

O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos

(I) Modelo Básico de Objetos para uma Rede Hidrográfica

João Soares Viegas Filho

Faculdade de Engenharia Agrícola / Agência para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim, UFPEL - Campus Universitário do Capão do Leão, Caixa Postal 354 – Pelotas/RS - jviegas@uol.com.br

Antonio Eduardo Leão Lanna

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH-UFRGS - Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029 - CEP:91501-970 Porto Alegre RS lanna@jf.ufrgs.br

Recebido: 27/07/01 – revisão: 12/06/02 – aceito: 15/04/03

RESUMO

A Modelagem Orientada a Objetos (MOO) é uma metodologia de modelagem baseada na forma natural como o ser humano pensa o mundo em que vive e em três processos de organização mental que lhes são peculiares: a diferenciação, a distinção todo-parte e a percepção de classes distintas. Para tanto, permite, a partir da conceituação geral do sistema a ser modelado (domínio do problema) e da definição de seus limites e abrangência, a abstração de seus principais componentes (objetos e classes), identificando atributos(dados) e comportamentos (procedimentos e funções), bem como os serviços que cada componente pode prestar ao todo (responsabilidades do sistema). A partir disso, com a utilização de mecanismos que lhe são próprios, tais como a herança e o polimorfismo, apresenta significativa vantagem na administração da complexidade dos sistemas modelados.

A aplicação da MOO a Sistemas de Recursos Hídricos foi o objeto principal deste trabalho, o qual, em virtude da extensão do assunto e de uma melhor adequação para a exposição dos temas abordados, foi dividido em dois artigos. Dessa forma, apresenta-se, neste primeiro, uma metodologia de modelagem fundamentada nos princípios e mecanismos básicos da MOO e, como aplicação, um Modelo Básico de Objetos e uma Biblioteca de Classes Básica concebidos segundo o contexto de uma Rede Hidrográfica, os quais podem ser aplicados à modelagem de diferentes problemas tais como aqueles voltados para o Planejamento de Uso da Água, para o Controle de Cheias ou à Qualidade da Água. O artigo seguinte faz a abordagem de um Modelo de Objetos Aplicado ao Planejamento de Uso da Água, apresenta uma Biblioteca de Classes Especializada, derivada da anterior e um aplicativo - o PROPAGAR MOO - construído com a utilização da mesma.

Palavras-chave: sistemas de apoio à decisão, SAGBAH, PROPAGAR

INTRODUÇÃO

A abrangência e a complexidade dos problemas que envolvem o planejamento do uso, controle e proteção dos recursos hídricos necessitam para a sua análise a utilização de Sistemas de Apoio à Decisão constituídos segundo o trinômio dados-modelos-interface nos quais esses elementos estejam perfeitamente integrados.

Nesse sentido, dois aspectos destacam-se como muito importantes: primeiro, a necessidade de que os modelos representem da forma mais adequada possível os sistemas que buscam reproduzir, tratando de modo equilibrado o contraponto existente entre a sua capacidade de representação desses sistemas e a simplicidade de abordagem parcimoniosa; segundo, a necessidade de que a inter-

face modelo-usuário seja a mais simples e amigável possível introduzindo uma melhor flexibilidade tanto na entrada de dados, na operação do modelo como, também, na análise dos resultados.

Dentro desse propósito, a Modelagem Orientada a Objetos e as técnicas de programação dela decorrentes têm-se mostrado bastante eficientes na modelagem de problemas do mundo real, permitindo um tratamento integrado e global de todas as características que envolvem os elementos e os fenômenos que dele são abstraídos. Além disso, essa metodologia conduz à reunião de atributos (dados) e comportamentos (processos) em um só contexto e, ao mesmo tempo, leva a uma adequada separação da análise do problema em si (domínio do problema) e da sua implementação computacional.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a Modelagem Orientada a Objetos como uma metodologia

de modelagem – e não apenas de programação – de grande valia na concepção de modelos que representem os Sistemas de Recursos Hídricos e que, na sua implementação através de programas de computadores, possam vir a integrar Sistemas de Apoio à Decisão plenamente compatibilizados com as premissas acima mencionadas.

FUNDAMENTOS DA MODELAGEM ORIENTADA A OBJETOS

Porque Modelagem Orientada a Objetos ?

Fundamentada na forma natural do ser humano pensar o mundo real, a MOO, apresenta-se, também, como uma forma vantajosa de proceder-se a análise, projeto e construção de modelos matemáticos que, implementados em computador, busquem representar as principais características que se deseje abstrair desse mundo. Observe-se que essa capacidade de representação de sistemas reais de alta complexidade foi o que originou esse paradigma, concebido inicialmente na Noruega, no início dos anos 60, aplicado às linguagens de simulação (Winblad, Edwards e King, 1993). Isso vem a ser de singular importância para a modelagem de problemas que representem o mundo físico, seu entorno e as diferentes interações entre ele e as necessidades humanas, como acontece com os problemas de engenharia.

A MOO decorre, na verdade, da observação de três processos de organização mental utilizados pelo ser humano para entender o mundo em que vive (Coad e Yourdon, 1992):

- **Diferenciação:** condição de distinguir objetos entre si, através de seus atributos e da capacidade que apresentam de reagirem de modo diferenciado a estímulos externos;
- **Distinção entre Todo e Parte:** condição de perceber um objeto como constituído de partes componentes que interligadas formam um todo;
- **Percepção de Classes Distintas:** condição de reunir objetos com características semelhantes em classes.

Assim, a MOO é uma metodologia com grande potencial de vir servir de extensão para a capacidade humana de perceber, compreender e interagir como o mundo, por intermédio da utilização de mecanismos compatíveis com esses processos mentais, e não apenas uma técnica de modelagem computacional. Essa é a razão pela qual lhe é

dada, aqui, de modo enfático, a denominação de Modelagem Orientada a Objetos ao invés de Programação Orientada a Objetos, costumeiramente utilizada no âmbito da Informática. É que essa metodologia conduz o modelador, de forma organizada, a construir a representação mental do sistema real que busca modelar de modo a que não perca, em nenhum momento do processo, a relação integral e sistêmica que deve existir entre todas as características (atributos e comportamentos) a ele pertencentes. Para alcançar esses propósitos, a MOO apresenta três fases principais e uma complementar. São elas: análise, projeto, implementação e manutenção. A primeira delas, a etapa de análise é onde se dá a *modelagem do mundo real*, ou seja, a *representação por abstração daquilo que se está pretendendo modelar*. A etapa de projeto é onde é iniciado o processo de adequação do que se está modelando à representação através de programas de computador, ainda de forma independente de linguagem, e, finalmente, a implementação é onde, de fato, através de uma linguagem computacional isso é realizado. Dessa forma, é possível associar-se a denominação Programação Orientada a Objetos apenas às três últimas fases da modelagem, entendendo-se a mesma como uma das partes componentes da MOO.

Na modelagem de problemas de engenharia, em geral, e na de sistemas de recursos hídricos, em particular, isso fica significativamente evidenciado, uma vez que o modelador, inicialmente, sempre visualiza o sistema a ser modelado como algo concreto, composto de diferentes componentes físicos (objetos) atuando conjuntamente de forma integrada. Depois, busca daí abstrair os processos envolvidos (comportamentos) e dar-lhes uma representação matemática através de algoritmos apropriados.

Nesse momento, na modelagem convencional, o modelador – visualizando apenas a utilização do computador como uma máquina calculadora, capaz de resolver com rapidez e precisão os algoritmos envolvidos e, também, em função das limitações das linguagens procedurais (FORTRAN, C, BASIC, etc.) – faz a separação entre os atributos e os processos envolvidos, programando apenas a implementação computacional desses últimos e considerando os primeiros tão somente como elementos de entrada e saída.

A MOO, por outro lado, busca tratar de modo integrado, em todas as suas fases, os dados e os processos envolvidos, utilizando-se para tal das características introduzidas pelas modernas linguagens orientadas a objetos (C++, Object Pascal, etc.). Isso faz com que o modelador tenha sempre, ao longo do processo, a visualização integral do modelo associado com o contexto que ele busca representar e, além disso, que outros modeladores possam fazê-lo, através da criação de bibliote-

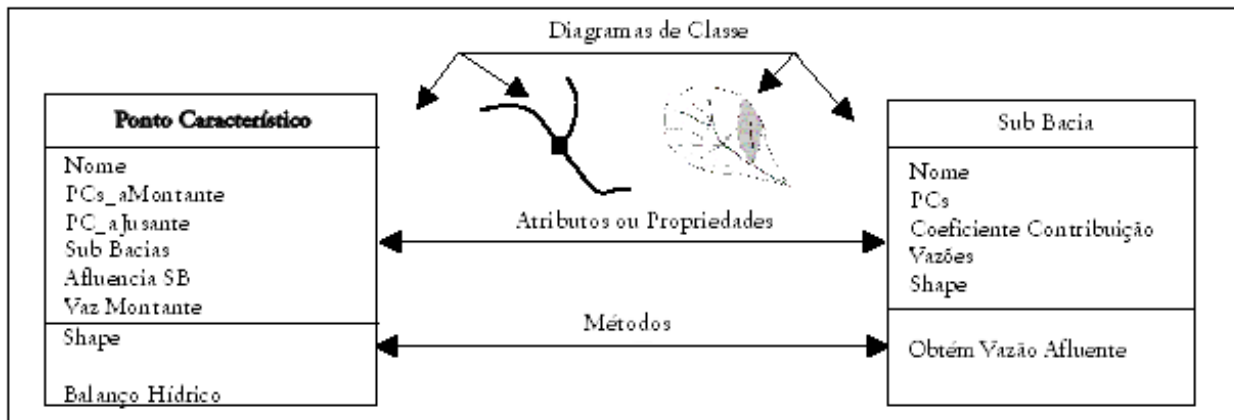


Figura 1 - Exemplo de Diagramas de Classe (Viegas Fº, 2000 p. 67).

cas de uso amplo, facilitando o trabalho em equipe e a associação de grupos mais abrangentes, como é o caso das redes de pesquisa.

Conceitos e Mecanismos Básicos da MOO

Conforme foi mencionado acima, a MOO é fundamentalmente uma forma de concepção e modelagem de sistemas complexos do mundo real. A essência de tal metodologia está centrada na identificação e na organização de conceitos do *domínio do problema* a ser modelado e na delimitação das *responsabilidades do sistema*.

Entende-se por *domínio do problema*, ao conjunto de assuntos que envolvem o problema em estudo, e, *responsabilidade do sistema*, a todos os requisitos necessários para que o sistema modelado os possa abordar de forma eficiente. Desse modo, *o domínio do problema delimita o campo de ação*, enquanto *a responsabilidade do sistema diz como e em que nível se dará essa ação* (adaptado de Coad e Yourdon, 1992).

Com o propósito de representar de modo concreto os conceitos abstraídos do domínio do problema a MOO apresenta, então, como seus *mecanismos básicos*: os *objetos* e as *classes*, as *mensagens e métodos* e a *hereditariedade* e o *polimorfismo* (Winblad, Edwards e King, 1993).

A utilização desses mecanismos, por sua vez, processa-se através do desenvolvimento de três modelos: o *Modelo de Objetos*, o *Modelo Dinâmico* e o *Modelo Funcional* e ao longo de quatro fases, mencionadas acima: a *Análise*, o *Projeto*, a *Implementação* e a *Manutenção*.

Objetos e Classes

Um *objeto* pode ser definido como um ser, um componente de um sistema ou, mesmo, um conceito para o qual a ação, o pensamento ou o sentimento é dirigido (Viegas Fº, 2000).

Alguns objetos possíveis de serem identificados no contexto dos Sistemas de Recursos Hídricos podem ser cursos de água, seções de controle, reservatórios, bacias e sub-bacias, dentre outros. Além desses objetos, que possuem existência física definida na estrutura topológica de uma bacia hidrográfica, existem objetos que têm existência conceitual, como é o caso das *demandas hídricas*, que ficam caracterizadas pelo que é estabelecido como uma necessidade de água para atender a um determinado uso em um determinado local e momento.

Um objeto assim definido, como já mencionado, possui *características* próprias consubstanciadas através de *atributos* – que configuram o *estado* em que o objeto se encontra em um determinado momento – e *comportamentos* – que indicam a forma como o objeto reage a estímulos internos (alguma mudança de estado) ou a estímulos externos.

O conceito de *classe*, por sua vez, constitui um dos mais importantes pilares da MOO, sendo uma decorrência do terceiro processo de organização mental humana, conforme já abordado, ou seja, o da capacidade humana de *percepção de classes distintas*. Uma *classe* de objetos descreve um grupo de objetos com propriedades semelhantes (atributos), o mesmo comportamento (operações), os mesmos relacionamentos com outros objetos e a mesma semântica (Rumbaugh et al., 1997). Além disso, uma classe e, conseqüentemente, os objetos que dela advirão, deve existir com o propósito de prestar algum *serviço* ou *serviços* ao contexto no qual se insere.

Os *objetos* são, na verdade, *instâncias de classes*, existindo somente durante a execução de um programa. As *classes* são as “formas” que dizem como eles devem ser – quais atributos devem ter – e que guardam os códigos dos métodos que podem ser por eles acessados. Definir classes, além do acima exposto, significa ter codificação reutilizável

em um depósito comum ao invés de reescrevê-la várias vezes. (Winblad, Edwards e King, 1993).

A Figura 1 ilustra dois *Diagramas de Classe*, onde se vê o *título da Classe*, no topo, os *atributos*, na parte central, e os *métodos*, na parte inferior.

Mensagens, Operações e Métodos

As *mensagens* são o meio de comunicação entre objetos, constituindo-se por uma solicitação para que um objeto faça alguma coisa. Dessa forma, na medida em que um objeto receba uma mensagem que induza nele um determinado comportamento, uma *operação* com esse propósito é realizada. Essa *operação* corresponde a um processo representativo de um comportamento do sistema real modelado em termos conceituais – quando integrando o domínio do problema – e, em termos computacionais, à codificação de um *procedimento* (procedure) ou *função* que represente aquele processo. Esses procedimentos ou funções recebem, no âmbito da MOO, a denominação de *métodos*. No caso do objeto *PontoCaracteristico*, acima, estão a ele associados os métodos *Balanco Hidrico*, *Obtem Vazões De Montante* e *Obtem Vazão Afluent eSBs*, todos eles com a conotação indicada no próprio nome; no caso do objeto *SubBacia* tem-se o método *ObtemVazao.Afluyente* podendo corresponder a uma *operação* do tipo transformação Precipitação-Vazão (Figura 1).

Hereditariedade e Polimorfismo

A *hereditariedade* é o mecanismo de compartilhamento automático de métodos e dados entre classes, subclasses e objetos (Winblad, Edwards e King, 1993) permitindo que sejam programadas novas *classes* programando apenas as diferenças entre elas e a *classe-pai*. É um mecanismo que permite expressar a similaridade entre *classes*, simplificando a definição daquelas que apresentem essa característica, através da *generalização* e da *especialização* (Coad e Yourdon, 1992). A *generalização* é o relacionamento entre uma determinada classe e uma versão dela de caráter mais geral, denominada de *superclasse* ou *classe-pai*; a *especialização*, consiste na operação inversa, ou seja, no detalhamento maior de uma determinada classe com a criação de uma *subclasse*.

A Figura 2, ilustra a aplicação do mecanismo de *hereditariedade* para criar a classe *PCReservatorio* como descendente da classe *PontoCaracteristico*. Não existe repetição de atributos, uma vez que a classe *descendente* (*PCReservatorio*) herda, automaticamente, todos os atributos da *classe-pai* (*PontoCaracteristico*). Assim, na classe *PCReservatorio*, os atributos que aparecem são aqueles que foram acrescidos relativamente aos existentes na classe-pai, o mesmo dando-se com os métodos *Calcula Área Do Reservatorio* e *Opera*.

O método *BalancoHidrico*, por sua vez, constitui um método de natureza polimórfica, declarado como *virtual* na classe *PontoCaracteristico*, sendo, posteriormente, sobrescrito na classe *PCReservatorio*, razão pela qual tem seu nome repetido. É um exemplo do que se denomina *polimorfismo* que significa que uma mesma mensagem recebida por objetos diferentes resulte em comportamentos distintos. Nesse método *BalancoHidrico*, aqui utilizado como exemplo, isso significa conceitualmente em uma solicitação para que o balanço hídrico do Ponto Característico ou do *PCReservatorio* seja realizado. Nesse último caso, permite a consideração da Evaporação e da Precipitação sobre o reservatório, além do uso de regras operacionais, o que vem diferenciar o seu balanço hídrico daquele a ser feito em um Ponto Característico que não constitui um reservatório.

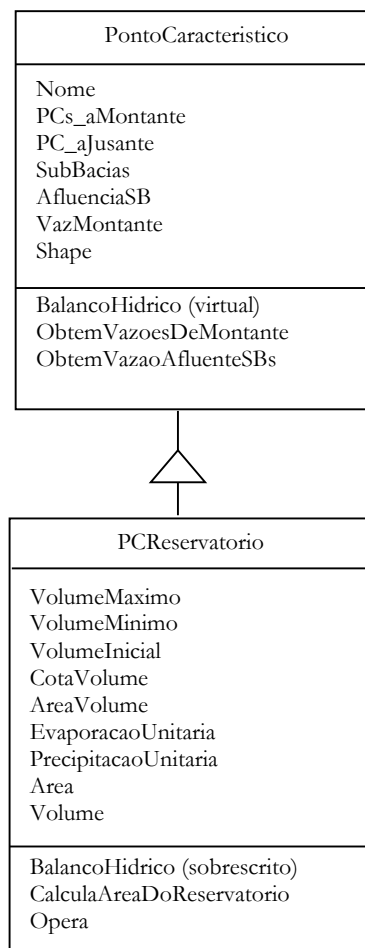


Figura 2 - Exemplo de relação de herança entre duas classes (Viegas F°, 2000).

Associações, Ligações e Agrupamentos

Na medida em que os modelos, desenvolvidos por intermédio da MOO, são constituídos por objetos atuando em conjunto, um conceito-chave fundamental é o de *associação* entre classes. As *associações* e as *ligações* são os

meios que permitem o relacionamento entre *classes e objetos*. Uma *ligação* é uma conexão física ou conceitual entre objetos instanciados. Já uma *associação* descreve um grupo de ligações com estrutura e semântica comuns. Qualquer dependência entre duas ou mais classes é uma associação (Rumbaugh et all., 1997).

A Figura 5, adiante, referente ao Diagrama de Classes de um Modelo Básico de Objetos de uma Rede Hidrográfica, exemplifica várias dessas associações através das diferentes *linhas de associação* (identificadas com números) que ligam as Classes ali representadas.

Os Três Modelos da MOO

Com o intuito de melhor organizar o processo da MOO, Rumbaugh et all. (1997) propuseram uma estrutura de *análise* e de *projeto* baseada no desenvolvimento de três modelos através dos quais são desdobrados e aplicados os conceitos, princípios e diretrizes contidos no *domínio do problema* e nas *responsabilidades do sistema*. São eles: o *Modelo de Objetos*, o *Modelo Dinâmico* e o *Modelo Funcional*.

O *Modelo de Objetos* descreve a estrutura estática dos objetos de um sistema incluindo sua identidade, seus relacionamentos com outros objetos, seus atributos e suas operações, tudo isso representado através das classes às quais eles estão integrados. É o modelo mais importante dos três, na medida em que descreve o próprio sistema abstraído exatamente como ele é percebido pelos sentidos ou, mesmo, intuído, identificando-o com o universo que se deseja modelar. Proporciona, portanto, a estrutura necessária sobre a qual os outros dois modelos - o *Dinâmico* e o *Funcional* - podem ser alicerçados. Dessa forma, o processo de modelagem deve começar por esse modelo, a partir do *enunciado do problema* feito através do estabelecimento do *domínio do problema* e das *responsabilidades do sistema*. Segue-se a isso a identificação de objetos e classes - com o estabelecimento dos serviços que cada um fornece -, definição de atributos e a concepção das operações. A Figura 5 ilustra um Modelo de Objetos, aplicado a um SRH baseado em Rede Hidrográfica, desenvolvido preliminarmente na *fase de análise*, contendo apenas as classes relativas ao *domínio do problema*.

O *Modelo Dinâmico* descreve os aspectos dinâmicos do sistema, ou seja, aqueles aspectos relacionados com o tempo e com a seqüência de operações a serem realizadas. É o modelo que incorpora o *controle* de todos os processos, sejam eles determinados por eventos temporais ou por quaisquer outros eventos que representem algum tipo de alteração no estado de qualquer objeto do sistema.

O *Modelo Funcional* descreve os aspectos do sistema relacionados com as transformações de valores: funções, mapeamentos, restrições e dependências funcionais. É o modelo que trata sobre o que o sistema faz, independentemente de quando é feito. É, ainda, o modelo que

trata da descrição funcional dos processos, correspondendo na fase de *implementação*, às “*procedures*” e *funções* que constituem os *métodos* de cada classe. Na verdade, é o que, em grande parte, se confunde com a forma procedural tradicional do desenvolvimento de sistemas.

Os três modelos - *Modelo de Objetos*, *Modelo Dinâmico* e *Modelo Funcional* -, embora sendo desenvolvidos separadamente, mantêm um íntimo relacionamento entre si de modo que o seu desenvolvimento, mesmo que, normalmente, deva começar pelo *Modelo de Objetos*, seguido pelo *Modelo Dinâmico*, até, por último, chegar ao *Modelo Funcional*, termina por ser altamente interativo e iterativo.

A APLICAÇÃO DA MODELAGEM ORIENTADA A OBJETOS A SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

Características dos Sistemas de Recursos Hídricos baseados em Redes Hidrográficas

Um Sistema de Recursos Hídricos tem sua existência caracterizada pela necessidade de compatibilizar a disponibilidade espacial e temporal das águas com o padrão, igualmente espacial e temporal, das demandas existentes – sob o ponto de vista quantitativo e qualitativo (Figura 3). Nela, os dois extremos, relativos às disponibilidades e às demandas são compatibilizados entre si por um conjunto de Instrumentos de Planejamento e de Gestão – tradutores de políticas e planos de desenvolvimento físico, sócio-econômico e ambiental de uma bacia, região ou, mesmo, país – e por um sub-sistema denominado Sistema de Compatibilização – que integra as estruturas físicas necessárias e as regras operacionais que lhe são pertinentes (Viegas Fº, 1998). A definição acima constitui o que se pretende considerar como uma *descrição geral do domínio do problema*.

Sempre que o padrão espacial de disponibilidade de água não estiver adequado ao padrão espacial das demandas dos centros de consumo, a solução é buscar água nos locais onde ela estiver disponível, seja na superfície ou no subsolo. Quando o problema for a descontinuidade temporal da oferta hídrica, a solução estará em armazenar água durante os períodos úmidos para aproveitamento durante os períodos secos. Outra possibilidade ou, até mesmo, às vezes, necessidade, consiste em adequar o padrão de demandas às disponibilidades existentes – daí decorrem os racionamentos e/ou a busca de mudança de comportamentos. De forma oposta, quando for o caso da existência de excesso hídrico, por ocasião das cheias, serão necessárias medidas destinadas à drenagem, à contenção ou ao amortecimento da ação das águas. Todas essas intervenções são efetivadas a partir de medidas estruturais e não-estruturais que podem ser objeto de análise através

Sistemas de Apoio à Decisão integrados por modelos construídos com essa finalidade.

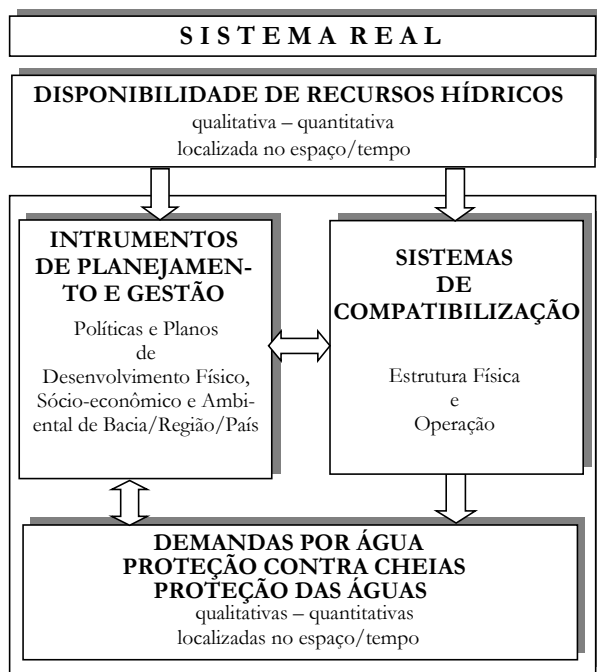


Figura 3 - Estrutura conceitual básica de um Sistema de Recursos Hídricos (Viegas F^o, 1998).

A Figura 4 exemplifica a distribuição espacial de um Sistema de Recursos Hídricos, com seus diversos elementos constituintes ali inseridos. Podemos, inclusive, subdividir o sistema em componentes, agrupados segundo sua natureza própria (Viegas F^o, 2000): (a) os *componentes naturais*, envolvendo os processos atmosféricos e hidrológicos (precipitação, vazão e evapotranspiração), a superfície da bacia com suas diferentes coberturas e camadas sub-superficiais (onde acontecem os escoamentos superficiais e sub-superficiais), os aquíferos, as calhas dos cursos de água, dentre outros; (b) os *componentes representativos das demandas hídricas, quantitativas e qualitativas*, espaço-temporalmente localizadas; (c) os *componentes estruturais*, capazes de modificar o padrão de distribuição espaço-temporal, qualitativo e quantitativo, da água, que se podem constituir por reservatórios, tomadas de água, canais de condução, dentre outros; (d) os *componentes institucionais* que, embora não visíveis, instruem a forma como se dá a compatibilização entre as disponibilidades e as demandas hídricas e que se podem caracterizar por limitações referentes a outorgas para o uso da água e lançamento de efluentes, determinação de vazões ecológicas a serem mantidas, priorização para o atendimento de demandas, dentre outras; (e) os *componentes operacionais* que, também não visíveis, respondem pela adequada operação dos elementos integrantes do sistema, garantindo o cumprimento de regras pré-

estabelecidas, tais como a guarda de volume de espera em reservatórios, visando o amortecimento de ondas de cheia em determinados períodos do ano, ou, ainda, o início de um racionamento antecipado em virtude da observância de determinadas condições hidroclimatológicas que recomendem tal procedimento, dentre outros; e, (f) os *componentes de controle do sistema* que, embora não pertencendo ao domínio do problema são aqueles que permitem a integração da representação do sistema real a ser modelado e com o sistema computacional, ou seja, com o domínio da aplicação, consistindo na Área de Projeto, nos Pontos Característicos, no Controle do Processo de Simulação e no sistema de Análise de Resultados.

Relativamente a esse último item, alguns aspectos devem ser considerados, tendo em vista os controles que devem ser exercidos sobre o modelo. A Área de Projeto constitui a base de controle do sistema modelado e o elemento delimitador da sua abrangência. Esta pode ser imaginada como uma grande “prancheta” onde o projeto será “desenhado” em uma forma esquemática. No caso de implementação gráfica isso, de fato, vem a ocorrer. Serve, ainda, como módulo de controle dos elementos integrantes do modelo e da própria simulação. Já a definição topológica da rede hidrográfica, que constitui o SRH que se deseja modelar, é dada em função de pontos ao longo dos diferentes cursos de água, os quais caracterizam algum tipo de controle que se queira ter com o uso do modelo. São exemplos de Pontos Característicos (PCs), as extremidades entre trechos dos cursos de água, pontos de confluência, exutório da bacia maior do Projeto, reservatórios, pontos com demandas associadas, dentre outras possibilidades. Aos PCs ficam ligados os demais elementos integrantes do SRH tais como Sub-Bacias e Demandas. Os reservatórios ou ponto de armazenamento, destinados ou não à geração de energia, constituirão PCs especializados.

Dependendo da finalidade do modelo, o controle exercido pelos PCs pode ter os propósitos a seguir indicados:

Estudos e Projetos destinados ao Planejamento do Uso da Água para o Atendimento de Demandas: Nesse caso, poderemos ter, em cada Ponto Característico, a afluência de água das Sub-Bacias adjacentes (p.ex.: ligação de Sub-Bacia a PCs na Figura 4), a afluência de água dos PCs à montante, reservatórios de armazenamento e/ou geração de energia, localização de demandas diversas ou, ainda, simples detecção de vazões.

Estudos e Projetos destinados ao Controle de Cheias: Nesse caso, poderemos, em cada Ponto Característico, receber afluência de água das Sub-Bacias adjacentes ou dos PCs que lhe ficam à montante, possuir reservatórios para o amortecimento de ondas de cheias ou, ainda, ter, apenas, o propósito de fazer a determinação de vazões e/ou níveis.

Nesse caso, métodos especializados para o tratamento da propagação de vazões deverão ser ligados aos PCs ou aos Trechos de Água. Como exemplo, podemos mencionar o Método de Pulz para a propagação de vazões em Reservatórios e os métodos de Muskingum e Muskingum-Cunge para a propagação de vazões em Trechos de Água (Tucci, 1998);

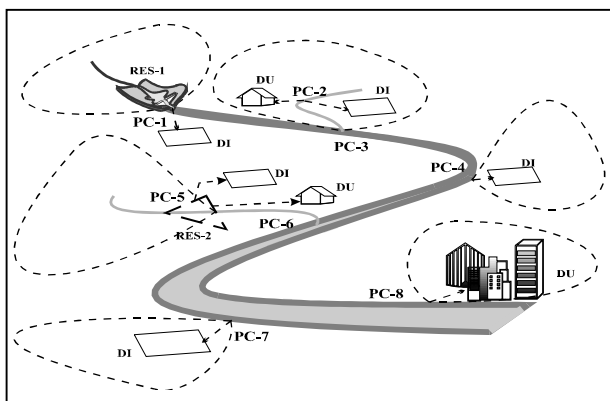


Figura 4 - Representação topológica de um Sistema de Recursos Hídricos (Viegas Fº, 2000).

Estudos e Projetos destinados ao Controle de Qualidade da Água: Em tais casos, além de servir para os propósitos acima mencionados, um PC corresponde a um ponto de lançamento de efluentes em um curso de água ou, ainda, a um ponto de determinação da concentração de poluentes. Nesse caso, associado ao Trecho de Água entre dois PCs deve existir um ou mais métodos (procedimentos) que encapsulem a simulação de dispersão de contaminantes no corpo de água, bem como a monitoração da concentração resultante podendo-se verificar se a mesma atende a certos limites pré-estabelecidos.

A Organização Esquemática e a Dinâmica Básica de uma Rede Hidrográfica

A Figura 4 apresenta uma Rede de um Sistema de Recursos Hídricos, composta por Nós (de passagem ou de armazenamento), que constituem os Pontos Característicos, e pelos Trechos de Água, que os unem, lançados sobre um esquema de Bacia Hidrográfica. Os componentes que integram essa rede podem servir de base para a construção de modelos com diferentes finalidades, como os acima indicados, na medida em que constituem elementos comuns à grande maioria dos Sistemas de Recursos Hídricos que sejam organizados em torno de uma bacia hidrográfica.

Dentro dessa configuração, a propagação da água ocorre de montante para jusante ao longo de toda a bacia realizando-se o balanço hídrico de cada um dos PCs, a cada intervalo de tempo, segundo a sua ordem hierárquica.

Essa ordem fica determinada de modo a que aos PCs que não possuam nenhum outro à montante corresponda a Hierarquia 1. Por outro lado, aos PCs que possuam outros PCs à montante, lhes caberá o nível hierárquico imediatamente superior ao do PC de maior hierarquia que aflua para si.

Conforme o propósito para o qual o modelo seja destinado corresponderão abordagens específicas no que diz respeito ao balanço hídrico e à natureza do modelo de propagação a ser utilizado. Nesse caso, os métodos desenvolvidos com esses propósitos terão natureza polimórfica.

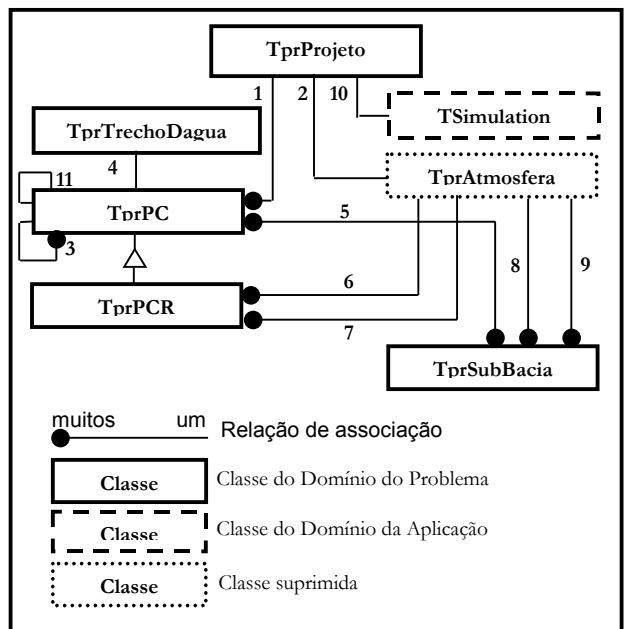


Figura 5 - Modelo Básico de Objetos de uma Rede Hidrográfica (adaptado de Viegas Fº, 2000).

Constituição de um Modelo Básico de Objetos para uma Rede Hidrográfica

A Figura 5 resume um Modelo Básico de Objetos referente aos elementos já discutidos anteriormente e identificando suas principais associações. Esse Modelo de Objetos representa, à luz dos conceitos que envolvem a MOO, a Rede Hidrográfica ilustrada pela Figura 4 e, embora este modelo tenha a intenção de ser básico e genérico, a notação adotada para designar cada classe é a utilizada para a constituição da Biblioteca de Classes Básica, a partir da qual poderão ser desenvolvidos modelos dentro das linhas anteriormente mencionadas.

As classes representadas por retângulos de linha cheia correspondem aos objetos integrantes do domínio do problema: TprProjeto, TprPC, TprSubBacia e TprTrechoDagua. As tabelas a seguir mencionadas na descrição de cada classe contém alguns dos atributos e métodos mais importantes de cada uma delas.

Tabela1 - Classe TprProjeto

Atributo	Descrição
Total_IntSim	Total global de intervalos de simulação.
DeltaT	Intervalo atual de simulação
PCs	Lista de PCs ligados ao Projeto.
Simulador	Associa o mecanismo simulador a ser utilizado.
Métodos	Descrição
Executa Simulacao	Método que dá início ao processo de simulação
Termina Simulacao	Método que finaliza a simulação.

A classe *TprProjeto* (Tabela 1) representa o elemento espacial integrador de todos os componentes da Rede Hidrográfica (ver associações 1, 2 e 10 na Figura 5), podendo, nesse aspecto, ser vista como a própria Bacia Hidrográfica delimitadora do contexto modelado. Tudo o que se possa pretender modelar nesses termos deve poder ser associado direta ou indiretamente a essa classe. Dessa forma, é ela a base de controle do sistema modelado. Pode ser imaginada como um grande “container” que contém e controla o projeto a ser simulado. Um objeto *TprProjeto* contém todos os objetos *TprPC* (PCs do Projeto) o que corresponde a uma representação *um para muitos* na figura. Dessa forma, indiretamente, ele contém e controla todos os objetos integrantes de um Projeto. Apenas um único objeto dessa classe será instanciado para cada Projeto – aqui designado como o problema em estudo.

A classe *TprPC* (Tabela 2) – que corresponde, no modelo aqui apresentado, àquela exemplificada anteriormente como *Ponto Característico* (Figura 2) – e as classes que lhe são associadas diretamente, *TprTrechoDagua* (associação 4) e *TprSubBacia* (associação 5), são as que permitem a estruturação da Rede Hidrográfica que dá a forma básica do Sistema de Recursos Hídricos modelado. Aqui, pode-se ver uma representação de associação do tipo *um para um*, no caso de *TprTrechoDagua*, onde cada PC contém o Trecho de Água que lhe fica à jusante. Por outro lado, uma representação *muitos para muitos* indica a associação de objetos das classes *TprPC* e *TprSubBacia*, uma vez que a um PC podem estar ligadas mais de uma sub-bacias e uma sub-bacia, por sua vez, pode alimentar mais de um PC.

Dois outros tipos de ligações entre objetos PCs e que merecem destaque são as representadas pelas associações 3 e 11, ou seja, de um objeto *TprPC* com um outro objeto instanciado da mesma classe. Na verdade, estas são associações que dão continuidade à Rede, já que cada PC

mantém uma referência a todos os objetos PCs que lhe ficam à montante – na forma de uma associação do tipo *um-para-muitos* – e uma referência ao PC que lhe fica à jusante – na forma de uma associação do tipo *um-para-um*.

Tabela 2 - Classe TprPC.

Atributo	Descrição
Hierarquia	Contém a Hierarquia do PC
PCs_aMontante	Número de PCs à montante
PC_aJusante	Referência (ponteiro – endereço) do PC que fica imediatamente a jusante.
TrechoDagua	Trecho de água de jusante ligado ao PC.
PC_aMontante [index]	Lista de PCs à montante.
SubBacia [indice]	Lista de SubBacias ligadas ao PC.
AfluenciaSB	Vetor de afluência das sub-bacias nos intervalos t
Defluencia	Vetor de defluências do PC nos intervalos t
VazMontante	Vetor com vazão total dos PCs de montante nos intervalos t
Métodos	Descrição
BalancoHidrico	Procedimento que faz o Balanço Hídrico de um PC – abstrato e virtual;
ObtemVazoesDeMontante	Função que obtém as Vazões que vem dos PCs de Montante - abstrato e virtual ;
ObtemVazaoAfluentesSBs	Calcula as vazões afluentes das sub-bacias ligadas a um PC.

A classe *TprAtmosfera*, que deveria representar os processos atmosféricos (associada a *TprProjeto* através da associação 2) foi suprimida - o que é indicado na Figura 5 pelo contorno pontilhado. Isso foi feito, uma vez que, através da análise, pode-se concluir que os serviços que a mesma deveria prestar (associações 6, 7, 8 e 9), seriam melhor tratados, no presente caso, dentro das próprias classes que deles se utilizam (*TprPCR* e *TprSubBacia*), através de atributos e métodos criados com tal propósito. Este é, portanto, um exemplo de que nem todas as classes, inicialmente esboçadas durante a identificação dos elemen-

tos que integram o domínio do problema, permanecem posteriormente.

Tabela 3 - Classe TprPCR

Atributo	Descrição
VolumeMaximo	Volume máximo do reservatório.
VolumeMinimo	Volume mínimo do reservatório.
VolumeInicial	Volume inicial do reservatório.
PontosCV	Nº de pontos da curva cota-volume.
PontosAV	Nº de pontos da curva área-volume.
CV[i]	Cota Volume (para cada i-ésimo elemento existem associados dois valores: Cota e Volume).
AV[i]	Área Volume (para cada i-ésimo elemento existem associados dois valores: Área e Volume).
Volume	Vetor contendo o volume do reservatório para cada t.
EvaporacaoUnitaria	Vetor contendo a evaporação unitária para cada t.
PrecipitacaoUnitaria	Vetor contendo a precipitação sobre o reservatório para cada t.
Métodos	Descrição
CalculaAreaDoReservatorio (Volume)	Retorna o valor da área do reservatório em função do volume por interpolação linear entre valores da tabela área-volume.
BalancoHidrico	Procedimento que faz o Balanço Hídrico de um Reservatório – sobreecrito. Chama o método Opera.

A classe *TprPCR* (Tabela 3) é descendente da classe classe *TprPC*, tendo como finalidade representar reservatórios. A grande diferença entre esta classe e sua ascendente é sua capacidade de manter registros referentes

ao armazenamento de água, tais como *VolumeMaximo*, *VolumeMinimo*, *VolumeInicial*, dentre outros. Além disso, nessa classe o método *BalancoHidrico*, de natureza polimórfica, conforme já visto, é definido de acordo com a operação apropriada aos reservatórios, considerando a precipitação e a evaporação que ocorre sobre sua superfície, quando isso for importante. Por outro lado, esse método pode encapsular a propagação de ondas de cheia ou, ainda, modelos de qualidade de água, direta ou indiretamente, conforme for o caso.

Tabela 4 - Classe TprSubBacia.

Atributos	Descrição
Area	Área da sub-bacia .
PCs	Lista de PCs aos quais a Sub-bacia está ligada.
Vazoes	Vetor das vazões afluentes à Sub-bacia.
Métodos	Descrição
ObtemVazaoAfluente	Lista de referencia a funções que retornam a vazão afluente conforme um determinado tipo de algoritmo.

A classe *TprSubBacia* (Tabela 4), tem por objetivo fornecer uma base para a representação do processo físico de transformação chuva-vazão no âmbito de uma sub-bacia. Essa transformação pode ser obtida de várias maneiras: de dados históricos existentes, através de geração sintética ou por intermédio de previsões futuras. Podem vir a ser utilizados dados de vazões já obtidos de outros modelos, fora do sistema, ou, então, por intermédio de modelos determinísticos ou estocásticos a ele acoplados.

A classe *TprTrechoDagna* (Tabela 5) corresponde no domínio do problema à representação dos cursos de água, sejam eles naturais ou artificiais. É aqui definida de forma bastante genérica possibilitando que, na construção de modelos especializados, possa atender tanto a problemas simples, como a transferência de água resultante do balanço hídrico de um PC para outro, no caso de modelos de planejamento, como permitir a propagação de vazões em modelos de Propagação de Cheias, ou, ainda, a dispersão de contaminantes em modelos de Qualidade da Água.

Os Modelos Dinâmico e Funcional

Conforme já mencionado anteriormente, o Modelo Dinâmico busca representar aqueles aspectos do sistema relacionados com o controle dos processos em termos de eventos, sejam eles temporais ou de qualquer outra natureza. Dessa forma, ao contrário do Modelo de Objetos, desenvolvido para todo o sistema modelado, o Modelo Dinâmico só é detalhado para aquelas classes ou associações de classes para as quais os aspectos dinâmicos são

predominantes. No caso da aplicação objeto do presente trabalho, a classe *TSimulation* (Figura 5) é a que mereceu a construção de um Modelo Dinâmico. Entretanto, devido à exigüidade de espaço, e, também, à complexidade envolvida, deixa-se aqui de apresentá-lo, remetendo o leitor interessado para Viegas F^o (2000).

O Modelo Funcional ou Modelos Funcionais correspondem, na verdade, aos fluxogramas de cada método (procedimento ou função) de cada classe, depois traduzidos na forma de código-fonte.

Tabela 5 - Classe TprTrechoDagua.

Atributos	Descrição
Vazao	Vazão no intervalo t
PC_aMontante	PC que fica à montante do trecho.
PC_aJusante	PC que fica à jusante do trecho.

Métodos	Descrição
ObtemVazaoDeMontante	Obtem a vazão no PC de montante no início do intervalo t.
PropagaVazao	Referencia (ponteiro para o endereço) o método de propagação de vazões a ser utilizado.

Implementação computacional do Modelo Básico de Objetos e Biblioteca de Classes Básica

O *Modelo Básico de Objetos aplicado a Sistemas de Recursos Hídricos baseados em Redes Hidrográficas*, aqui tratado, encontra-se descrito em Viegas F^o (2000) e implementado através de uma biblioteca de classes, denominada *Biblioteca de Classes Básica aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos baseados em Redes Hidrográficas*, escrita em Object Pascal utilizando-se o ambiente de desenvolvimento Delphi[®].

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo apresentar a Modelagem Orientada a Objetos como uma técnica de modelagem que, alicerçada sobre os três processos humanos de organização mental - a diferenciação, a distinção todo-parte e a percepção de classes distintas -, vem constituir uma poderosa ferramenta para a concepção de modelos de Sistemas de Recursos Hídricos, bem como, para a sua implementação através do uso de computadores digitais.

Com esse propósito, foi desenvolvido um Modelo Básico de Objetos e uma Biblioteca de Classes baseados sobre os elementos constituintes de uma Rede Hidrográfica, permitindo que, a partir daí, possam ser

construídos modelos voltados para o Planejamento de Uso da Água, para o Controle de Cheias e para o Controle de Qualidade da Água.

Tanto o Modelo Básico de Objetos como a Biblioteca de Classes estão disponíveis para aqueles pesquisadores e modeladores que, a partir da mesma, queiram especializar a Estrutura de Classes proposta e ampliar sua abrangência para as áreas acima mencionadas e, mesmo, para outras.

Acredita-se que, através de um trabalho conjunto - mesmo à distância, dada a facilidade dos mecanismos de comunicação atualmente existentes - e de uma interação multidisciplinar, seja possível a construção de modelos e de ferramentas capazes de virem, sinergicamente, auxiliar o trabalho de todos aqueles envolvidos com a construção de modelos de Sistemas de Recursos Hídricos e de Sistemas de Apoio à Decisão a eles destinados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo apoio recebido.

O primeiro autor agradece à CAPES pela bolsa concedida que possibilitou a realização de seu Curso de Doutorado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do IPH-UFRGS e a efetivação da pesquisa que resultou neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- CANTÙ, M. (1999). *Dominando o Delphi 5 - A Bíblia*. São Paulo: Makron Books. 860p.
- COAD E YOURDON, (1992). *Análise Baseada em Objetos*. Tradução de "Objected-Oriented Analysis. Editora Campus. Rio de Janeiro. 225p
- RUMBAUGH, J. et all. (1997). *Modelagem e Projetos Baseados em Objetos*. Tradução de "Object-Oriented Modeling and Design". Editora Campus. Rio de Janeiro. 654p.
- TUCCI, C. E., (1998). *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: ABRH. Editora da Universidade - UFRGS. 669p.
- VIEGAS F^o, J. S., (1998). *Aplicação de Modelos de Redes de Fluxo aos Sistemas de Recursos Hídricos através do uso do Algoritmo de Otimização "Out-of-Kilter"*. Trabalho apresentado como parte dos requisitos para Exame de Qualificação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. IPH-UFRGS. Porto Alegre. 62p.
- VIEGAS F^o, J. S., (1999c). *Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Recursos Hídricos*. Trabalho apresentado como parte dos requisitos para Exame de Qualificação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. IPH-UFRGS. Porto

Alegre. 93p.

VIEGAS Fº, J. S., (2000). *O Paradigma da Modelagem Orientada a Objetos Aplicada a Sistemas de Apoio à Decisão em Sistemas de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: UFRGS. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH-UFRGS. 547p.

WINBLAD, EDWARDS e KING, (1993). *Software Orientado ao Objeto*. Tradução de “Object-Oriented Software”. Makron Books do Brasil Editora Ltda. São Paulo. 313p.

***The Objects-Oriented Modeling Paradigm Applied to Water Resources Systems (I)
Basic Model of Objects For a Hydrographic Network***

ABSTRACT

Objects Oriented Modeling is a modeling methodology based on a natural form of thinking the real world and on three human processes of mental organization – discrimination, the difference between the whole-part, and the perception of different classes. For this, based on the general concept of the system to be modeled (domain of the problem), and the definition of its limits and its scope, it permits the abstraction of its main components (objects and classes), identifying attributes (properties) and behaviors (procedures and functions), as well as the services that each component can render to the whole (responsibilities of the system). Based on this, using particular mechanisms, such as inheritance and polymorphism, it presents a significant advantage in the complex administration of the modeled systems.

The application of OOM to Decision Support Systems in Water Resource Systems was the main object of this work. Due to the broadness of the topic and in order to make the approach clearer, this work has been divided into two articles. Thus, in the first one, a modeling methodology based on OOM principles and mechanisms and the application, a Basic Object-Oriented Modeling as well as a Basic Class Library are presented. Both have been conceived according to the context of a Water System Network and can be applied to the modeling of different problems, such as Water Resource Use Planning, Flood Control or Water Quality. The other article approaches an Objected-Oriented Modeling aimed at Water Resource Use Planning and presents a Specialized Class Library. The latter derived from both the library introduced in the first article and an application – PROPAGAR OMM – which has been built through the use of this library.

Key-words: decision support systems, SAGBAH, PROPAGAR.