

PROCESSAMENTO INTEGRADO DE DADOS PARA ANÁLISE HIDROLÓGICA

**José Almir Cirilo, Alexandre Moreira Baltar,
Antonio Lins Rolim Junior, Clênio de Oliveira Torres Filho**

Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente

Rua Irmã Maria David, 180 – Casa Forte

52061-070 Recife – PE

Fone: (081) 441-5636 – e-mail: sectma@pop-pe.mprb.br

JOSÉ ROBERTO GONÇALVES DE AZEVEDO

Departamento de Engenharia Civil – CT – UFPE

Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n – Cid. Universitária

50670-901 Recife – PE

RESUMO

Este trabalho apresenta um sistema integrado de análise hidrológica criado para aperfeiçoar o desenvolvimento de estudos específicos e planos de recursos hídricos para bacias hidrográficas.

O sistema inclui os seguintes componentes:

- *banco de dados: registros diários e mensais de precipitações em 472 postos de Pernambuco e vizinhanças a partir de 1911; registros de cotas e vazões nos rios; séries-históricas de evaporação, temperatura, umidade do ar e velocidade de ventos; informações geográficas;*
- *processadores de informações hidrológicas: analisadores de dados hidrológicos, calibração e simulação do comportamento de bacias, simulação da operação de reservatórios;*
- *pós-processadores.*

INTRODUÇÃO

À medida que as diferentes regiões se desenvolvem, mais intenso é o uso dos recursos hídricos, maior o potencial de conflitos entre usos e maiores os riscos de degradação da qualidade dos corpos d'água. Assim, a água precisa ser gerida como um bem escasso e, portanto, de alto valor econômico.

Devido à escassez da água, é freqüente a existência de conflitos pelo seu uso e maior se torna a importância do tempo utilizado pelos órgãos gestores dos recursos hídricos no sentido de tomar as decisões necessárias para solucionar os problemas existentes.

Para que o planejamento e a administração dos recursos hídricos possam ser exercidos de forma racional e dinâmica, torna-se imperiosa a existência de informações sistematizadas e, sobretudo, de sistemas gestores dessas informações, de modo a processá-las para gerar subsídios às intervenções nos recursos hídricos e sua operação adequada.

A análise detalhada dos processos hidrológicos de uma determinada região requer o processamento de uma grande quantidade de informações. A dispersão destas informações e a falta de conexão entre as várias ferramentas existentes, tais como modelos de simulação e programas para tratamento e gerenciamento de dados hidrometeorológicos, gera uma perda de tempo e trabalho adicional considerável.

O sistema computacional aqui apresentado tem por objetivo agilizar esses processos, possibilitando o estudo de um número maior de alternativas em um breve espaço de tempo, constituindo uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos do Estado de Pernambuco.

COMPOSIÇÃO DO SISTEMA

O Sistema Gerencial de Informações Hidrológicas de Pernambuco – SGI é composto pelos seguintes módulos.

- Módulo pluviométrico – processamento de dados pluviométricos e cálculo da precipitação média;
- Módulo evaporimétrico – processamento de dados de evaporação a partir de outras variáveis medidas, tais como temperatura e umidade;
- Interface com o MSDHD – utilização do Microssistema de Dados Hidrometeorológicos desenvolvido no DNAEE, principalmente para obtenção e análise de dados de vazão e lâminas d'água nos rios;
- Módulo fluviométrico – análise e geração de arquivos de dados limimétricos e de vazão;
- Modelos de simulação chuva-vazão – calibração e simulação de modelos

chuva-vazão para qualquer bacia ou sub-bacia hidrográfica do Estado;

- Módulo de simulação da operação de reservatórios.

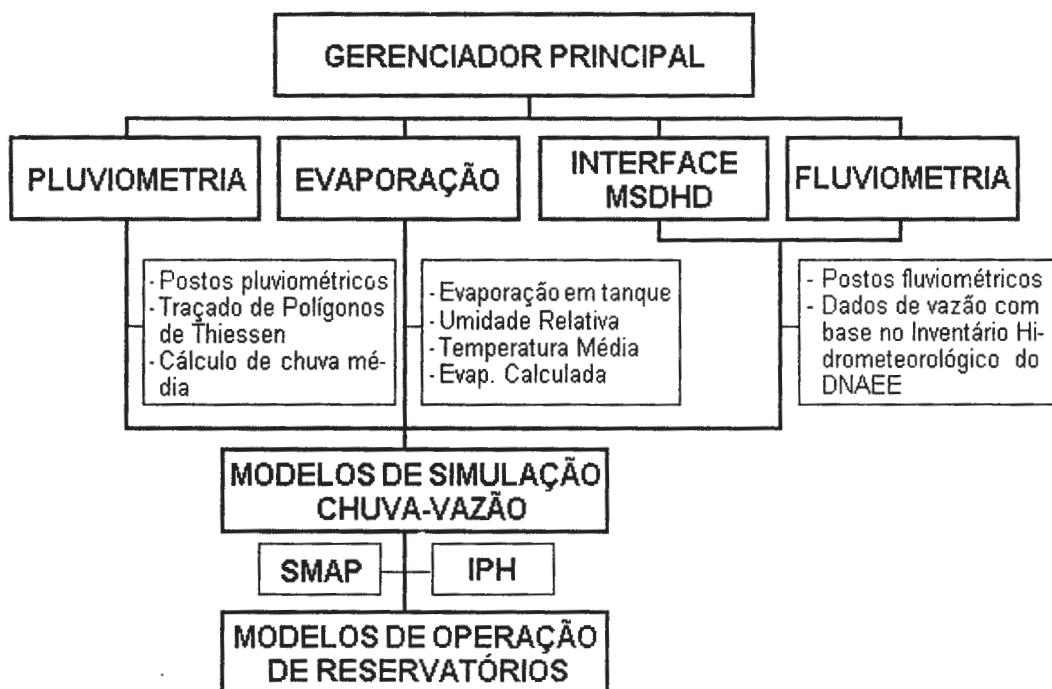
Com o suporte do sistema, é possível, no mesmo ambiente computacional, a partir de um contorno da bacia a ser estudada, selecionar automaticamente os dados de chuva, evaporação e vazão, analisar e promover ajustes nesses dados, calibrar modelos de simulação, gerar séries sintéticas de vazões e simular operação de reservatórios.

A Figura 1 apresenta fluxograma com os componentes do sistema.

DESCRÍÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Gerenciador principal

A ligação entre os diversos módulos do sistema é feita por um gerenciador principal (Figura 2) desenvolvido em Visual Basic



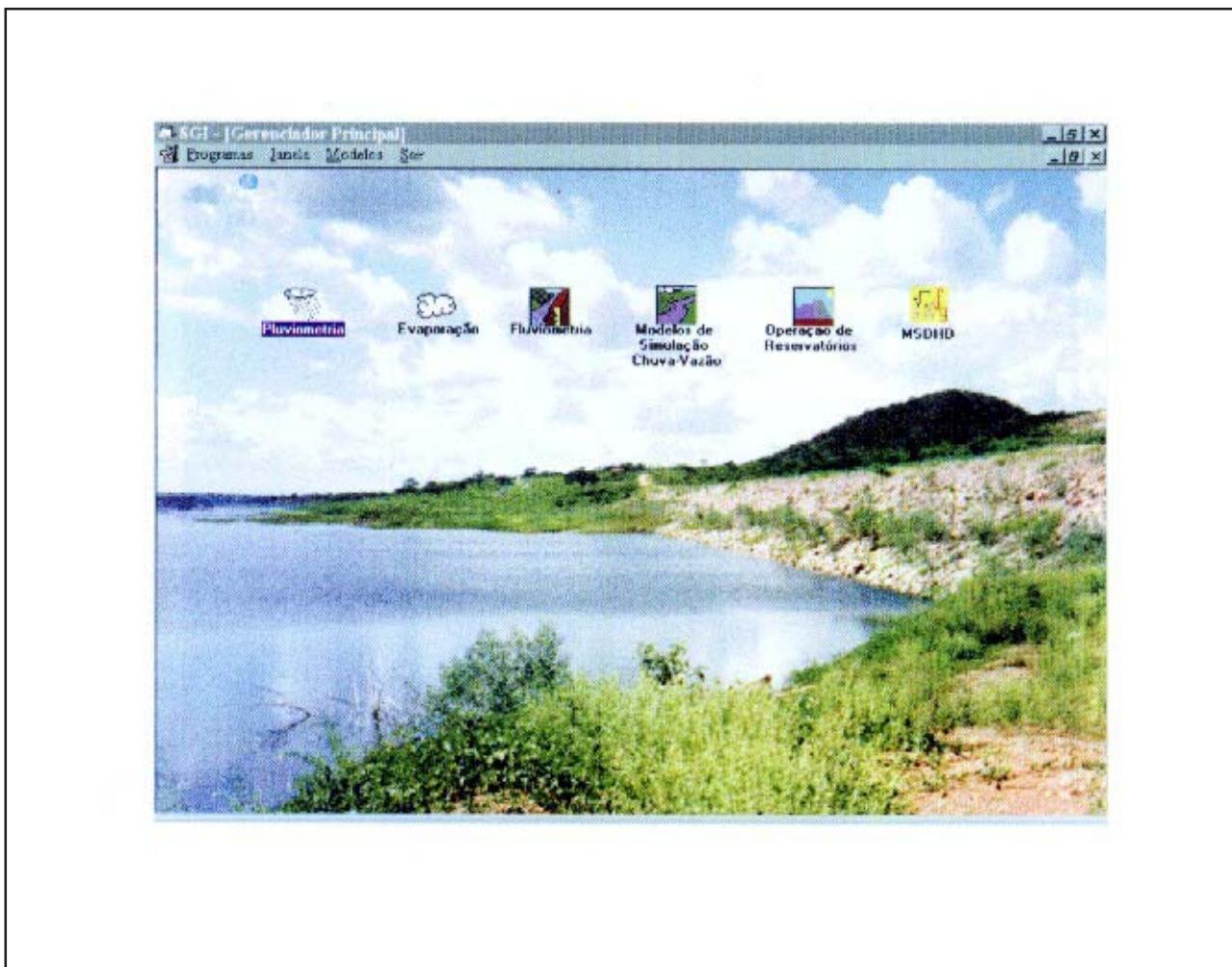


Figura 2. Tela do gerenciador principal.

utilizando o ambiente Windows. Os bancos de dados foram gerados no formato Access 1.1. Além do gerenciador principal, também foram desenvolvidos em Visual Basic os modelos de informações pluviométricas e de informações evaporimétricas. Os programas de simulação foram desenvolvidos em outras linguagens e adaptados para serem executados dentro do sistema.

O usuário pode executar, a partir do sistema, o MSDHD – Microssistema de Dados Hidrometeorológicos – desenvolvido pelo DNAEE, que incorpora e possibilita análise de dados de todas as regiões do Brasil (Santos e Simaburgo, 1995).

Para possibilitar todo o processamento que o sistema é capaz de realizar, o gerenciador principal é provido dos contornos

digitalizados das bacias hidrográficas de Pernambuco.

Gerenciador de dados pluviométricos

Este módulo tem como objetivo analisar os dados e calcular a precipitação média para uma determinada região. Nesse processo utiliza-se o método dos polígonos de Thiessen, com coeficientes calculados considerando como unidade de área o pixel, menor subdivisão da tela gráfica do computador. A Figura 3 apresenta a tela principal do Gerenciador de Dados Pluviométricos.

São necessárias as seguintes informações: arquivo de contorno da bacia e

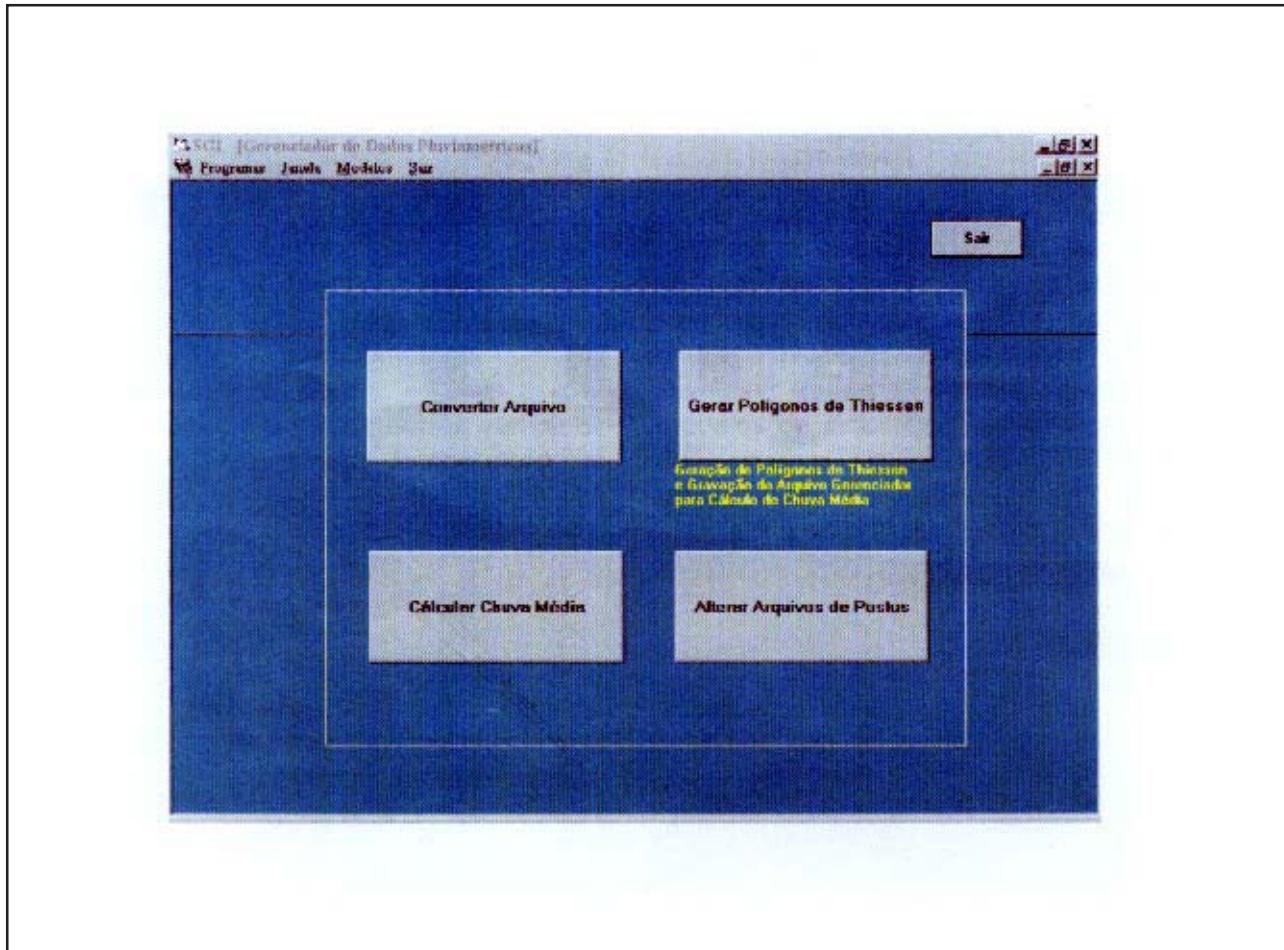


Figura 3. Tela do gerenciador de dados pluviométricos.

os limites geográficos da região, latitudes e longitudes. O programa trabalha com 472 postos pluviométricos situados em Pernambuco e estados vizinhos. Porém, a critério do usuário, pode-se adicionar ou remover postos recalculando-se os coeficientes de Thiessen para a nova configuração.

Os valores de chuva média para o período desejado são gravados em arquivos nos formatos compatíveis com programas de simulação chuva-vazão e de operação de reservatórios.

Vetorização assistida – todo o processo de análise requer naturalmente a definição da área em estudo. Preliminarmente, foi inserido no sistema o contorno geo-referenciado de todas as bacias hidrográficas do Estado.

Para inserção de novos contornos, como sub-bacias e bacias hidráulicas de reservatórios,

foi desenvolvido um módulo de vetorização assistida, possibilitando a conectividade de pontos levantados de mapas por meio de mesas digitalizadoras.

Os contornos das áreas são obtidos através de mesas digitalizadoras e de qualquer programa capaz de gerar arquivos no formato DXF.

A Figura 4 mostra o contorno digitalizado da bacia hidrográfica do Brígida, após o trabalho de vetorização assistida que possibilita a conexão entre os pontos coordenados provenientes da digitalização e a inserção das coordenadas limites para o geo-referenciamento da bacia.

Geração dos polígonos de Thiessen – A Figura 5 apresenta a tela de comando para geração dos polígonos de Thiessen, indicando as diversas janelas de definição de arquivos

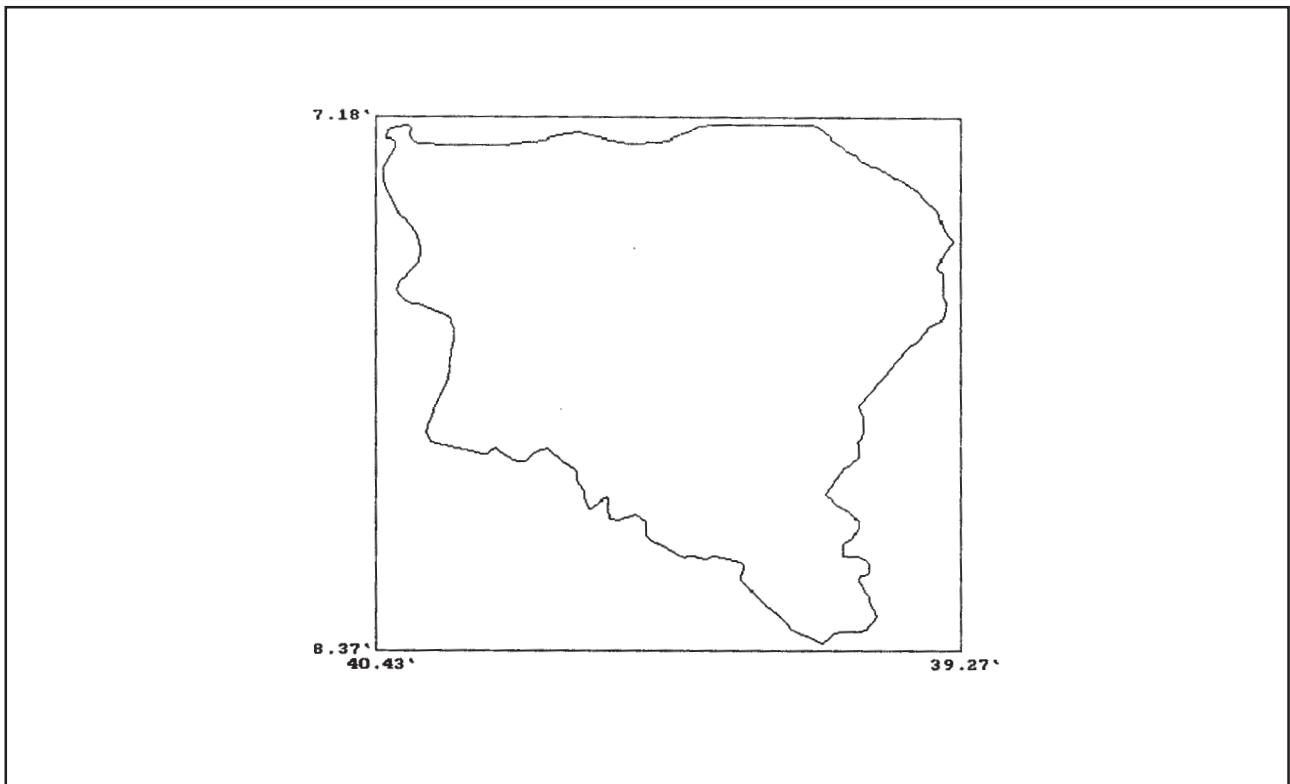


Figura 4. Contorno digitalizado da bacia hidrográfica do Rio da Brígida.

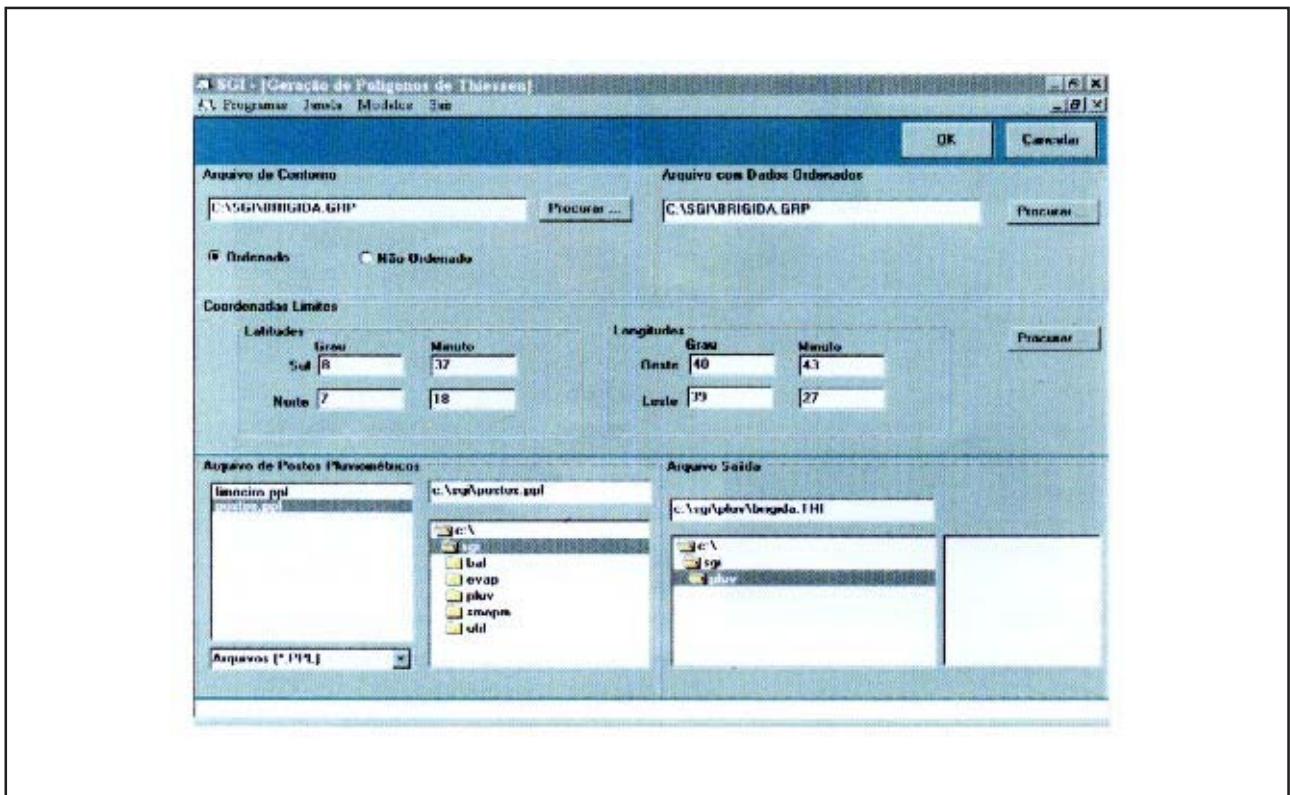


Figura 5. Cálculo de polígonos de Thiessen.

para cálculo da chuva média na bacia do Brígida entre Janeiro de 1960 e Dezembro de 1985.

Foram realizados testes com áreas regulares tornando possível uma comparação entre os coeficientes de Thiessen reais e os calculados. Os erros cometidos na geração dos polígonos foi da ordem de 0,1%.

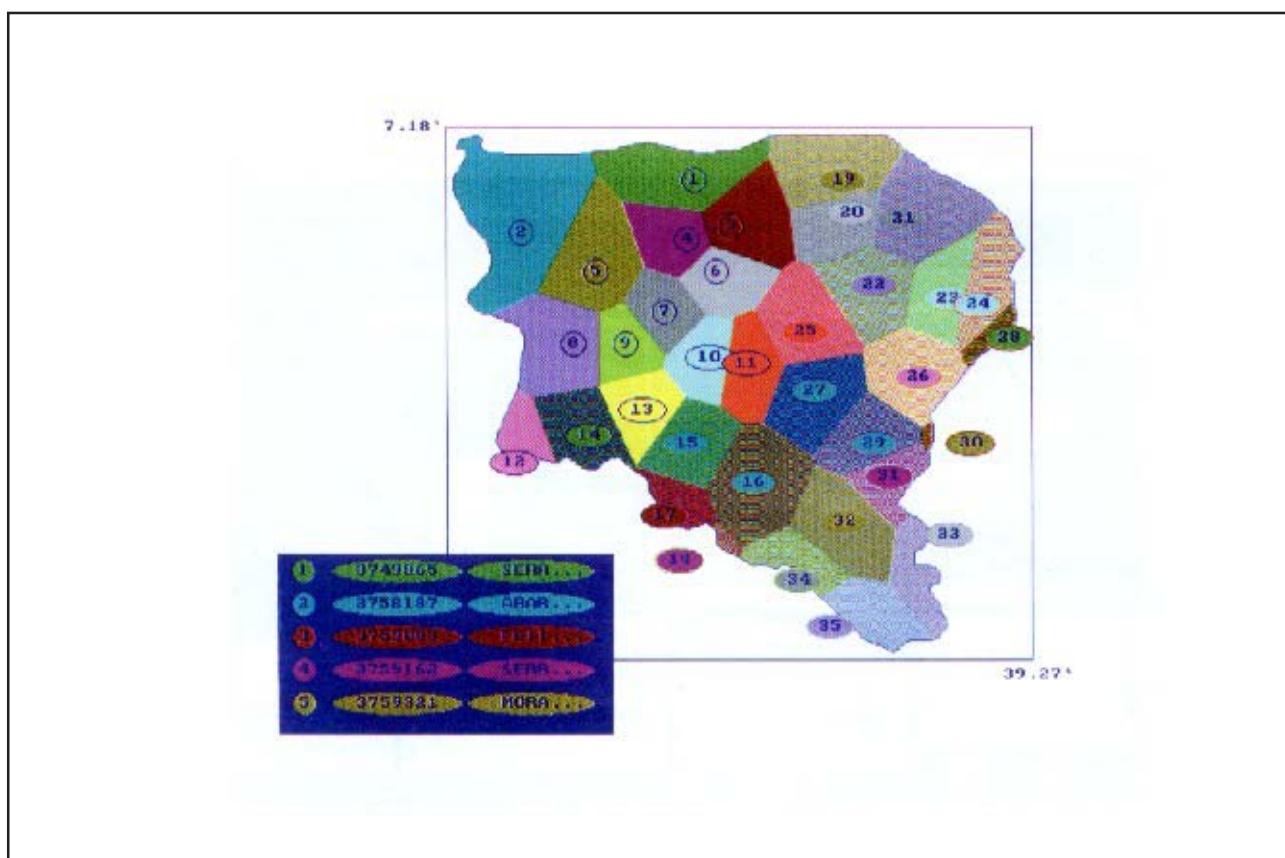
A Figura 6 apresenta os polígonos de Thiessen traçados e a relação dos postos pluviométricos detectados na área da bacia e vizinhanças.

A identificação da rede pluviométrica é automática, a partir das coordenadas dos postos e do contorno da bacia. A Figura 7 apresenta o menu seguinte ao detalhamento do processo. No exemplo, foram identificados 35 postos pluviométricos. Tem-se nesse menu a opção de escolha da periodicidade diária ou mensal e modificações na escolha dos postos.

Alteração de postos – Escolhendo a opção “Alterar Arquivos de Postos” na tela principal do Gerenciador de Dados Pluviométricos, o usuário visualiza os dados, código, localização e nome dos postos utilizados no cálculo da chuva média.

O programa remove automaticamente postos que não possuem dados no período especificado. A remoção de outros postos fica a critério do usuário. A tela correspondente a este módulo é apresentada na Figura 8.

O programa gera um arquivo com as seguintes informações: número de postos; período de cálculo; código, nome e área de influência de cada posto; os valores calculados de precipitação média para o período e, a critério do usuário, anexa o arquivo de dados observados de cada um dos postos utilizados. A Figura 9 mostra dados mensais de precipitação, em décimos de milímetro, posto a posto, em uma sub-bacia do Agreste de Pernambuco.



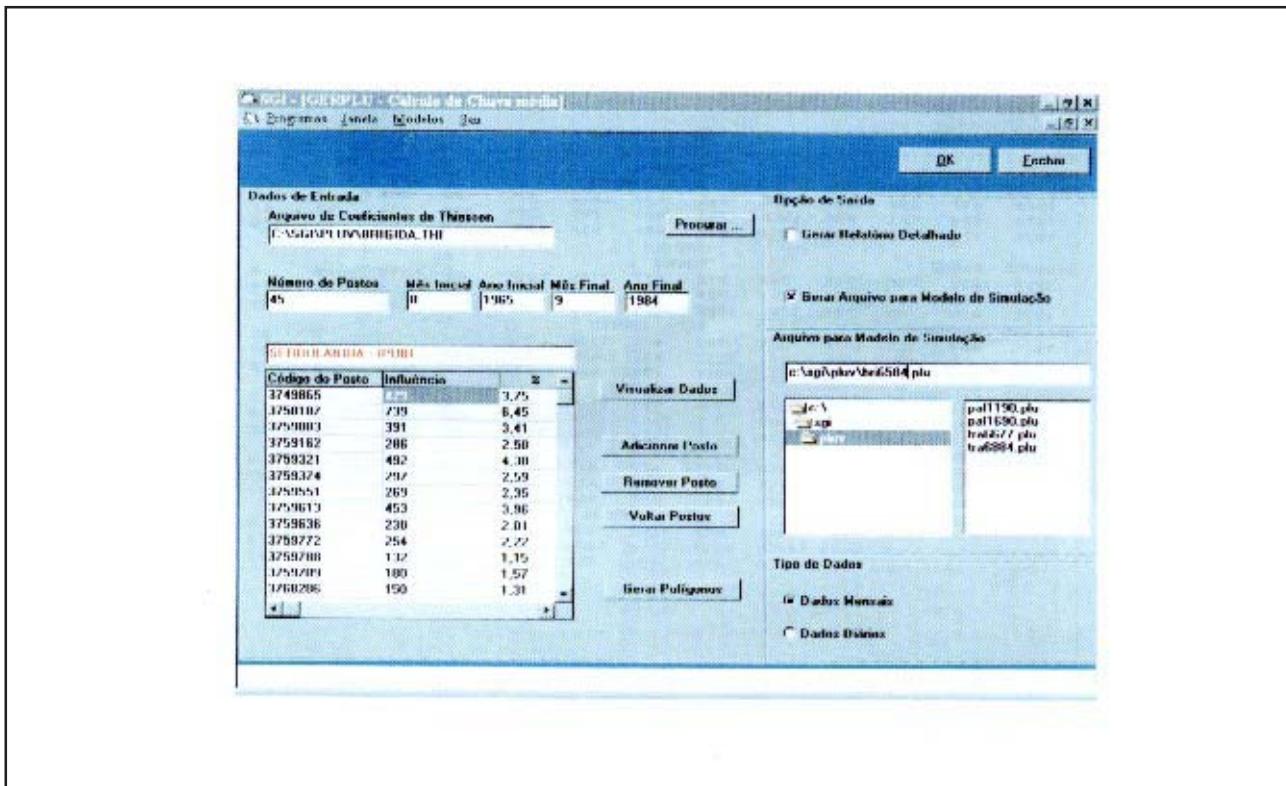


Figura 7. Escolha de postos dos polígonos de Thiessen.

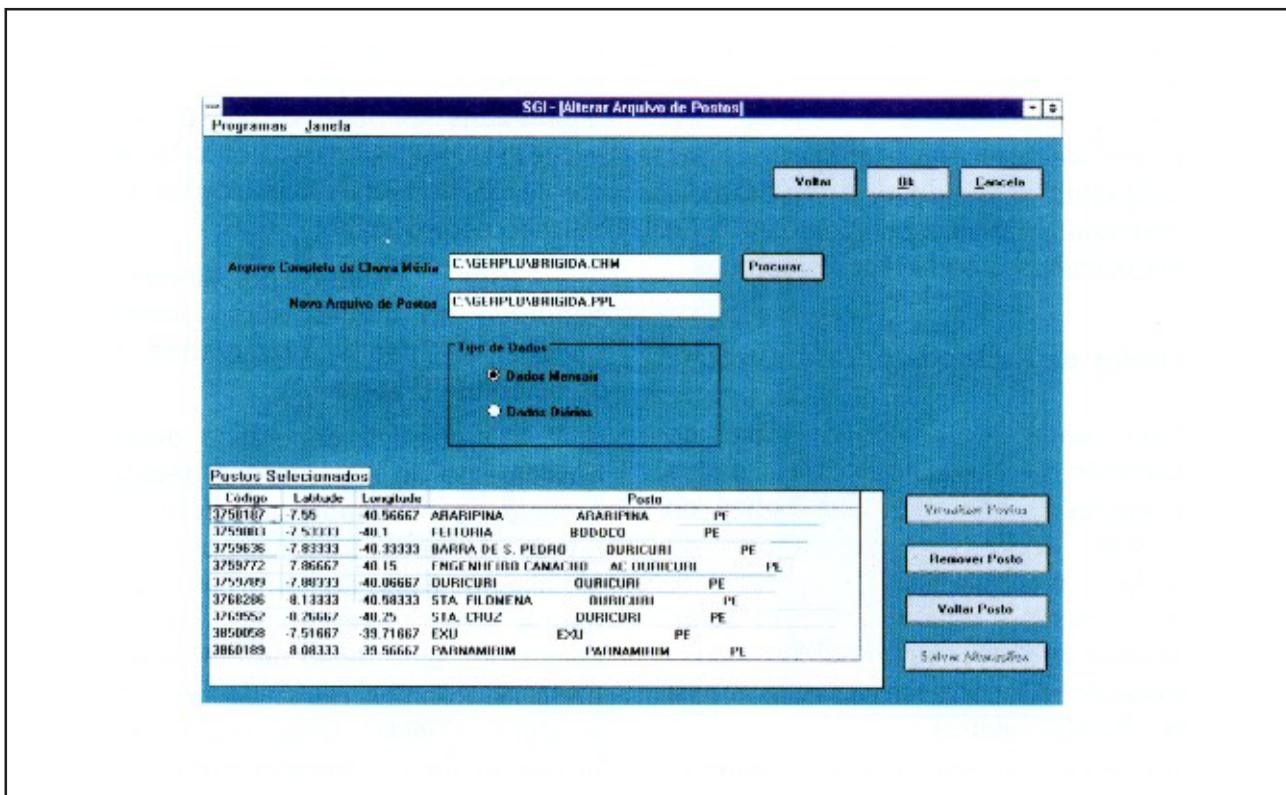


Figura 8. Módulo de alteração de postos.

5	1	1970	12	1972		POCAO		PE	4384.00
3866363		POCAO				BELO JARDIM		PE	10508.00
3866486		XUCURU				PESQUEIRA		PE	3764.00
3866762		PESQUEIRA				SANHARO		PE	17631.00
3866788		SANHARO				BELO JARDIM		PE	10884.00
3867613		BELO JARDIM							
1970	812	209	1092	398	395	627	1010	375	23
1971	120	161	891	1456	746	871	795	359	318
1972	175	981	782	1011	915	949	536	1145	98
									181
									3
									6
3866363		POCAO				POCAO		PE	
1970	1039	300	1914	362	413	677	1179	305	20
1971	495	289	1262	2251	280	467	1175	335	280
1972	435	1133	370	1185	1000	1091	282	865	230
3866486		XUCURU				BELO JARDIM		PE	
1970	684	256	1326	234	160	493	1100	366	0
1971	0	123	884	1119	232	545	559	333	138
1972	310	511	984	754	1131	899	968	875	671
3866762		PESQUEIRA				PESQUEIRA		PE	
1970	444	63	1164	370	184	509	1105	417	42
1971	610	239	1224	1033	955	1243	663	223	239
1972	20	64	43	3236	1065	1488	648	1379	110
3866788		SANHARO				SANHARO		PE	
1970	668	48	788	354	439	477	893	214	30
1971	52	198	836	1151	858	1040	745	344	232
1972	140	1533	685	491	883	809	264	1263	0
3867613		BELO JARDIM				BELO JARDIM		PE	
1970	1235	456	995	673	636	1051	1014	681	30
1971	16	50	710	2151	1210	950	1013	473	250
1972	40	786	827	1284	655	982	632	1254	115
									57
									0
									687

Figura 9. Dados mensais de precipitação.

Obviamente, todos os processos de simulação a partir dos dados de chuva tem sua representatividade condicionada à qualidade desses dados. Nesse sentido, o SGI apresenta a opção de escolha do banco de dados de pluviometria a acessar. No presente tem-se trabalhado com os dados brutos, enquanto se desenvolve em paralelo um trabalho de consistência e homogeneização dos dados pluviométricos.

Gerenciador de dados evaporimétricos

Esta parte do sistema trata do processamento e geração de dados evaporimétricos. Elaborou-se um banco de dados com valores observados de evaporação em tanque classe A, temperatura média e umidade relativa do ar. São utilizadas 14 estações com informações de evaporação, 15 para temperatura média e 6 para umidade relativa.

A Figura 10 mostra a tela de abertura do módulo de evaporação onde o usuário tem a localização, sobre o mapa de bacias

hidrográficas do Estado, de todos os postos implantados no banco de dados. Ao posicionar o “mouse” sobre um determinado posto, visualizam-se quadros com as seguintes informações sobre as variáveis observadas: período de observação – ano inicial e final, altitude do local e o valor médio da variável climatológica em todo o período especificado.

Se o usuário pressionar o botão esquerdo do mouse serão acessados os bancos de dados observados no posto selecionado (Figura 11).

O objetivo específico deste módulo no contexto de sistema é a geração de um arquivo de evaporação, em um dado período, para ser utilizado nos programas de simulação. Pode-se gerar um arquivo com dados de evaporação medidos ou calculados em função de outras variáveis, a partir de trabalho realizado por Araújo Filho e Cirilo (1994). Uma outra opção é a utilização de um modelo para extensão da série de evaporação, quando o período de observação é curto (Figura 12).

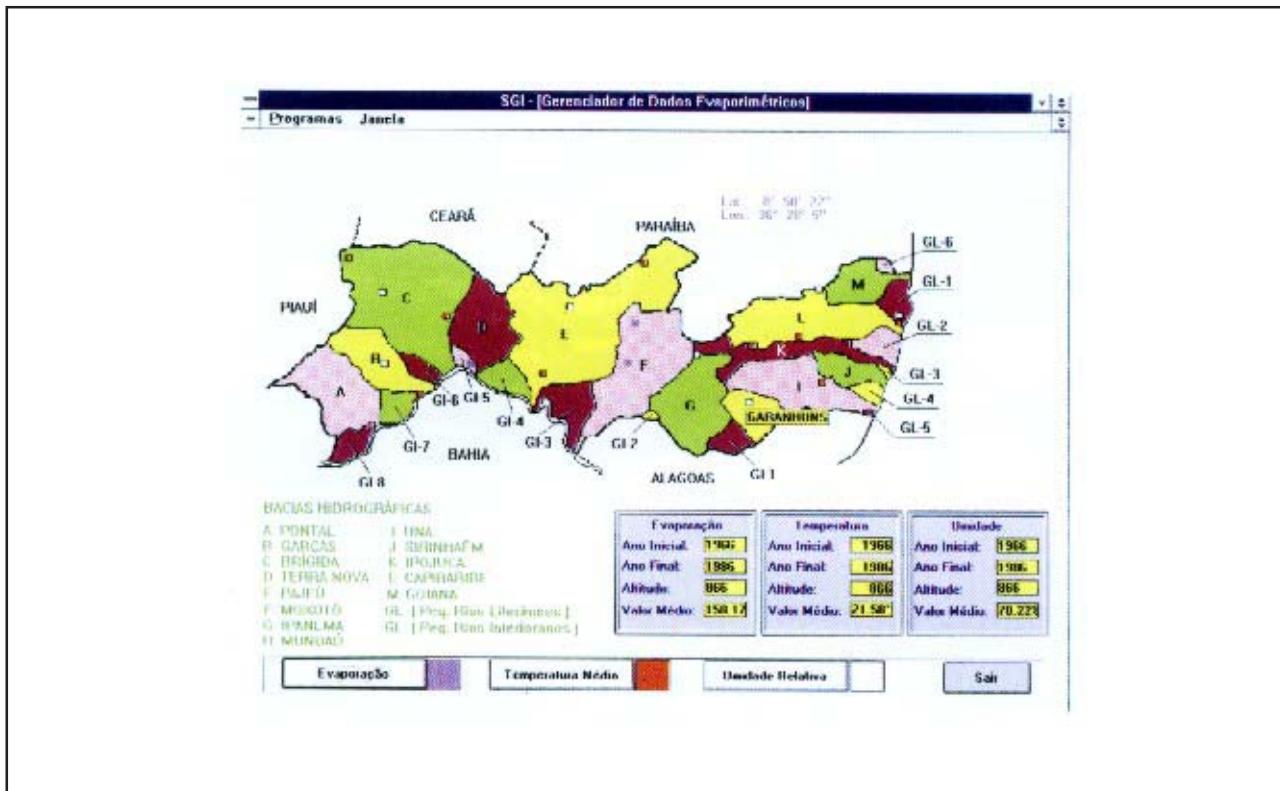


Figura 10. Gerenciador de dados evaporimétricos.

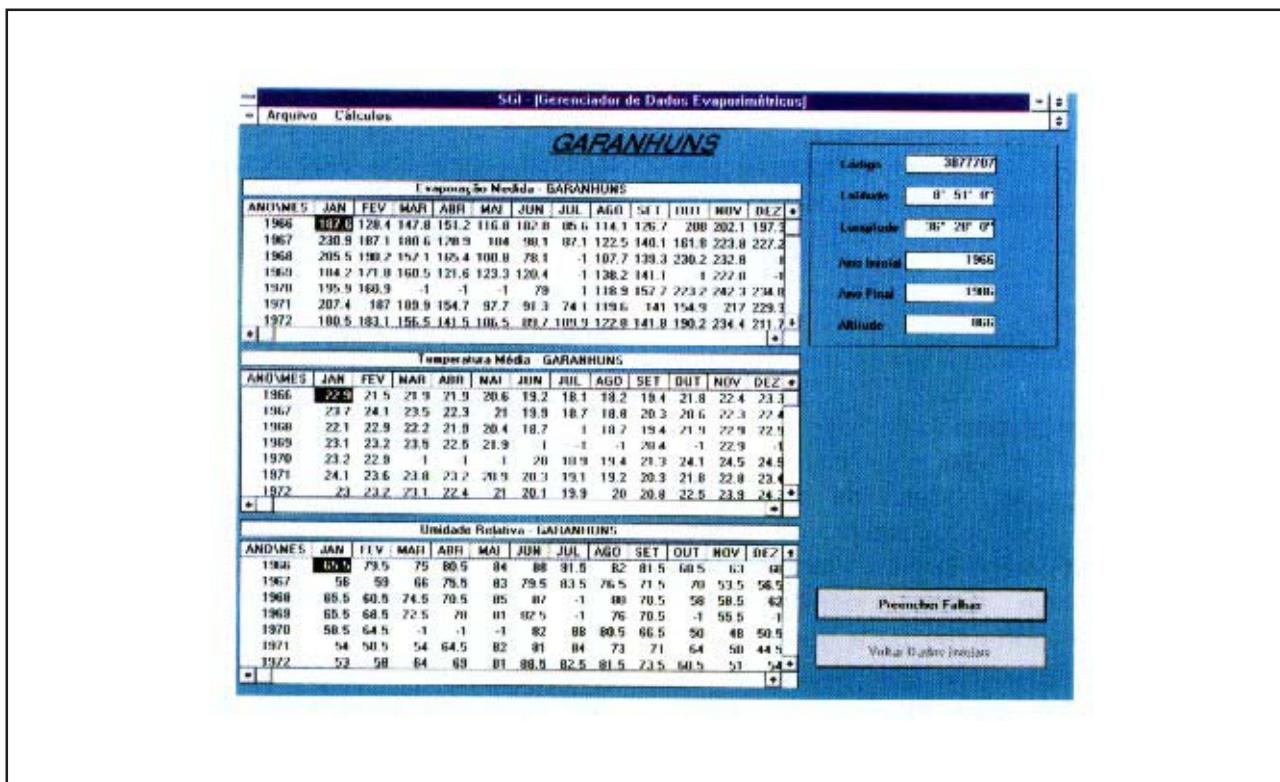


Figura 11. Dados de evaporação, temperatura e umidade relativa do ar.

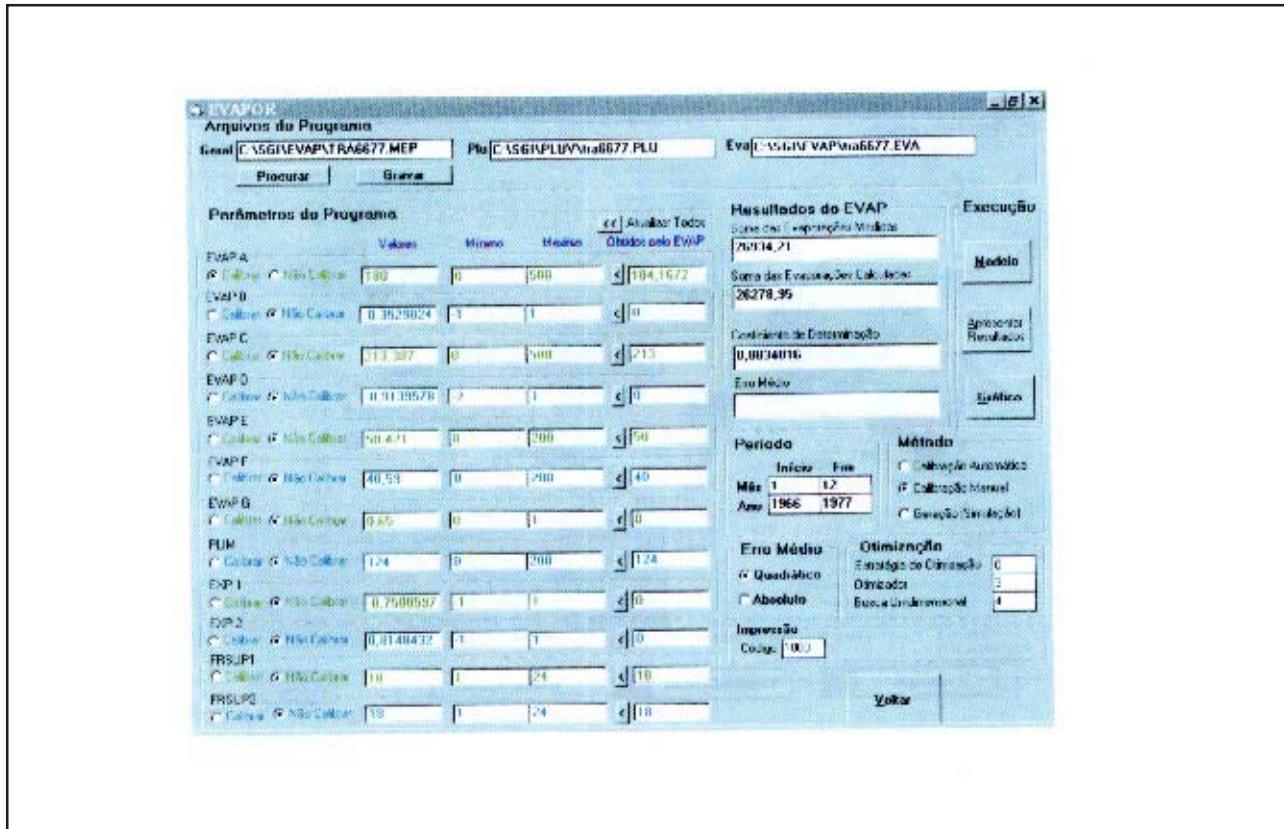


Figura 12. Extensão dos dados evaporimétricos.

Gerenciador de dados fluviométricos

Este módulo foi elaborado com base nos dados do Inventário Hidrometeorológico do DNAEE. Os dados de cota e vazão são visualizados e processamento de uma forma semelhante à do módulo evaporimétrico. A Figura 13 apresenta a visualização da rede fluviométrica do Estado.

Modelos de simulação

O emprego de modelos de simulação para reproduzir os processos do ciclo hidrológico é uma prática largamente difundida nos dias de hoje. Essas técnicas são particularmente importantes para geração de séries sintéticas de vazão nos rios onde os registros históricos são insuficientes para desenvolver adequadamente as análises e projetos de intervenções.

Numa primeira fase, o SGI incorpora as versões diária e mensal dos modelos de

simulação IPH-II (Tucci, Sánchez e Lopes, 1981; Tucci, Damiani e Peritt, 1990) e SMAP (Braga, Conejo e Lopes, 1981). Esses modelos foram escolhidos pelo seu largo emprego em diversas regiões do país. As versões diárias dos dois modelos (e até empregando intervalo de tempo menor, no caso do IPH-II) tem-se mostrado razoavelmente adequadas para as características do Estado. A versão mensal do SMAP sofreu profundas modificações na equações que regem os processos de fluxo, perdendo a simplicidade que era um dos pontos fortes do modelo, mas tornando-o mais adequado para aplicação no semi-árido (Cirilo et alli, 1992).

Dada a versatilidade de comunicação do sistema, outros modelos poderão facilmente ser inseridos na análise. Para calibração dos parâmetros dos modelos foi inserido no SGI o ADS (Automated Design Synthesis), poderoso programa de otimização desenvolvido na Universidade da Califórnia (Vanderplaats e Sugimoto, 1986).

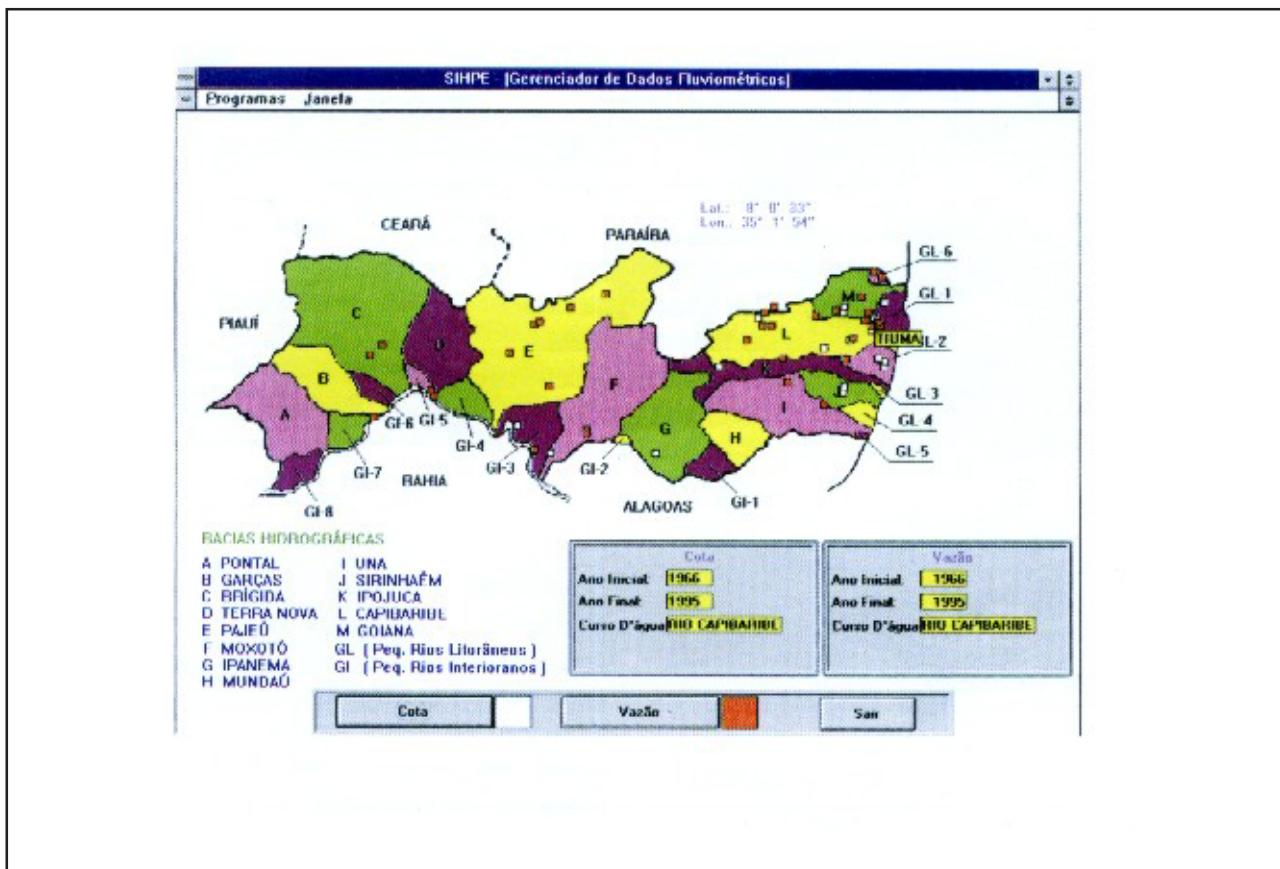


Figura 13. Gerenciador de dados fluviométricos.

As Figuras 14 e 15 mostram menus de controle do módulo simulação hidrológica e resultados de aplicação do modelo SMAP modificado à bacia do Rio Brígida, a partir dos resultados dos outros módulos do SGI.

Módulo de operação de reservatórios

O modelo de operação de reservatórios é fundamentado na equação da conservação da massa e pode simular inúmeros reservatórios, um a um, de montante para jusante dentro da bacia hidrográfica estudada. Esse modelo foi concebido de forma a, mediante regras de operação estabelecidas, avaliar o risco de colapso dos reservatórios existentes ou projetados, permitindo o estabelecimento de níveis de alerta e rationamento da água.

Os dados de entrada podem ser diários e mensais. A saída pode ser dada para cada

período de simulação, obtendo-se a cota do reservatório, vazões afluente e efluente, precipitação, evaporação e vertimento.

O modelo de operação de reservatórios já possui um módulo que permite avaliar a salinidade da água, fator importante nas regiões Agreste e Sertão do Estado e contará, em breve, com outros módulos de qualidade de água que avaliem a concentração de outros parâmetros como oxigênio dissolvido, DBO e coliformes fecais.

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS BANCOS DE DADOS

Nas primeiras versões do SGI os dados hidrometeorológicos eram armazenados em grandes arquivos com padrão ASCII, com localizadores para que o programa gerenciador tivesse acesso de forma mais eficiente a um dado período da

Análise de Freqüência Conjugada

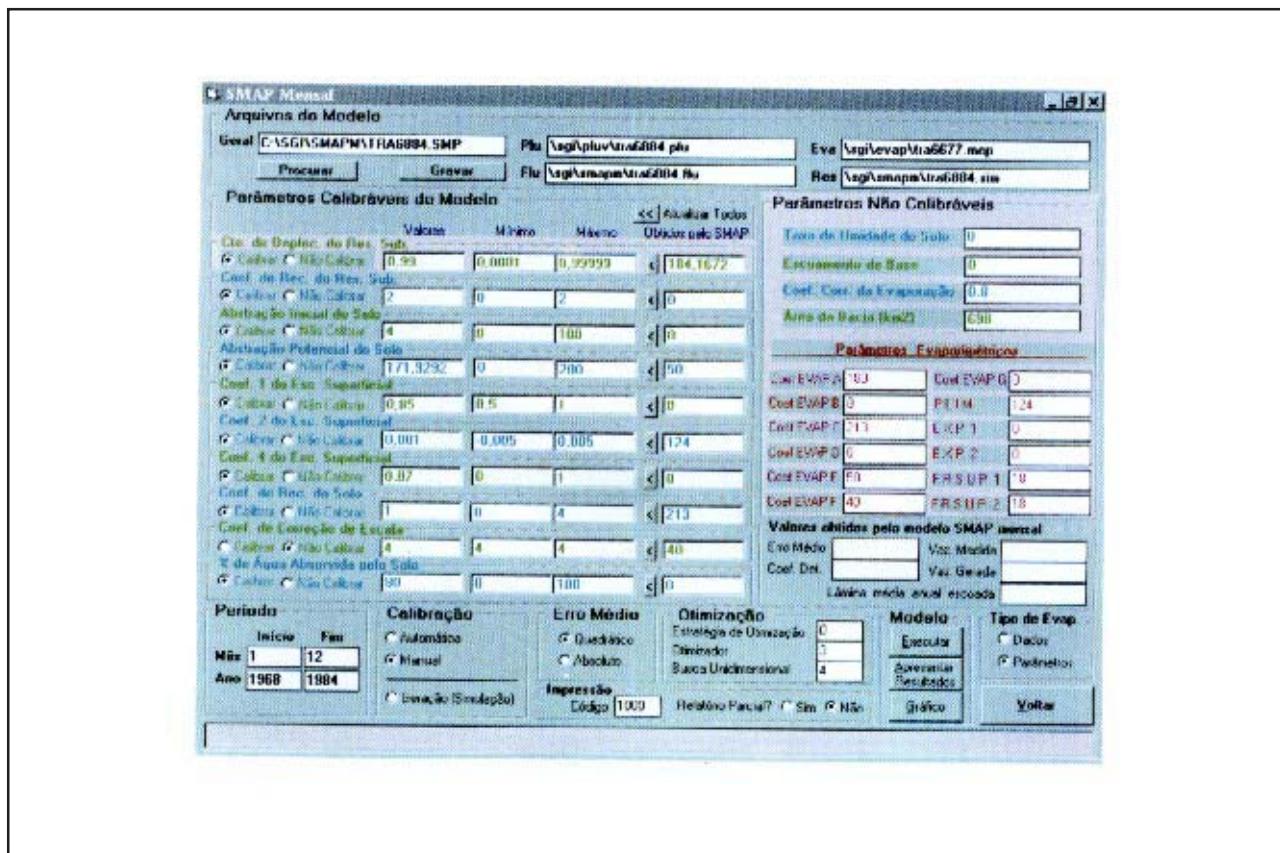


Figura 14. Modelos de simulação - parâmetros.

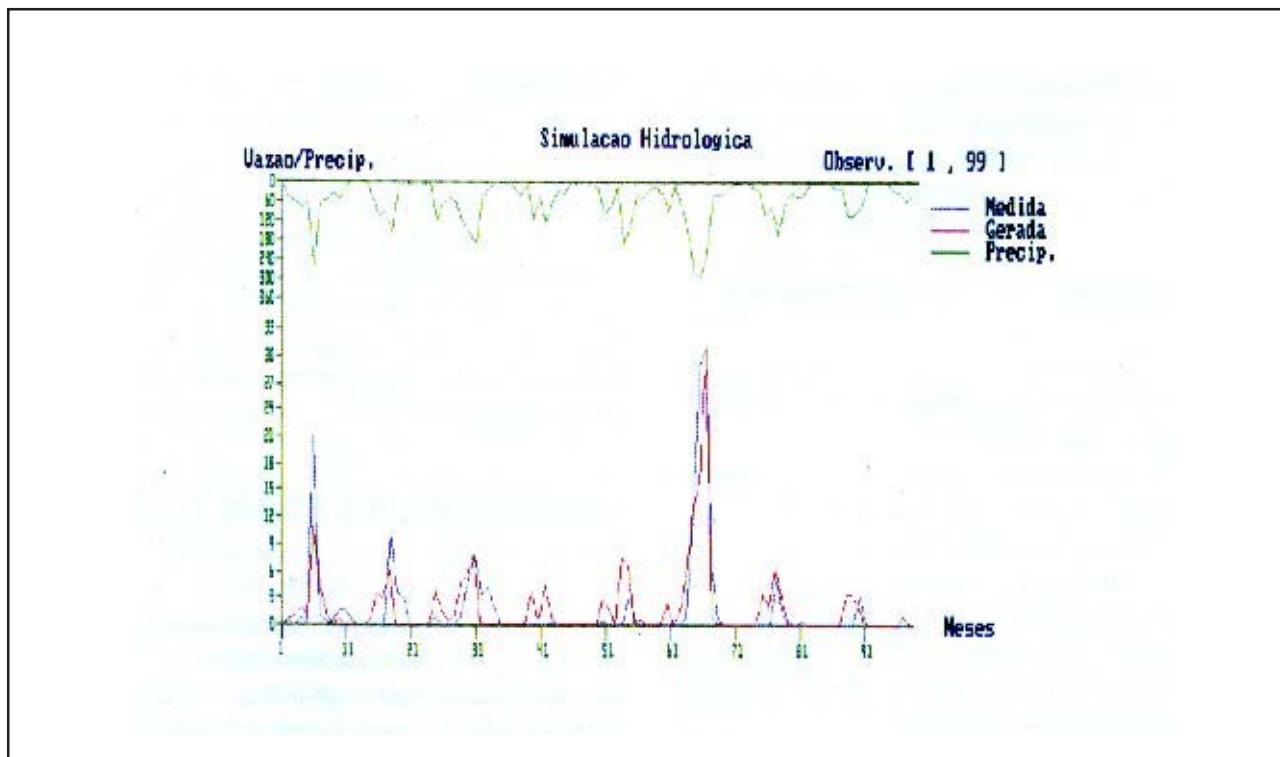


Figura 15. Simulação para a bacia do Brígida.

série histórica de um certo posto, sem ler todo o arquivo.

No presente, toda a base de dados tem progressivamente sido implantada em ACCESS, banco de dados da Microsoft, de total comunicação com o programa. Isso permite o aproveitamento da estrutura do banco de dados para sua alimentação, tratamento das informações e outros procedimentos em paralelo.

As informações sobre qualidade das águas nos rios e reservatórios do Estado estão sendo implantadas em ACCESS e serão processadas em versão futura do SGI.

CONCLUSÃO

O Sistema Gerencial de Informações Hidrológicas de Pernambuco tem-se configurado como de grande importância para a administração e o planejamento de recursos hídricos do Estado. Nesse início do processo de gestão, o SGI tem gerado de forma dinâmica subsídios à decisão em projetos, intervenções e administração dos recursos hídricos e tem sido utilizado de forma intensiva na avaliação da potencialidade e disponibilidade hídrica do Estado. Atualmente o SGI está sendo integrado como um subsistema do Sistema de Informações de Recursos Hídricos de Pernambuco.

Algumas etapas importantes do sistema estão em fase de desenvolvimento e implementação, como:

- tratamento dos dados históricos de chuva e vazão;
- inserção de séries históricas de qualidade da água em rios e reservatórios;
- implementação de dados relativos a outras variáveis meteorológicas;
- automação do processo de avaliação dos parâmetros dos modelos de simulação (uso de imagens de satélite para avaliação de cobertura vegetal e impermeabilização dos solos, parâmetros de infiltração a partir de levantamento hidropedológico dos

solos já realizado e digitalizado para todo o Estado);

- regionalização de parâmetros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a tantos que contribuíram ao longo do desenvolvimento do SGI, particularmente bolsistas de iniciação científica, tanto no Laboratório de Hidráulica da UFPE como na Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco. Agradecem em especial à Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal e à SUDENE, que com seu apoio proporcionaram a estrutura necessária ao desenvolvimento do trabalho. Agradecem ainda às entidades que forneceram e continuam a fornecer os dados que alimentam o SGI, como o IPA/Secretaria de Agricultura de Pernambuco, DNAEE, COMPESA, SUDENE e CPRH.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO Filho, P. F. e CIRILO, J. A., 1994. Regionalização da Evapotranspiração para o Estado de Pernambuco. II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Fortaleza, CE
- BALTAR, A. M. e CIRILO, J. A., 1995. Um Sistema Gerencial de Informações Hidrológicas. XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e II Simpósio de Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Recife, PE
- SANTOS, D. F. e SIMABUGURO, M. F. R., 1995. Sistema de Informações Hidrometeorológicas "MSDHD". XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e II Simpósio de Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Recife, PE
- TUCCI, C.E.M., SANCHEZ, J. e SIMOES LOPEZ, J., 1981. Modelo IPH II de Simulação Precipitação-Vazão na Bacia: Alguns Resultados. IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Fortaleza, CE
- LOPES, J.E.G., BRAGA JR, B.P.F. e CONEJO, J.G.L., 1981. Simulação Hidrológica: Aplicações de um Modelo Simplificado. IV

- Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Fortaleza, CE
TUCCI, C.E.M.; DAMIANI, A. e PERITT, R., 1990. Potenciais Impactos no Escoamento devido a Modificação Climática: Avaliação Preliminar, Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, v.6 n.1, p. 65-80
VANDERPLAATS, G.N. e SUGIMOTO, H., 1986. A General-Purpose Optimization Program for Engineering Design, Computers & Structures, v.24, n.1, p. 13-21
CIRILO, J. A., AZEVEDO, J. R. G. e MONTENEGRO, S. M. G. L., 1992. Modelos de Simulação Hidrológica Aplicados à Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco. I Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Recife, PE

Integrated Data Processing for Hydrological Analysis

ABSTRACT

This work describes an integrated system for hydrological analysis, created to improve the development of specific studies and catchment water resources plains.

The system includes the following components:

- *data bank: daily and monthly precipitation data of 472 raingauges of Pernambuco and neighbourhood since 1911; river flow and level records; evaporation, temperature, air humidity and wind speed historical series; geographic information;*
- *hydrological information processors: hydrological data analyzers; calibration/simulations of catchment behaviour; reservoir operation simulation;*
- *post-processors.*