

Modelo MEL-AT – Previsão e Modelagem de Vazões para a Bacia do Alto Tietê

Sidnei Ono^{1,2}
Rubem La Laina Porto¹
Cristiano de Pádua Milagres Oliveira¹
Silvana Susko Marcellini¹

¹ Universidade de São Paulo – USP/POLI
Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões – LABSID
Av. Professor Almeida Prado, 271 – 05508-090 - São Paulo – SP, Brasil
{sidnei.ono, cristiano.oliveira, silvana.marcellini}@poli.usp.br
rlporto@usp.br

² Enerconsult S.A.- ARCADIS
Rua Líbero Badaró, 377 14º Andar - 01009-906 - São Paulo – SP, Brasil
ono@enerconsult.com.br

Abstract. This work details a system to forecast and model daily outflows in the superior portion of High Tietê basin, above the São Miguel Paulista (Nitroquímica) fluviometric station. The Linear Stochastic Model (MEL) was used; which is a multiple entries transference function model. This model uses a mathematical function that relates the current outflow gradient to the last outflow gradient, and the current and previous average rain in the basin. The pluviometric stations areas of influence had been determined by means of a Geographic Information System (GIS), making the model a more complete one.

Palavras-chave: hidrologia, recursos hídricos, sistema de informações geográficas, modelagem, previsão.

1. Introdução

O modelo estocástico de previsão de cheias constitui uma relação de recorrência em que se exprime a vazão prevista em função de chuvas ou vazões observadas em intervalos anteriores. Este modelo é possível atribuir probabilidade à realização dos eventos futuros, principalmente nos intervalos de previsão iniciais. Foi utilizado o Modelo Estocástico Linear (MEL), do tipo função de transferência com múltiplas entradas. Este modelo usa uma função matemática que relaciona o gradiente da vazão atual com o gradiente da vazão passada e a chuva média atual e passada na bacia (Braga, 1981). As chuvas são divididas em isócronas para se levar em conta o tempo de escoamento de águas pluviais de diferentes pontos da bacia. Todas as feições geográficas, inclusive as isócronas, foram criadas num sistema de informações geográficas (SIG), utilizando o ESRI ArcMap 8.3.

Fisicamente, o modelo procura representar o amortecimento na bacia e a contribuição lateral ao longo do canal. Estes fenômenos ficam embutidos nos parâmetros da equação do modelo que deverão ser adequadamente calibrados nos eventos mais próximos da data atual.

2. Banco de Dados SIG

A bacia estudada no Alto Tietê, estado de São Paulo, tem a sua área localizada desde a sua cabeceira, na cidade de Salesópolis, até o posto São Miguel Paulista (Nitroquímica) na Região Metropolitana de São Paulo. Em toda sua extensão, possui uma densa rede pluviométrica (medição de chuvas) e fluviométrica (medição de vazão no leito do rio) da Rede Básica e Telemétrica operadas pelo DAEE-SP.

Foi criado, para auxiliar o desenvolvimento do modelo, um banco de dados SIG em *geodatabase* no software ESRI ArcMap 8.3. Neste banco, foram reunidas as seguintes informações espaciais, com as indicações das figuras em parênteses, a serem listadas a seguir:

1. Dados vetoriais:
 - 1.1. Área limite da bacia (**Figura 1**);
 - 1.2. Áreas dos Polígonos de Thiessen (**Figura 3**);
 - 1.3. Áreas das Isócronas (**Figura 2**);
 - 1.4. Interseção entre os layers das isócronas e os Polígonos de Thiessen (**Figura 4**).
 - 1.5. Hidrografia (**Figura 1**).
 - 1.6. Postos de monitoramento de chuva (**Figura 3**).
2. Dados raster:
 - 2.1. Modelo Numérico de Elevação em GEOTIFF (**Figura 1**).
3. Outros dados:
 - 3.1. Séries históricas de chuvas em todos os postos pluviométricos;
 - 3.2. Séries históricas de vazões em todos os postos fluviométricos.

A integração dos dados foi feita sobre bases cartográficas oficialmente validadas, como os dados numéricos originais (Modelos Numéricos de Elevação) obtidos pelo site da Embrapa (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>) no formato GEOTIFF (16 bits), com resolução espacial de 90 metros.

Outra informação espacial, como a hidrografia, foi obtida do banco de dados SIG do Sistema de Suporte a Decisão para Operação dos Grandes Sistemas Produtores da SABESP.

As demais informações foram processadas no próprio ArcView, apenas utilizando a ferramenta “Editor”.

No projeto, o sistema de coordenadas utilizado é o Universal Transverso de Mercator, Zona 23, Datum Horizontal de Córrego Alegre. Utilizou-se a definição padrão do sistema de coordenadas do ArcView de nome “Córrego_Alegre_UTM_Zone_23S”.

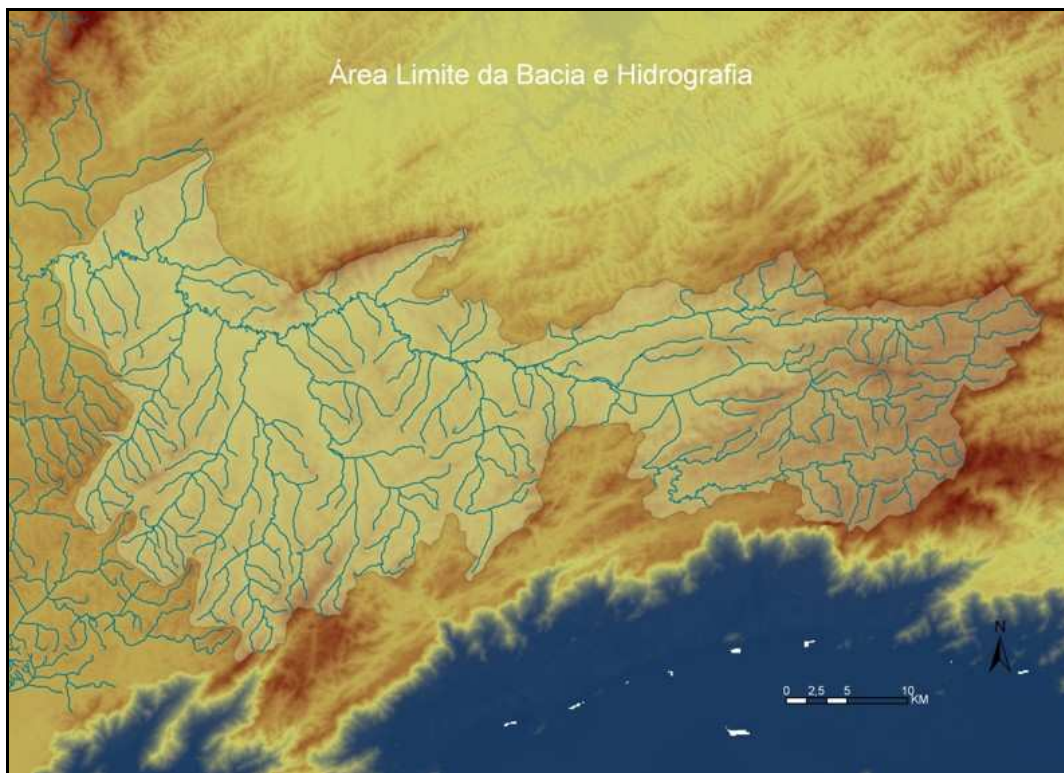


Figura 1 - Modelo Numérico de Elevação, hidrografia e limite da bacia.

3. Modelação e Metodologia

O modelo MEL-AT é um modelo estocástico que relaciona o gradiente da vazão atual com o gradiente da vazão passada e a chuva média atual e passada na bacia. Trata-se de uma equação matemática cujos parâmetros podem corresponder, dentro da hidrologia clássica, ao *routing*, à contribuição lateral e aos comportamentos dos reservatórios. Após a calibração, esses componentes ficam embutidos nos parâmetros da equação. Na bacia do Alto Tietê, que possui reservatórios que atendem ao abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo e têm vazões de descarga variável, as calibrações devem ser periódicas ou no período do estudo.

A área de drenagem da bacia é de aproximadamente 1590 km² e o tempo de concentração resultou em aproximadamente 20 horas. Usualmente, no modelo estocástico linear, a bacia é dividida em isócronas com os tempos mais curtos, próximos de uma hora. Mas para evitar a propagação de pequenos erros nas iterações, numa previsão diária satisfatória, optou-se por utilizar cinco isócronas de 4 horas.

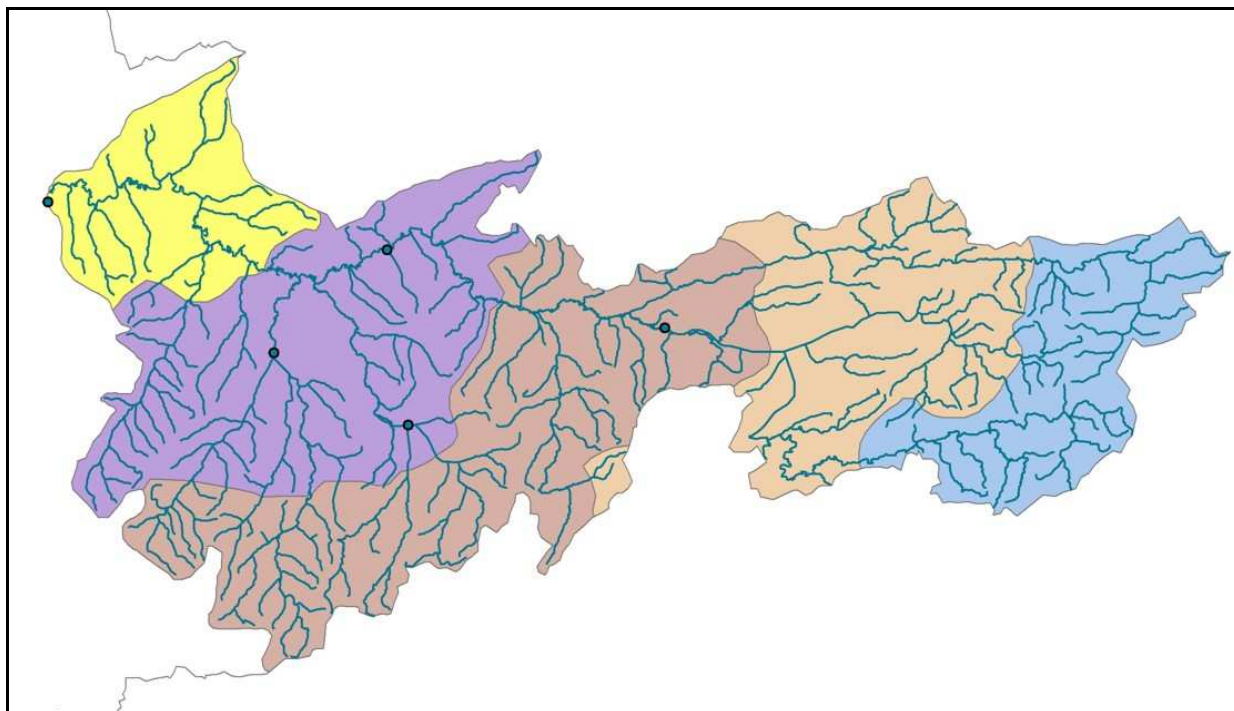


Figura 2 - Formação das isócronas.

O equacionamento do modelo e os resultados das calibrações podem ser obtidas pelo website: <http://www.phd.poli.usp.br/labsid>, dentro do item “Programas” e seqüencialmente em “Previsão de Vazões do DAEE”.

O mapa a seguir ilustra os cinco postos na bacia, representando todas as áreas de influência sobre as bacias obtidas pelo Método de Thiessen. Estas áreas foram obtidas pelo ArcView 3.2 através de um script de domínio público, que criam os polígonos de Thiessen ao fornecer a localização dos postos.

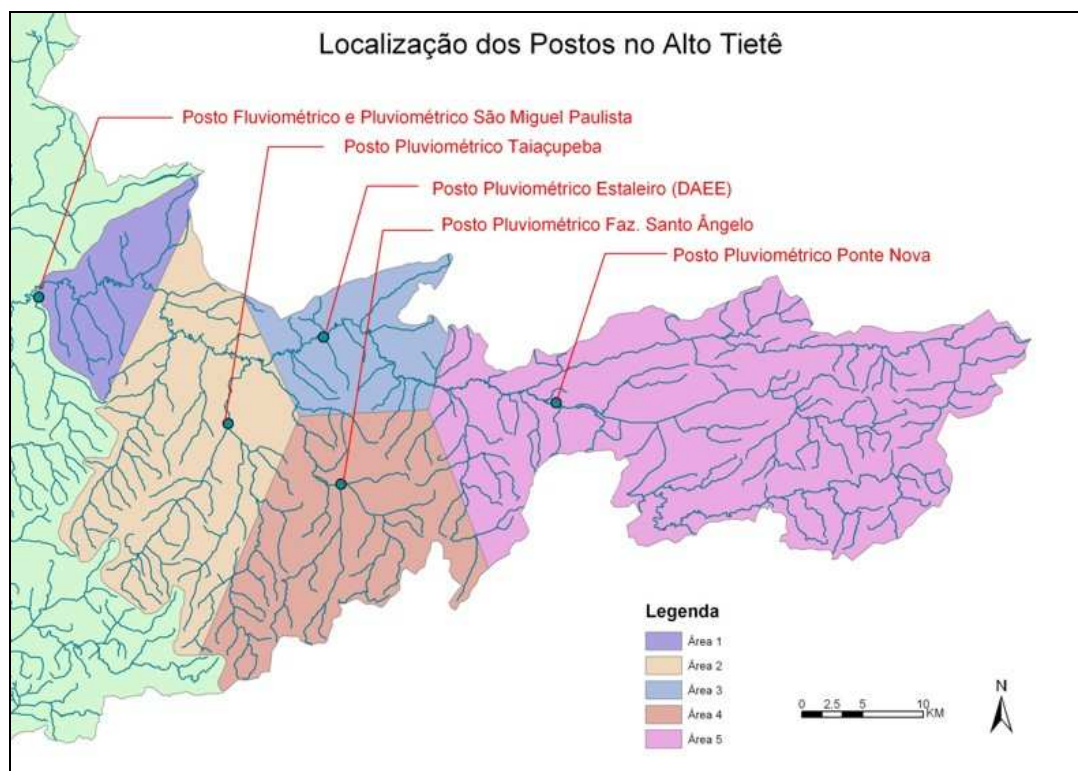


Figura 3 - Divisão dos Polígonos de Thiessen de cada posto.

Com as informações geográficas obtidas, foram sobrepostos as áreas de isócronas e os polígonos de Thiessen, como mostra a **Figura 4**.

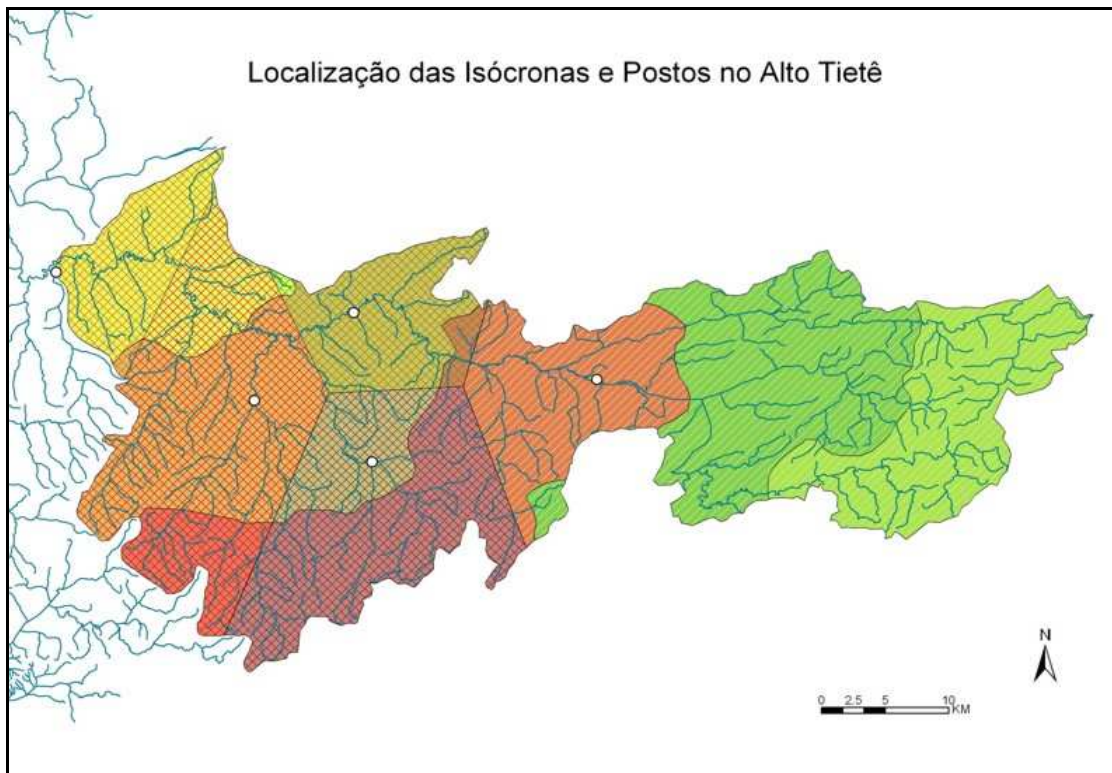


Figura 4 - Interseção entre os layers das isócronas e os Polígonos de Thiessen.

Como resultado, a distribuição das áreas de influência dos Polígonos de Thiessen (P1 a P5) sobre a área das isócronas (I1 a I5) é mostrada na **Tabela 1**. A tela inicial da planilha do Modelo Estocástico Linear é apresentada na **Figura 5**.

Tabela 1 - Distribuição das áreas dos Polígonos de Thiessen sobre as isócronas.

	I1	I2	I3	I4	I5
Total	174,0	434,2	464,2	299,0	218,8
P1	104,2	2,8	0,0	0,0	0,0
P2	67,4	225,3	66,1	0,0	0,0
P3	2,4	124,5	12,8	0,0	0,0
P4	0,0	81,7	206,2	0,0	0,0
P5	0,0	0,0	179,1	299,0	218,8

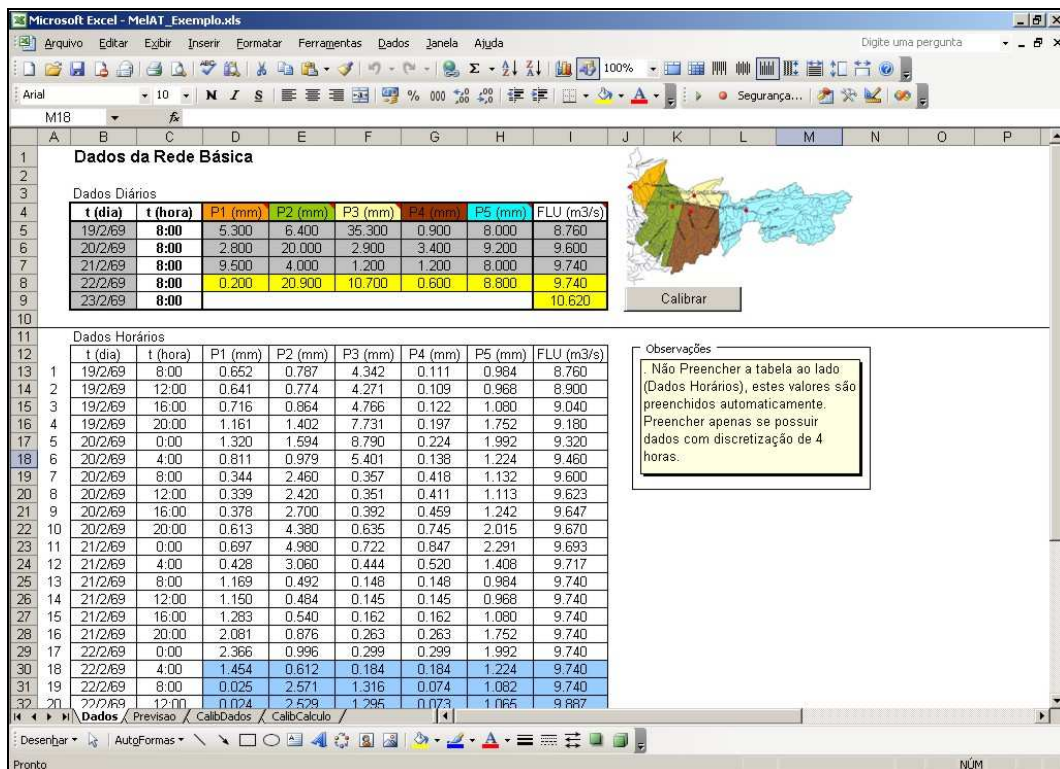


Figura 5 - Tela inicial do Modelo Estocástico Linear em planilha

A metodologia consiste na obtenção dos dados horários, obtidos no banco de dados de chuva e vazão dos postos da Rede Telemétrica de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE-SP). Assim, para efeitos de calibração, é necessário obter dados de vazão de apenas um posto fluviométrico à jusante da bacia, como o de São Miguel Paulista (Nitroquímica), localizado no município de São Paulo. Para os dados de chuva, quanto maior o número de postos pluviométricos, melhor será a sua distribuição espacial, através do método dos Polígonos de Thiessen.

Estes dados telemétricos podem ser adquiridos pelo protocolo FTP (File Transfer Protocol) da entidade que opera a rede existente na bacia com algumas restrições de senhas. No servidor FTP são gerados arquivos de dados no formato texto (TXT) com informações de chuva e cota do nível de água. As atualizações destes dados de telemetria no servidor são feitos com a frequência estabelecida pela entidade que opera a rede. Associado às restrições de acesso ao FTP, as atualizações dos dados no modelo MEL-AT podem ser feitas de forma automática. O esquema da rotina automática de leitura e armazenamento de dados na base de dados do modelo é ilustrado na **Figura 6**.

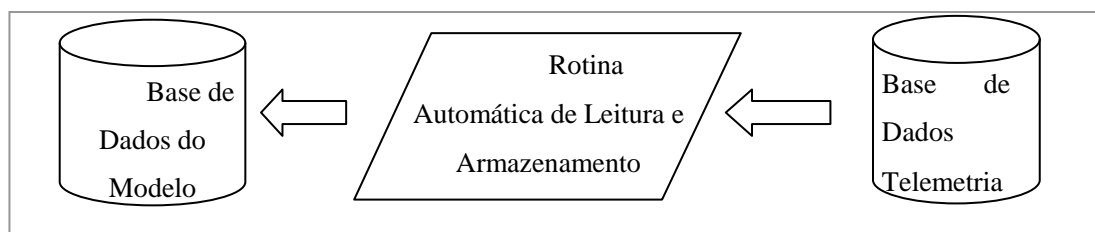


Figura 6 – Esquema de aquisição ideal de dados de telemetria

Tais eventos de chuva podem ser obtidos nos postos que pertencem à Rede Telemétrica do DAEE que estão localizados dentro da área limite da Bacia do Alto Tietê. Os postos estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Número da área, tipo, código, município e nome dos postos telemétricos de monitoramento de chuva e vazão telemétricas existentes na bacia do Alto Tietê.

Área	Tipo	Código	Município	Nome
1	Pluviométrico	3E-004	São Paulo	São Miguel Paulista (Nitroquímica)
	Pluviométrico	E3-048	São Paulo	São Miguel Paulista (Nitroquímica)
2	Pluviométrico	E2-141	Mogi das Cruzes	Taiacupeba
3	Pluviométrico	E3-097	Mogi das Cruzes	Estaleiro (DAEE)
4	Pluviométrico	E3-032	Mogi das Cruzes	Barragem Jundiá
5	Pluviométrico	E2-112	Salesópolis	Ponte Nova

Após obter os dados, é necessário fazer a calibração. Após este procedimento, os resultados de previsão de vazões pelo escoamento de chuva são mostrados automaticamente na pasta “Previsão” da planilha do MEL-AT, onde é feita a previsão para as próximas 24 horas (ou seis iterações de 4 horas), listadas na coluna “Qprev”.

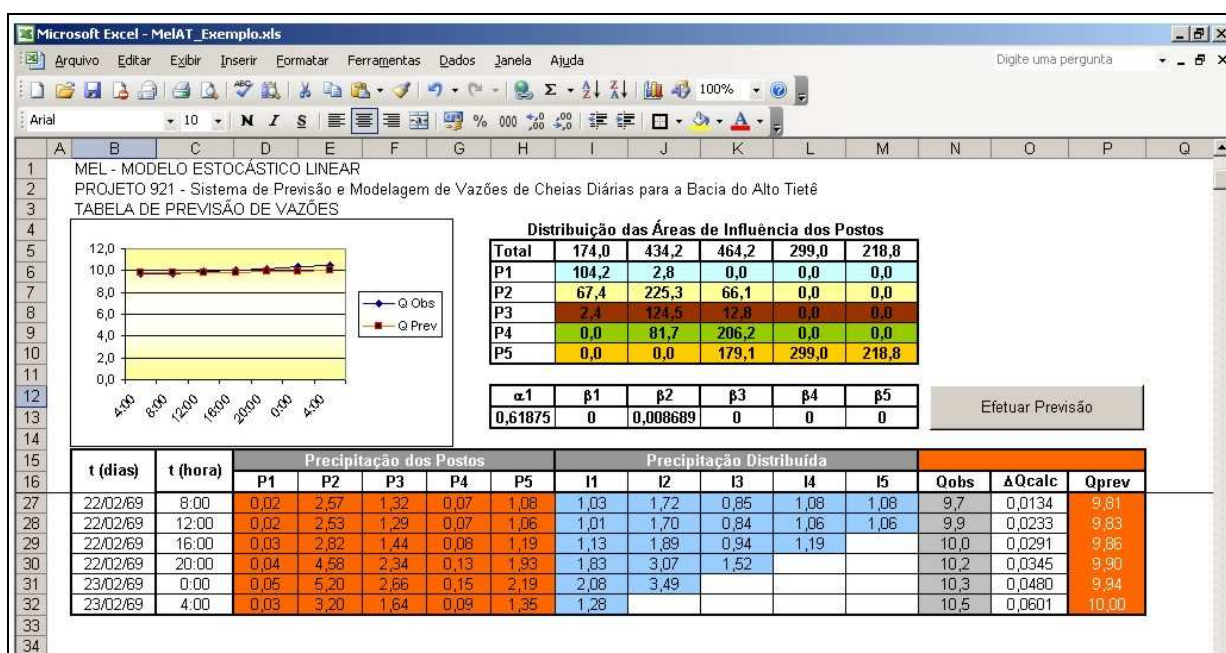


Figura 8 – Tela da planilha em que mostra as distribuições das áreas dos postos nas isócronas e a vazão de previsão (Qprev).

Um exemplo de um evento e o seu erro relativo é mostrado na **Tabela 3** e no gráfico da **Figura 9**.

Tabela 3 - Diferenças entre as vazões (em m³/s) observadas e previstas.

Data	Hora	Qobs	Qprev	Erro Relativo
20/02/69	8:00	9,740	9,763	0,24%
20/02/69	12:00	9,740	9,744	0,04%
20/02/69	16:00	9,740	9,702	-0,39%
20/02/69	20:00	9,740	9,656	-0,86%
21/02/69	0:00	9,740	9,599	-1,45%
21/02/69	4:00	9,740	9,541	-2,04%
21/02/69	8:00	9,740	9,442	-3,06%
21/02/69	12:00	9,887	9,241	-6,53%
21/02/69	16:00	10,033	9,013	-10,17%
21/02/69	20:00	10,180	8,753	-14,02%
22/02/69	0:00	10,327	8,446	-18,21%
22/02/69	4:00	10,473	8,107	-22,59%

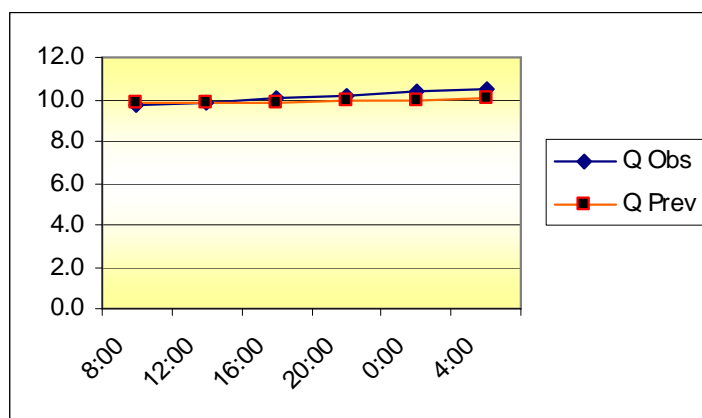


Figura 9 - Gráfico das vazões em m³/s observadas e previstas.

4. Conclusão

Dentro das limitações da conexão com o servidor, o modelo atendeu a todas as necessidades para uma previsão de vazões satisfatória. Observamos que o erro relativo é menor no início da previsão e maior no final, como era de se esperar, já que no caso de estudo era necessário fazer previsões diárias num modelo em que se comporta melhor em previsões horárias.

5. Agradecimentos

O presente estudo faz parte do projeto “Sistema de Previsão e Modelagem de Vazões de Cheias Diárias para a Bacia do Alto Tietê” elaborado para o DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. Os autores gostariam de agradecer ao DAEE, ao CTH – Centro Tecnológico de Hidráulica e ao SAISP - Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo pela imensa colaboração e suporte técnico.

Referências

- Braga Jr., B.P.F. Modelos de previsão em tempo real. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos (SBHRH), IV. 1981, Fortaleza. *Anais...* Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1981.
- Clark, C.O. **Storage and the unit hydrograph**. Transactions, ASCE, v. 110, p. 1416-1446, 1945.
- Mine, M.R.M. **Modelos estocásticos lineares para previsão de cheias em tempo-real**. 1984. 127p. (EPEC/FD-568). Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária), Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1984.
- Nakayama, P.T. **Sistema de suporte à decisão: previsão de chuva e alerta a inundação com radar meteorológico**. 1988. 170p. (EPEC/FT-1238). Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária), Escola Politécnica da USP, São Paulo. 1998.