculo (não são ainda tomadas em conta as perdas de carga localizadas).

Os restantes métodos realizam funções referenciadas na classe **Genérico**.

5.6- A classe **Bomba**

A ConexãoMontante contém zero conexões. A ConexãoJusante contém uma conexão com o objecto **Ramo** associado. Os DadosHabitacionais contêm informação relativa ao aglomerado habitacional.

Os restantes atributos contêm a informação referenciada na classe **Genérico**.

O método Calcular realiza cálculo a partir do atributo DadosHabitacionais, e, ao invés dos restantes objectos **Genérico**, não efectua a chamada do objecto associado a montante.

Os restantes métodos realizam funções referenciadas na classe **Genérico**.

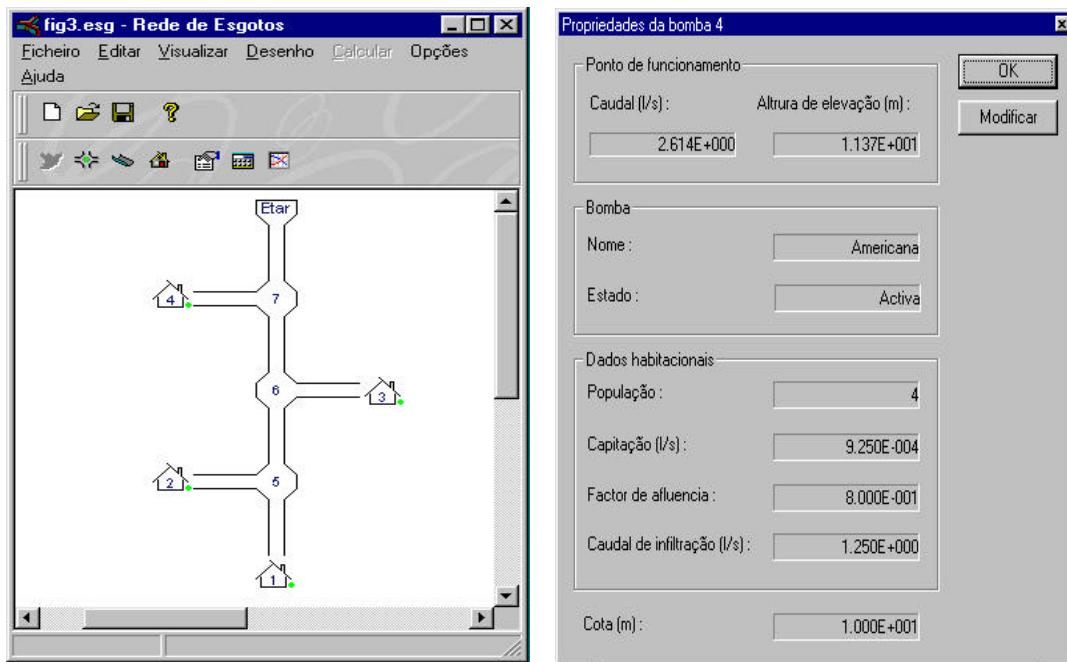
6- UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para ilustrar o cálculo automático de uma rede de esgotos sob pressão usando o modelo desenvolvido, considere-se a rede representada esquematicamente na Figura 7a).

O programa, sendo interactivo, permite a introdução das características dos diversos órgãos da rede (comprimento da tubagem, cota da ETAR, dos nós e das bombas, número de habitantes servidos por cada bomba, capitações, factores de afluência à rede, caudais de infiltração e características das bombas) à medida que vai sendo desenhada, havendo sempre a opção de alterar posteriormente os dados.

Introduzidos os dados, processa-se o respectivo cálculo. Para cada órgão são geradas janelas como a que se apresenta na Figura 7b), que permitem visualizar os dados e os parâmetros calculados (neste caso **caudal** e **altura de elevação da bomba**), havendo ainda a possibilidade de alterar os dados e refazer os cálculos da rede.

Nas bombas podem ser visualizados os respectivos pontos de funcionamento. Nos nós da rede podem igualmente ser visualizados os pontos de funcionamento das bombas virtuais (Figura 8).



a) Exemplo de representação esquemática da rede.

b) Apresentação dos parâmetros relativos à bomba 4.

Figura 7 - Interface do sistema.

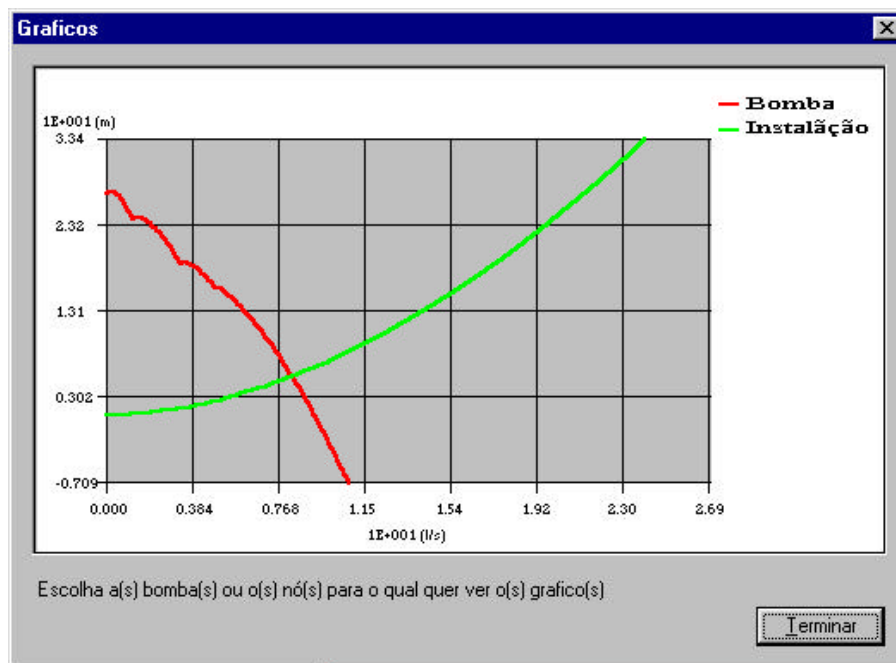


Figura 8 - Curva característica da bomba virtual equivalente a todas as bombas do sistema e respectivo ponto de funcionamento (Nó 7)

Como se referiu, a probabilidade de todas as bombas do sistema funcionarem em simultâneo é bastante pequena. Por isso, o programa dá ao utilizador a possibilidade de desactivar quaisquer bombas no sistema e repetir o processo para diversas combinações, por forma a caracterizar o funcionamento da rede em diversas situações.

A implementação do sistema foi realizado em linguagem C++, usando o compilador “Microsoft Developer Studio 5.0”.

7- CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

A experiência de utilização do programa na sua fase actual de desenvolvimento demonstra que a aproximação proposta se adequa aos objectivos pretendidos, ou seja, ao cálculo e simulação do funcionamento de redes de esgotos sob pressão.

O programa de *software*, na actual versão, dimensiona a estrutura, não interagindo com os resultados finais, na medida em que não toma decisões em relação a esses mesmos resultados. Numa versão posterior, o programa deverá auxiliar o utilizador na tomada de decisões e na análise de resultados, nomeadamente na escolha das bombas, tipo de material e diâmetro das tubagens, tendo em conta também o aspecto económico.

Numa segunda fase, o trabalho incidirá sobre estudos baseados em simulação do funcionamento do sistema, para uma melhor compreensão do seu funcionamento ao longo do tempo. Neste aspecto incluem-se a análise de situações como o re-arranque após um corte prolongado de energia eléctrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Eng.º Arlindo Costa dos Santos e ao Eng.º Mário Augusto Machado Guedes, recém licenciados em Engenharia Electrotécnica pela UTAD, o empenho com que colaboraram neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BOOCH, G.. *Object Oriented Design with Applications*, The Benjamin/Cummings Publishing Company. California. USA, 1994.
- CARCICH, I. G.; HETLING, L. J.; FARREL, R.P. - “Pressure Sewer Demonstration”. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 100, 1, Fevereiro 1974, pp. 25-40.
- CARCICH, I. G.; HETLING, L. J.; FARREL, R.P. - “The Pressure Sewer: A New Alternative to Gravity Sewers”. *Civil Engineering ASCE*, 44, 5, Maio 1974, pp. 50-53.
- COX, B. J.. *Object-Oriented Programming: An Evolutionary Approach*. Addison-Wesley. Reading (Mass.). USA, 1986.
- COX, B. J.. *There ia a Silver Bullet*. Byte Magazine. Volume 15. Nº 10. October 1990. MacGRAW-HILL. USA, 1990.
- EPA - *Alternative for Small Wastewater Treatment Systems - Pressure Sewers / Vacuum Sewers*. EPA/625/4/77/011, 1977.

- EPA - *Alternative Wastewater Collection Systems - Manual*. EPA/625/1/91/024, 1991.
- HILDEBRAND, F. . *Introduction to numerical analysis* –Second Edition-Dover Publications, Inc, New York, 1897.
- METCALF & EDDY, INC.- *Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater*. New York, McGraw-Hill, Inc., 1981.
- MEYER, B.. *Object-Oriented Software Construction*. Prentice-Hall International (UK) Ltd. Hertfordshire. UK, 1988.
- ROSE,C.W. - “ Rural Wastes: Ideas Needed”. *Water and Wastes Engineering*, 9, 2, Fevereiro 1972, pp. 46-47.
- RUMBAUGH, J., BLAHA M., PREMERLANI, W., EDDY F., LORENSEN, W.. *Object Oriented-Modelling and Design*. Prentice-Hall International Editions. New York. USA, 1991.
- WEGNER, P.. *Concepts and Paradigms of Object-oriented Programming*. Expansion of October 4 OOPSLA-89 Keynote Talk. OOPS Messenger. Vol 1, Number 1, August 1990. ACM Press, 1990.
- WIRSF-BROCK, R. and WILKERSON, B.. *Object-Oriented Design: A Responsibility Driven Approach*. OOPSLA-89 Proceedings, Special Issue of Sigplan Notices, vol. 24, number 10, Oct. 1989, Addison-Wesley, 1989.
- TRASHER, D. - *Design and use of Pressure Sewer Systems*. Michigan (USA), Lewis Publishers, 1987.