

O NOVO SISTEMA DE SUPORTE A DECISÕES ACQUANET

Autores: Alexandre Nunes Roberto¹; Rubem La Laina Porto²; André Schardong³ & Honório Lisboa Neto⁴

RESUMO --- Neste artigo é apresentado o novo Sistema de Suporte a Decisões AcquaNet, que apresenta as seguintes novidades: desenvolvido em Visual Basic .NET, uma linguagem de alto nível voltada à programação por objetos; interface integrada com Sistemas de Informações Geográficas; utilização de um novo algoritmo de cálculo, que efetua a otimização para todo o período de cálculo, trabalha com intervalos mensal, diário e horário e permite amortecer as ondas de cheias nos canais da rede; desenvolvimento em formato de dll, permitindo a imediata integração de todas as funcionalidades do SSD AcquaNet com outros produtos desenvolvidos no LabSid. No final do artigo são mostradas algumas aplicações do novo algoritmo de cálculo.

ABSTRACT --- This paper presents the new Decision Support System AcquaNet, which has the following new features: it was developed in Visual Basic .NET, a high level object oriented language; the interface is integrated with GIS (Geographic Information Systems); it uses a new calculation algorithm, which optimizes to the whole period of calculation, works with monthly, daily and hourly intervals and permits the routing calculation in the network channels; it was developed using the dll format, which permits an immediate integration of all the DSS AcquaNet functionalities with other products developed at Labsid. At the paper's end, some usage samples of the new calculation algorithm are presented.

Palavras-chave: AcquaNet, Sistema de Suporte a Decisões, Sistemas de Informações Geográficas.

¹ Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos, Engenheiro do Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP, Av. Professor Almeida Prado, 271, CEP 05508-900, São Paulo, SP, Brasil, (11) 30915403, E-mail: nunesanr@usp.br

² Professor Doutor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP, Coordenador do Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP, Av. Professor Almeida Prado, 271, CEP 05508-900, São Paulo, SP, Brasil, (11) 30915549, E-mail: rlporto@usp.br

³ Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos, Engenheiro do Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP, Av. Professor Almeida Prado, 271, CEP 05508-900, São Paulo, SP, Brasil, (11) 30915403, E-mail: andreschardong@gmail.com

⁴ Engenheiro do Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões (LabSid) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP, Av. Professor Almeida Prado, 271, CEP 05508-900, São Paulo, SP, Brasil, (11) 30915403, E-mail: norinho@usp.br

1 INTRODUÇÃO

Neste artigo será apresentado o novo Sistema de Suporte a Decisões AcquaNet. O SSD AcquaNet é um sistema de suporte a decisão que tem as características de estreitar a comunicação entre o usuário e o computador, facilitar o entendimento e a formulação do problema, a interpretação dos resultados de análise e de auxiliar o processo de tomada de decisão, tornando-o mais ordenado, objetivo e transparente.

2 O NOVO SSD ACQUANET

O SSD AcquaNet funciona com uma estrutura modular, incorporando modelos matemáticos para analisar diferentes problemas relacionados ao aproveitamento de recursos hídricos. Essa estrutura modular é constituída por um módulo base, denominado SSD AcquaNet e de módulos para cálculo de alocação de água, avaliação da qualidade da água e determinação de alocação de água para irrigação.

O módulo base do Sistema de Suporte a Decisão é o responsável pela criação/edição do traçado, leitura e salvagem dos projetos em estudo, definição do módulo atualmente ativo e também pela integração e comunicação entre os diferentes módulos.

Os módulos utilizam um algoritmo de cálculo para a solução dos problemas e funcionam de forma independente de acordo com a necessidade do analista. O sistema dispõe de um banco de dados que armazena os dados de entrada dos modelos, assim como os resultados gerados por eles. Esse banco de dados é parte fundamental em todo o processo de comunicação entre o módulo base e os outros módulos.

A base de dados e a base de modelos são acessadas por meio de uma interface gráfica que contém uma série de funções que são comuns na simulação de bacias hidrográficas sem que o usuário tenha que se preocupar em programá-las. Além disso, a interface permite que toda a topologia do problema seja formulada apenas com a utilização do mouse e de uma série de ícones (que representam reservatórios, canais, nós de passagem, etc.).

2.1 Base de dados

O SSD AcquaNet armazena todos os dados e resultados em bancos de dados no formato do Microsoft Access e aproveita a estrutura e a funcionalidade possibilitada pela utilização de arquivos neste formato. A utilização de bancos de dados permite a rápida comunicação entre o SSD AcquaNet e os outros módulos e também possibilita a integração do SSD AcquaNet com outros

softwares como, por exemplo, Sistemas de Informações Geográficas. Em linhas gerais, o SSD AcquaNet funciona da seguinte maneira:

- durante a utilização do SSD AcquaNet, todas as ações feitas pelo usuário são imediatamente armazenadas em um banco de dados temporário, que existe somente durante a utilização do sistema;
- ao iniciar o sistema, o usuário pode começar um novo projeto ou abrir um projeto previamente gravado;
- se for iniciado um novo projeto, um novo banco de dados temporário será criado;
- quando o usuário abre um projeto existente, o SSD AcquaNet cria imediatamente uma cópia deste projeto, que passa a ser o banco de dados temporário;
- no banco de dados temporário são armazenadas todas as informações fornecidas pelo usuário (traçado e dados de entrada) e também os resultados.

A utilização de arquivos no formato de banco de dados apresenta as seguintes vantagens:

- não é necessário alocar memória para guardar valores em variáveis, já que os mesmos estarão automaticamente armazenados no banco de dados;
- ao abrir um projeto só uma pequena parte do banco é lida. Todos os dados e resultados só serão lidos (diretamente do banco) quando for necessário;
- um projeto só será alterado quando o usuário salvá-lo. Nesse instante será criada uma cópia do banco de dados temporário com o nome e no local fornecido pelo usuário.

Observando-se os itens anteriores percebe-se que ocorre um grande aumento de desempenho do sistema com a utilização do banco de dados, já que as operações de entrada/edição de dados, leitura e salvagem lidam com um número relativamente pequeno de variáveis.

2.1.1 Estrutura do Banco de Dados

Os aspectos relacionados ao banco de dados utilizado pelo SSD AcquaNet foram cuidadosamente estudados, devido à grande variedade de informações que ele terá que armazenar e gerenciar. A estrutura proposta para o banco de dados visa tanto a segurança operacional quanto a versatilidade de utilização. A integridade relacional na concepção das tabelas foi pensada de modo a minimizar a utilização de dados inconsistentes e impedir operações acidentais que possam descaracterizar a funcionalidade do banco. A estrutura do banco de dados passou por sucessivas

transformações, buscando simplicidade, versatilidade e robustez. É importante salientar que, apesar de todos os dados e resultados estarem armazenados em bancos de dados no formato do Microsoft Access, somente o SSD AcquaNet deve ser responsável pelo gerenciamento do banco. Assim, recomenda-se que o banco de dados nunca seja aberto diretamente no Microsoft Access.

2.2 Base de modelos

Na literatura são encontradas muitas definições de modelo matemático. Tucci (1998) caracteriza modelo como sendo a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Outra definição é dada por Simonovic (1998) que afirma que, para se obter uma forma de controlar ou gerenciar um sistema físico, usa-se um modelo matemático que represente muito bem este sistema.

É importante destacar que a simplicidade de acesso e de uso dos modelos são características que nem sempre são facilmente alcançadas. Para que isso ocorra, muitas vezes são necessárias várias simplificações que, se por um lado facilitam seu uso pelos operadores, por outro podem descaracterizar a situação real, condição em que o modelo não mais representaria adequadamente um sistema.

Devido ao grande desenvolvimento da computação, a grande capacidade de processamento e a facilidade de acesso a computadores, os modelos matemáticos têm sido amplamente difundidos e aperfeiçoados. A versatilidade para representar matematicamente os problemas é um atributo importante dos modelos matemáticos, uma vez que se pode mudar sua lógica e alterar as situações que estão sendo estudadas em um determinado sistema de recursos hídricos. Além disso, as respostas obtidas são, em geral, muito rápidas.

No SSD AcquaNet, os modelos estão apresentados em diferentes módulos, com diferentes telas para entrada/edição de dados e também para apresentação dos resultados. Estes modelos combinam simulação e otimização na análise de complexos sistemas de recursos hídricos.

2.3 A tela principal

O novo SSD AcquaNet foi desenvolvido em Visual Basic .NET e funciona de forma integrada com bancos de dados no formato do Microsoft Access e também com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) TatukGIS®. Entre outras vantagens, o fato do SSD AcquaNet estar integrado com um SIG proporciona ao usuário importar mapas, construir a sua topologia sobre esses mapas e também utilizar diversas ferramentas disponíveis no SIG (como zoom, pan, etc.).

O novo SSD possui uma estrutura modular incorporando modelos matemáticos desenvolvidos para analisar diferentes problemas relacionados ao aproveitamento de recursos hídricos. O módulo base do SSD AcquaNet é o responsável pela criação/edição do traçado, leitura e salvagem dos projetos em estudo, definição do módulo atualmente ativo e também pela integração e comunicação entre os diferentes módulos. Neste item será apresentada a interface gráfica do SSD AcquaNet. A tela principal do SSD é apresentada na Figura 1.

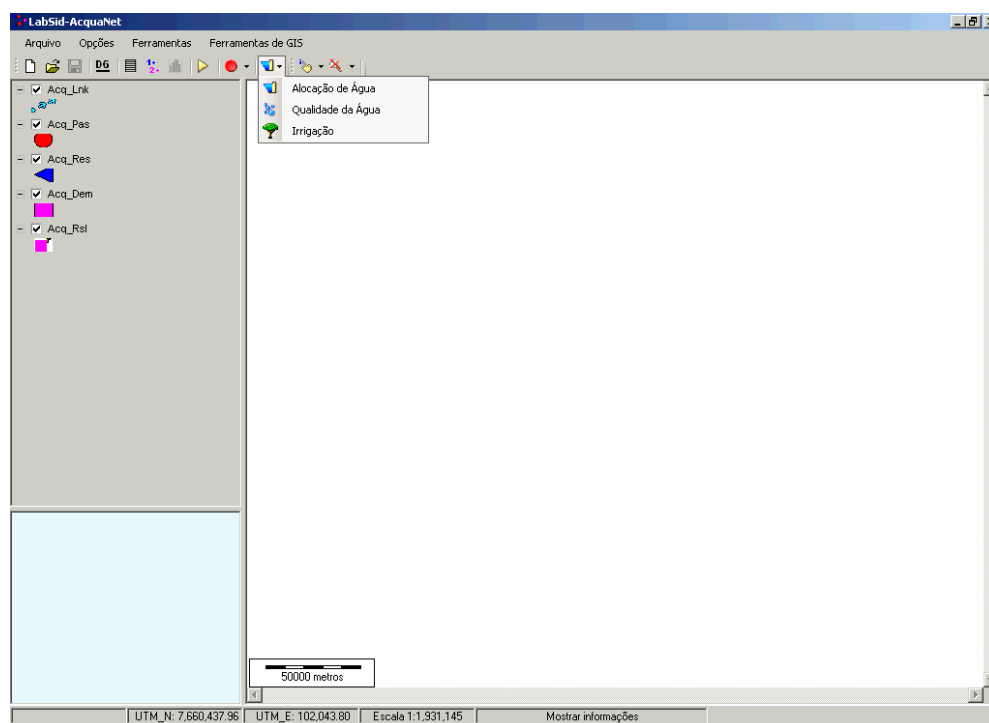


Figura 1: Tela principal do novo SSD AcquaNet

2.4 O traçado

Com o módulo base do SSD AcquaNet é possível montar redes com um grande número de reservatórios, demandas, nós de passagem e arcos (da ordem de alguns milhares), representando o problema em estudo de forma bastante detalhada. Para construir na tela a representação física do problema em estudo devem ser utilizados os menus mostrados na Figura 2.

O procedimento de traçado da rede foi desenvolvido através de programação customizada sobre elementos básicos de edição gráfica do software TatukGIS®. Optou-se por uma programação específica para o traçado da rede, em detrimento do uso das ferramentas de traçado já existentes no TatukGIS®, para que o traçado e a edição da rede pudessem se adequar às características lógicas exigidas pelo SSD AcquaNet. Por exemplo: ao se traçar um link, ele deverá sempre ter um nó de início e um de fim, ou seja, não é possível a existência de um link com uma “ponta solta”. Outro

exemplo: ao se mover um nó da rede, todos os links a ele associados deverão acompanhar este movimento, para que não ocorra o desligamento de links ao se mover um nó. De maneira análoga, ao se apagar um nó, deverão ser apagados todos os links ligados a ele. Assim, tanto durante o traçado como na sua posterior edição, o software foi desenvolvido de forma a manter a coerência topológica da rede exigida pelo SSD AcquaNet, o que não seria possível caso se utilizasse as ferramentas padrão de desenho do software TatumGIS®.

Basicamente, o processo para se traçar a rede consiste em escolher nos menus de traçado o elemento da rede a ser criado e clicar sobre o mapa na posição em que se deseja desenhá-lo. Uma vez escolhido um elemento, ele permanecerá ativo até que se escolha outro na barra de traçado ou se clique no botão dois do mouse.

O traçado de um link se faz clicando no seu nó de início e a seguir clicando-se em qualquer ponto no mapa, quantas vezes forem necessárias, até chegar ao nó de destino. Esta técnica de traçado permite que um link acompanhe a trajetória de um rio, fazendo com que a representação da rede fique mais próxima da geografia local.

Depois de desenhada a rede, ela pode ser ajustada para melhor se adaptar às exigências do usuário. Pode-se mover a posição de qualquer elemento da rede sem que se perca a coerência topológica e pode-se também alterar o tamanho ou o símbolo utilizado para representar os elementos da rede.

Resumindo, o traçado da rede então é feito posicionando-se os seus diversos elementos e unindo-os com os links respectivos.

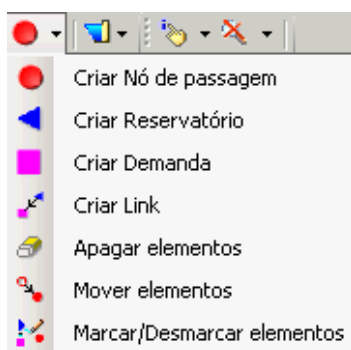


Figura 2: Menu para construção/edição do traçado

2.5 Ferramentas de zoom

Existem, no módulo base do SSD AcquaNet, algumas ferramentas de zoom que são úteis para auxiliar no traçado da rede. Essas ferramentas são acionadas através dos menus mostrados na Figura 3.

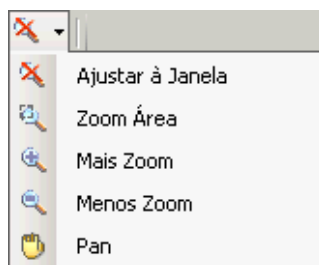


Figura 3: Menus das ferramentas de zoom

Esses menus têm as seguintes funções:

- Ajustar à janela: faz com que toda a área de traçado fique visível na tela, possibilitando a visualização completa dos mapas e/ou da rede;
- Zoom Área: permite ampliar uma parte particular da área de traçado, a ser definida com o processo de clicar e arrastar do mouse;
- Mais Zoom: aumenta as dimensões da área de traçado em 25%, centralizando no ponto clicado;
- Menos Zoom: diminui as dimensões da área de traçado em 25%, centralizando no ponto clicado;
- Pan: permite deslocar a área de trabalho sem alterar as dimensões da mesma.

2.6 Definição do módulo ativo

Na tela principal do SSD AcquaNet é possível definir qual o módulo atualmente ativo. Para isso basta clicar em algum dos menus mostrados na Figura 4.

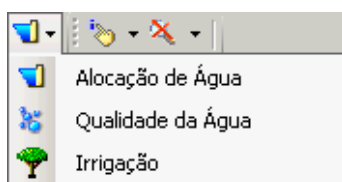


Figura 4: Menus para definição do módulo ativo

2.7 Utilização de mapas

Com a integração do SSD AcquaNet com um Sistema de Informações Geográficas é possível importar layers e utilizá-los tanto para obter informações dos próprios layers como para servirem de base para o traçado da topologia. Na Figura 5 são mostrados, para exemplificar, layers da bacia do

rio Paraíba do Sul e, na Figura 6, a tela que mostra informações sobre um elemento do mapa (essa tela surge quando o usuário clica em algum trecho de um layer).

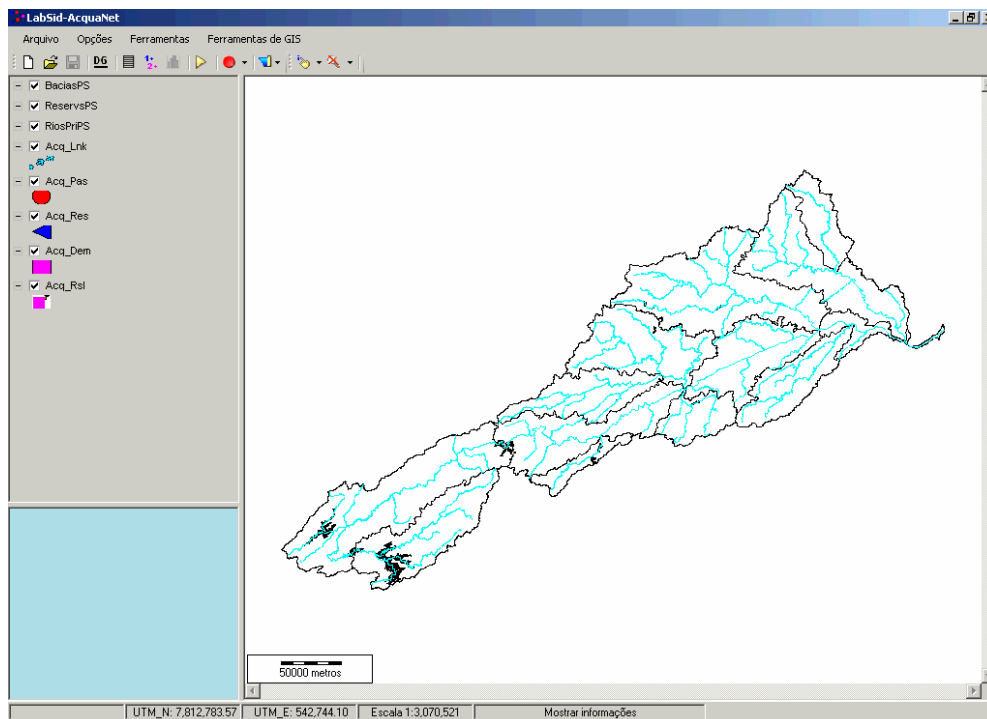


Figura 5: Tela do SSD AcquaNet com layers da bacia do rio Paraíba do Sul

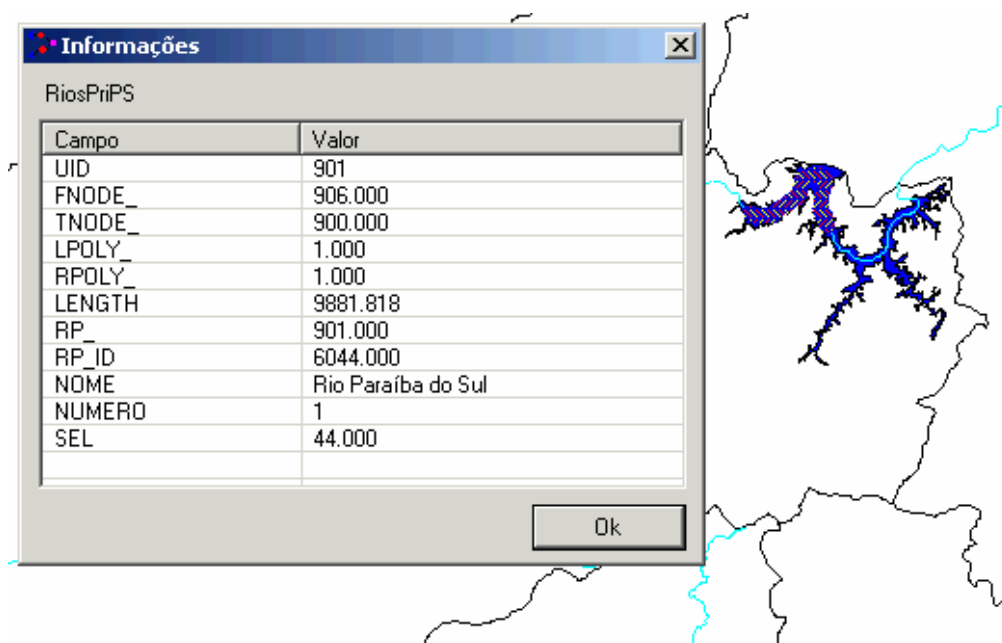


Figura 6: Informações sobre um elemento do mapa

2.8 Formato dll

O novo Sistema AcquaNet foi desenvolvido em formato de dll, e pode funcionar isoladamente ou sendo chamado por um outro Sistema como, por exemplo, o Sistema de Suporte a Decisões das bacias dos rios Piracicaba e do Alto Tietê (SSD P-AT), que está sendo desenvolvido pelo LabSid. O desenvolvimento em formato de dll tornou o novo SSD AcquaNet muito mais versátil, já que outros sistemas podem utilizar todas as funcionalidades do novo SSD com um processo de integração praticamente imediato.

Quando, por exemplo, o SSD P-AT chama o SSD AcquaNet, os menus, os botões e os layers do SSD AcquaNet são acrescentados na tela principal do SSD P-AT. Daí em diante, todos os comandos necessários ao funcionamento do SSD AcquaNet estão operacionais. Na Figura 7 é apresentada a tela principal do SSD P-AT com os layers, menus e botões do SSD AcquaNet.

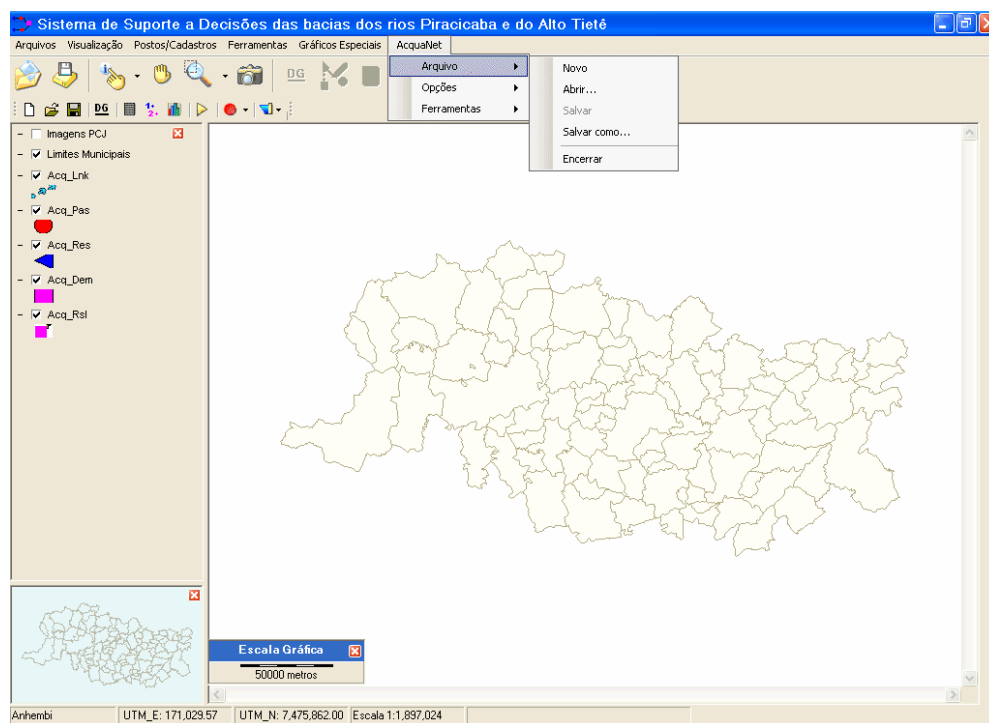


Figura 7: Tela mostrando a integração do SSD P-AT com o SSD AcquaNet

2.9 Desenvolvimento em Visual Basic .NET

O Visual Basic .NET é a versão mais recente da Microsoft do altamente popular Visual Basic. A força do Visual Basic .NET reside em sua facilidade de uso e na velocidade com que é possível produzir aplicativos para o sistema operacional Windows. Juntamente com o Visual Basic .NET foi introduzido o Microsoft .NET Framework, que possibilitou o acesso à orientação a objetos completa nos programas, uma poderosa técnica para tratamento de erros e a capacidade de

incorporar programas existentes na Internet. A decisão de utilizar o Visual Basic .NET veio de encontro à filosofia do LabSid, de se manter atualizado com os aplicativos mais modernos existentes no mercado.

2.10 O novo algoritmo de cálculo

O algoritmo original (Out-of-Kilter) utilizado na versão anterior do SSD AcquaNet efetua a otimização para cada intervalo de cálculo, de forma seqüencial. Já o novo algoritmo de cálculo efetua a otimização de forma dinâmica, ou seja, garante a resposta ótima para um período de n intervalos de tempo à frente. Além disso, o novo algoritmo trabalha com intervalos mensal, diário e horário e permite amortecer as ondas de cheias nos canais da rede.

2.10.1 Modelo para estimativa do escoamento

Quando se utiliza um intervalo de cálculo mensal admite-se que a água atinge qualquer ponto da rede no período de um mês. Normalmente esta condição é admitida suficiente para a maioria das redes de fluxo, com exceção daquelas que representam sistemas muito grandes.

Uma situação bastante comum ocorre quando se deseja saber qual o tempo que a água percorre em um trecho relativamente curto de um rio e qual deveria ser a vazão de montante para atender uma determinada demanda localizada a jusante, considerando o amortecimento, para situações de descargas máximas, médias ou mínimas.

Uma maneira de responder estas questões é resolver o problema de alocação e de escoamento de forma integrada, utilizando um intervalo de tempo adequado. Esta possibilidade foi avaliada e verificou-se que, para obter resultados promissores, era necessário fazer as seguintes adaptações no novo SSD AcquaNet:

- utilizar um tempo de análise menor que o mensal, podendo ser o diário ou o horário;
- empregar outra formulação, que considere o amortecimento como restrição do problema de otimização;
- utilizar um algoritmo de otimização que resolva a rede de fluxo em todo o horizonte de cálculo;
- especificar os trechos (links) em que ocorre amortecimento;
- alterar a estrutura do banco de dados do SSD AcquaNet para que este suporte a entrada de dados com os novos intervalos de tempo.

2.10.2 Metodologia de desenvolvimento

Para utilizar o novo algoritmo, a idéia foi incorporar outro solver ao novo SSD AcquaNet para tratar problemas de otimização linear e quadrática em sistemas de recursos hídricos. Os problemas estritamente lineares são modelados por meio da programação linear (PL) e os problemas cuja função objetivo for quadrática são modelados por meio da programação não linear separável por partes (PNLSP). Também foi desenvolvido um modelo de otimização de rede de fluxo, incluindo o amortecimento das vazões em cada trecho da rede.

A técnica de Programação Linear foi escolhida por permitir grande flexibilidade na modelagem dos sistemas de recursos hídricos. O bom desempenho, comparado às técnicas de programação não-linear e programação dinâmica, mesmo para um grande número de variáveis (o que é comum na otimização de sistemas de grande porte), também é um fator que torna esta técnica atraente. Além disso, as recentes pesquisas e avanços nas técnicas de resolução de problemas de PL têm incentivado o desenvolvimento de uma grande variedade de pacotes de otimização cada vez mais eficientes, muitos deles disponíveis gratuitamente.

2.10.3 Integração com o novo SSD AcquaNet

Inicialmente o novo algoritmo de cálculo foi executado separadamente do SSD AcquaNet, para que o mesmo pudesse ser testado (Figura 8). Posteriormente o mesmo foi incorporado ao novo SSD AcquaNet para ser possível integrá-lo aos novos módulos de alocação de água, de qualidade da água e de alocação de água para irrigação.

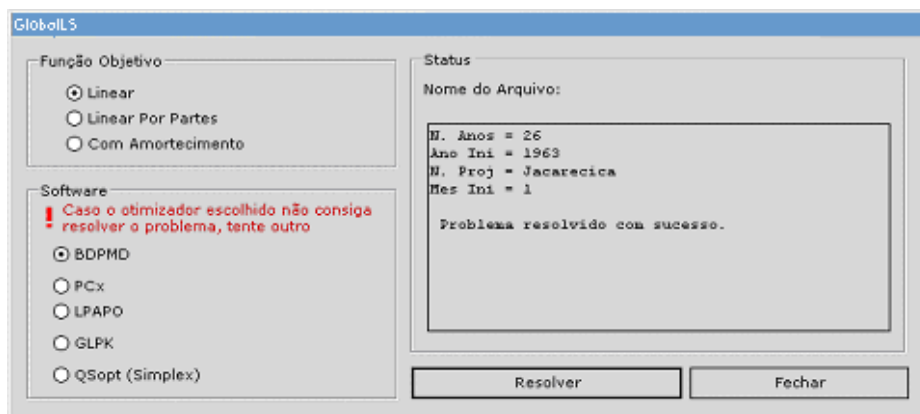


Figura 8: Tela do novo algoritmo de cálculo durante a fase de desenvolvimento

O novo algoritmo gera o arquivo MPS, conforme o tipo de função objetivo escolhida (PL, PNLSP, ou PL com amortecimento), respeitando a topologia e as características da rede ou sistema

criado pelo usuário no SSD AcquaNet. Depois de criado o arquivo MPS, o otimizador escolhido é acionado. Caso o problema seja resolvido com sucesso, os resultados são lidos e gravados no banco de dados do novo SSD AcquaNet.

A seguir serão apresentadas algumas aplicações que utilizam o novo algoritmo de cálculo. Maiores detalhes sobre o algoritmo são apresentados em Schardong (2006).

2.10.4 Aplicação da função objetivo linear

O sistema Jacarecica, localizado no Estado de Sergipe, foi utilizado na análise da metodologia para alocação de água em rede de fluxo proposta. O sistema é composto por dois reservatórios utilizados para atendimento as demandas de abastecimento urbano, irrigação e proteção ambiental (Figura 9).

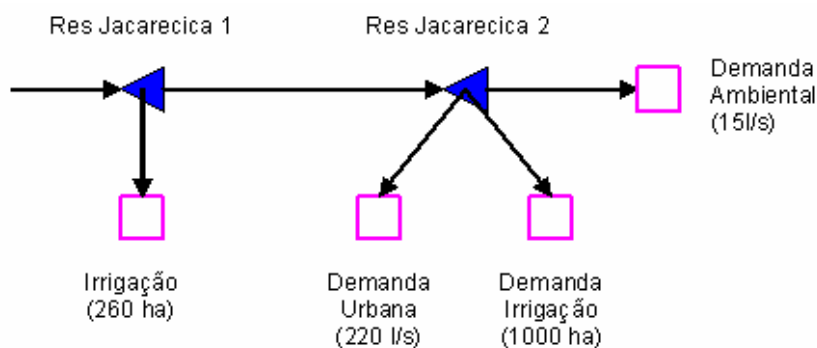


Figura 9: Esquema da topologia utilizada para o sistema Jacarecica

A análise do sistema Jacarecica levou em consideração as principais fontes de recursos hídricos existentes e as demandas citadas, de acordo com diferentes prioridades de atendimento (Tabela 1). O horizonte de análise foi de 28 anos, correspondente à série de vazão média mensal utilizada. Os dados de vazão, evaporação, características dos reservatórios (volumes máximos, mínimos e curvas área-volume) e demandas estão detalhados em Mélló Jr. et al. (2003).

Tabela 1: Prioridades das demandas e de volumes metas do sistema Jacarecica

Elemento	Prioridade
Irrigação 1	1
Ambiental	1
Res. Jacarecica 2	2
Demanda Urbana	5
Irrigação 2	15
Res. Jacarecica 1	60

Os resultados do novo algoritmo de cálculo foram comparados com o algoritmo Out-of-Kilter (OKT).

A Tabela 2 mostra o volume não utilizado (excedente) no sistema no período total simulado. Apesar da pequena diferença, a otimização global com o método dos pontos interiores (MPI) consegue fazer um melhor uso da água disponível no sistema.

Tabela 2: Volume excedente acumulado do sistema

Volume Excedente Total (hm ³)	
OKT	MPI
112.827	109.000

A Tabela 3 fornece a comparação da vazão média e volume total fornecido às demandas do sistema. As demandas “Irrigação 1” e “Ambiental”, ambas com prioridade 1, são plenamente atendidas por ambos os modelos ao longo de toda série. A demanda “Urbana” é mais bem atendida no MPI, com uma vazão média fornecida significativamente superior à calculada pelo OKT, correspondendo a um volume de 25.24 hm³. O número de falhas no atendimento pleno passa de 19.23% para 2.24%. Por outro lado, para a demanda “Irrigação 2”, ocorre déficit de 15.9 hm³ maior pelo MPI (Tabela 4), e o número de falhas é ligeiramente superior, passando de 21.15% para 24.6%. Isso ocorre porque a prioridade de atendimento desta demanda é a menor de todas.

Tabela 3: Comparação da vazão média e volume fornecido às demandas do sistema

Demanda	Vazão Média Fornecida (m ³ /s)		Volume Total Fornecido (hm ³)	
	OKT	MPI	OKT	MPI
Irrigação 1	0.050	0.050	40.615	40.615
Ambiental	0.010	0.010	8.199	8.199
Urbana	0.185	0.216	152.142	177.386
Irrigação 2	0.322	0.304	263.694	247.096
		Total	464.650	473.296

Tabela 4: Comparação dos déficits e falhas no atendimento às demandas do sistema

Demanda	Volume dos Déficits Acumulados (hm ³)		Falhas (%)	
	OKT	MPI	OKT	MPI
Irrigação 1	0.00	0.00	0.00	0.00
Ambiental	0.00	0.00	0.00	0.00
Urbana	28.46	3.00	19.23	2.24
Irrigação 2	104.02	119.92	21.15	24.36
Total	132.477	122.921		

A Figura 10 apresenta o gráfico de comparação do atendimento à demanda “Urbana” pelos dois métodos. É visível neste caso uma melhoria no atendimento. Já na Figura 11 (comparação dos volumes finais do reservatório “Jacarecica 2”), verifica-se um menor armazenamento em alguns dos meses por parte do MPI.

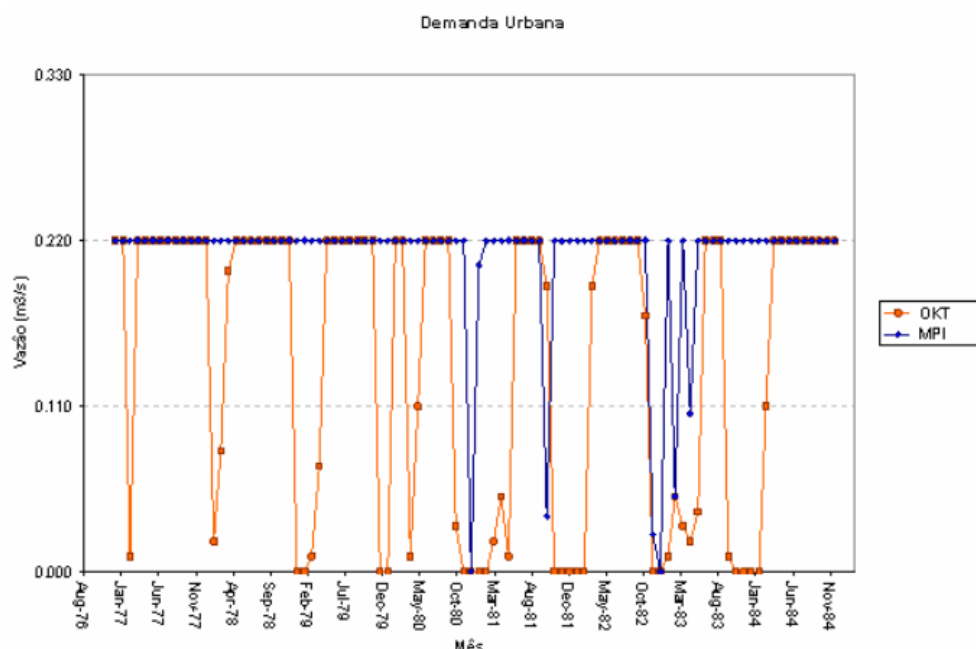


Figura 10: Gráfico de comparação das demandas para o período mais crítico da série em estudo

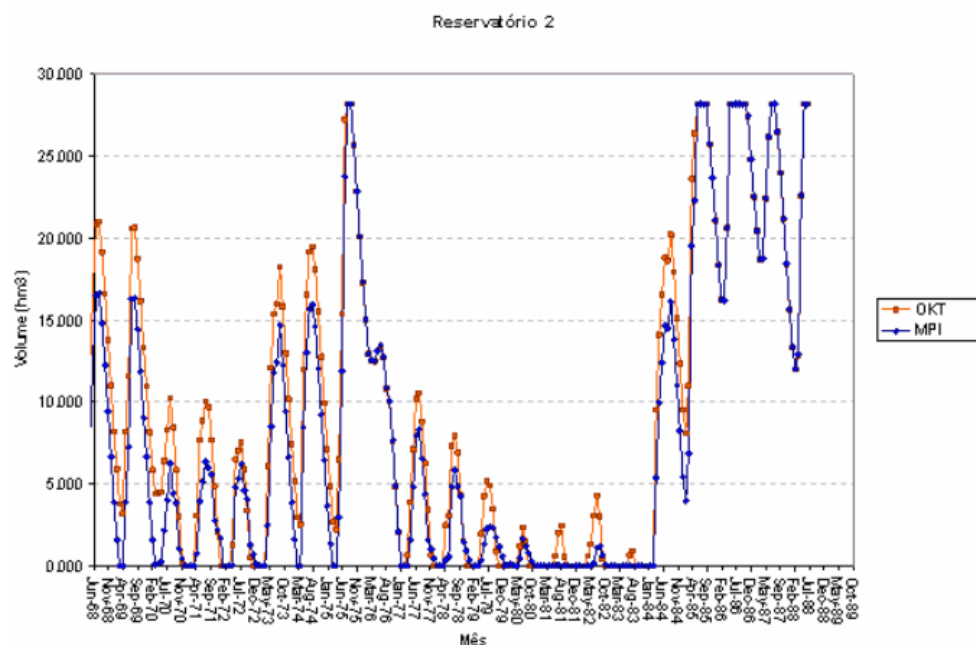


Figura 11: Comparação dos volumes finais para o reservatório Jacarecica 2 ao longo de toda a série

2.10.5 Aplicação da programação não linear separável por partes

Para testar e comparar o resultado do novo algoritmo foi criada uma rede fictícia com três reservatórios e cinco demandas, conforme Figura 12, utilizando o SSD AcquaNet.

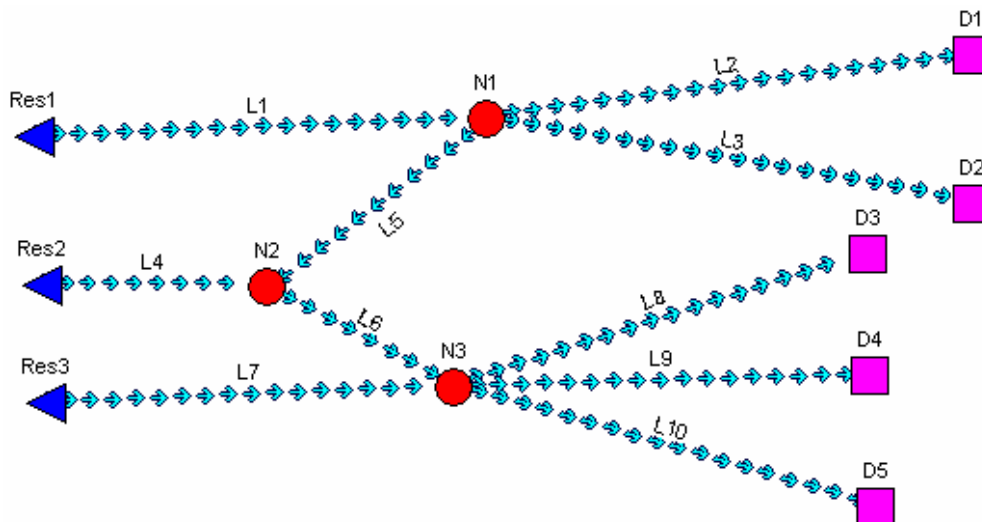


Figura 12: Rede fictícia utilizada para os testes

A análise do sistema da Figura 12 foi feita com base nos valores de demandas e volumes característicos dos reservatórios, indicados na Tabela 5 e na Tabela 6, respectivamente. Os valores das prioridades são os mesmo para todas as demandas.

Tabela 5: Valores de demandas e respectivas prioridades

Demanda	Demanda Requerida (m^3/s)	Prioridade
D1	1.1	1
D2	0.5	1
D3	1.2	1
D4	2.0	1
D5	1.0	1

Tabela 6: Volumes característicos dos reservatórios e respectivas prioridades

Reservatório	Vol. Máximo (hm^3)	Vol. Mínimo (hm^3)	Vol. Inicial (hm^3)	Prioridade
Res1	100	20	50	99
Res2	40	10	20	99
Res3	120	10	100	99

Foi analisado um período de dados de um ano. Os reservatórios possuem certo volume inicial de água e não existe vazão afluente. O cenário foi construído dessa maneira para que houvesse déficit no atendimento às demandas, sendo possível assim uma melhor comparação dos resultados.

Apesar de a função objetivo da PL ser diferente da PNLSP, os resultados foram comparados para analisar o comportamento de cada algoritmo, uma vez que o volume fornecido às demandas e os volumes finais dos reservatórios são idênticos.

A Figura 13 apresenta a comparação das vazões de atendimento às demandas pela PL e pela PNLSP. É possível perceber que os déficits são distribuídos ao longo dos meses na PNLSP enquanto a PL concentra os déficits nos meses finais. A Figura 14 apresenta a comparação dos volumes finais dos reservatórios para a PL e para a PNLSP. Como o volume é consequência do atendimento às demandas, a água neles contida é usada mais rapidamente na PL do que na PNLSP.

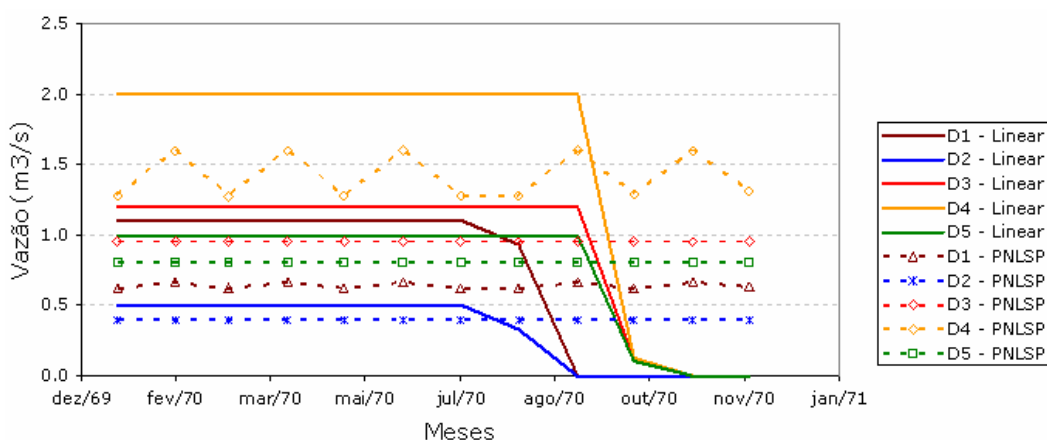


Figura 13: Comparação de atendimento às demandas PL x PNLSP

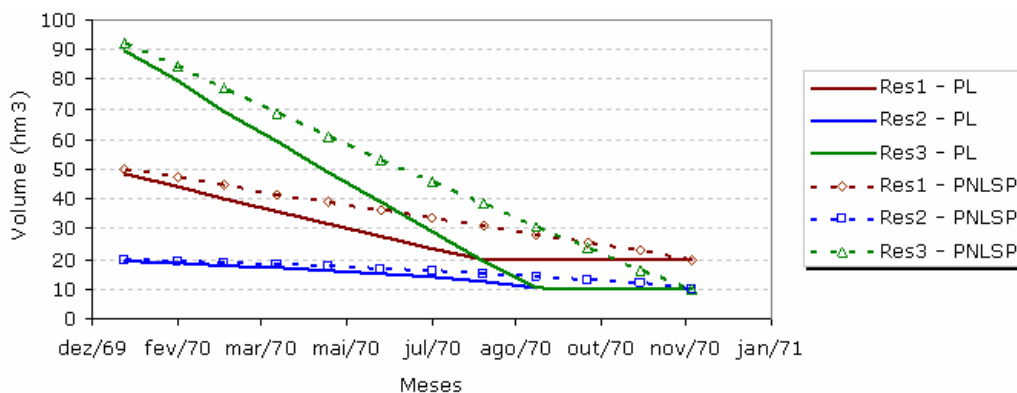


Figura 14: Comparação dos volumes finais PL x PNLSP

Os resultados da PNLSP foram comparados com a programação não linear pura formulada no MS Excel. Na Figura 15 é comparado o atendimento às demandas e na Figura 16 são comparados

os volumes finais dos reservatórios. Observa-se que os resultados obtidos com a PNLSP aproximam-se dos obtidos com o método de PNL pura. Isso indica que o modelo de PNLSP é consistente e pode ser empregado quando se deseja trabalhar com funções objetivo que representem uma melhor distribuição dos déficits de atendimento às demandas.

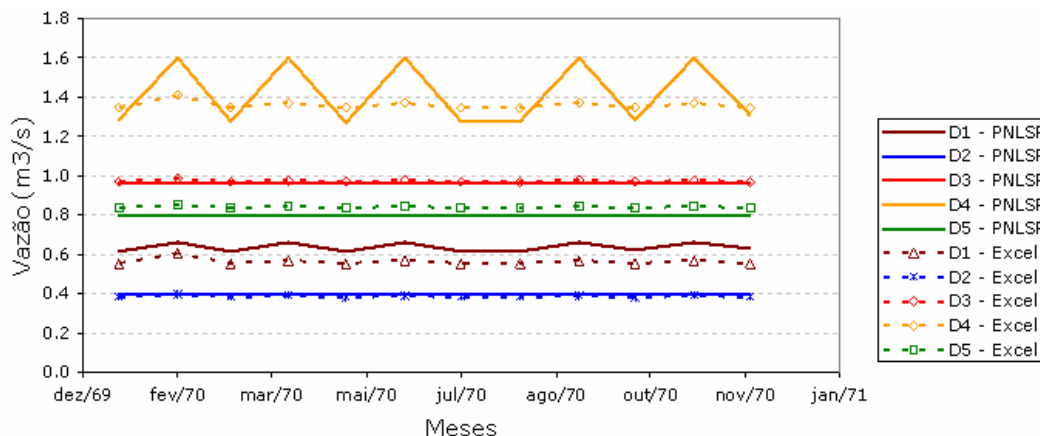


Figura 15: Comparação de atendimento às demandas PNLSP x Excel

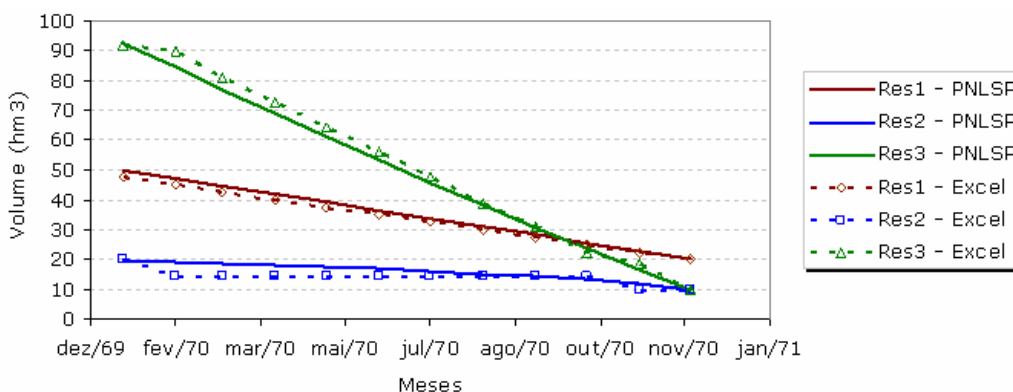


Figura 16: Comparação dos volumes finais PNLSP x Excel

2.10.6 Aplicação da função objetivo linear com amortecimento

Para testar a função objetivo linear com amortecimento foi montada uma rede simples, com um reservatório, uma demanda e um link (Figura 17). Nessa rede, o valor da demanda requerida é de $5 \text{ m}^3/\text{s}$; a distância entre o ponto da demanda e o reservatório é de 10 km e a velocidade de escoamento é de 3 m/s. O intervalo de tempo considerado foi de 1 (uma) hora. A otimização foi feita para um período de 4 (quatro) horas. Canais naturais têm valores típicos de X entre 0.20 e 0.35. O valor de X adotado foi 0.30 e o valor de K foi de 1 hora, resultando em $C_1 = 0.1667$, $C_2 = 0.6667$, $C_3 = 0.1667$. O reservatório foi considerado com volume inicial de 30 hm^3 , suficiente para atender as descargas sem falhas.

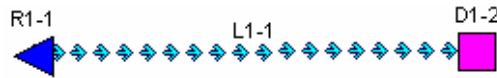


Figura 17: Rede simples utilizada para o teste de otimização com amortecimento

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos com a otimização. Na Figura 18 são apresentados graficamente estes resultados. Na coluna “Res. (início)” são apresentados os valores de vazão liberados do reservatório (início do link) e na coluna “Dem. (fim)” a vazão amortecida fornecida à demanda (final do link). O volume de água total liberado do reservatório é maior que o volume de água que chega à demanda, considerando somente o intervalo de 4 horas. Assim, nem toda água liberada do reservatório, entre os instantes 0 e 3 horas, chega à demanda até o instante 4 horas, por sofrer amortecimento no trecho (link).

Tabela 7: Vazões de saída do reservatório e atendimento à demanda

t (h)	Vazões (m ³ /s)	
	Res. (início)	Dem. (fim)
0	6,23	
1	5,08	5,00
2	4,69	5,00
3	6,25	5,00
4	0,00	5,00

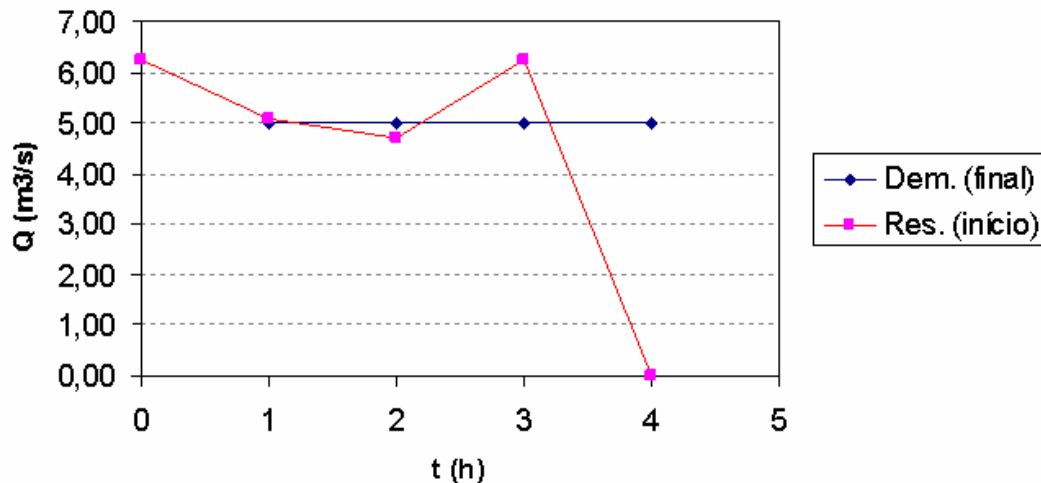


Figura 18: Gráfico de vazões na saída do reservatório e atendimento da demanda

3 CONCLUSÃO

O novo SSD AcquaNet, no seu atual estágio de desenvolvimento, vem demonstrando ser um recurso muito importante para auxiliar no processo de tomada de decisão no que se refere ao gerenciamento e ao planejamento dos recursos hídricos. A seguir são relacionadas algumas constatações obtidas ao longo do desenvolvimento do novo SSD AcquaNet:

- as ferramentas computacionais de manipulação de dados e a interface utilizando sistemas de informações geográficas facilitam a obtenção de respostas com maior rapidez e confiabilidade, tornando mais hábil a tomada de decisão;
- ampliação das possibilidades de análise com a implementação do novo algoritmo de cálculo, que pode utilizar intervalos de tempo mensal, diário e horário (a versão original do SSD AcquaNet só utilizava intervalos mensais). Esse novo algoritmo também é capaz de efetuar o amortecimento das vazões nos canais da rede em estudo;
- a facilidade de integração do novo SSD AcquaNet com outros sistemas computacionais, já que o novo SSD funciona como uma dll e pode ser executado isoladamente ou sendo chamado por outro programa. Nesta opção, os menus/botões do SSD AcquaNet são acrescentados no programa que o chamou e todas as funcionalidades são mantidas (traçado, cálculo, resultados, etc.).

AGRADECIMENTOS

Aos membros do LabSid da Escola Politécnica da USP (Augusto Freire, Cristiane Araújo Amaro, Cristiano de Pádua Milagres Oliveira, Joaquin Ignacio Bonnetarrère Garcia, Maria Ângela Tafner Zahed, Roberto Alves de Oliveira, Satie Ishikawa e Silvana Susko Marcellini) que muito colaboraram no desenvolvimento do novo SSD AcquaNet.

BIBLIOGRAFIA

MÉLLO JÚNIOR, A. V.; PORTO, R. L. L.; SCHARDONG, A.; ROBERTO, A. N.; LISBOA NETO, H.; OLIVEIRA, C. de P. M. (2003). *“Sistema de alocação de água em bacias complexas pelo método dos pontos interiores”*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba - PR.

SCHARDONG, A. (2006). *“Aplicação de técnicas de programação e extensões para otimização da alocação de água em sistemas de recursos hídricos, utilizando método de pontos interiores”*. Dissertação de mestrado, 141 p., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

SIMONOVIC, S. (1998). *“A systems approach to creative water resources engineering”*. Apostila de Curso, FCTH, São Paulo - SP.

TUCCI, C. E. M. (1998). *“Modelos Hidrológicos”*. Ed. Universidade, UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS.