

# Mapeamento Digital do Sistema Aquífero Cárstico, no Sítio de Tranqueira, Região Metropolitana de Curitiba

ANTÔNIO JOSÉ BERUTTI VIEIRA<sup>1</sup>  
ROBERTO DE ALENCAR LOTUFO<sup>2</sup>  
MILTON DE AZEVEDO CAMPOS<sup>1</sup>  
HILTON ARON MASUKO<sup>1</sup>  
FRANCO AMATO<sup>1</sup>  
QUINTINO DALMOLIN<sup>1</sup>  
LUCIENE STAMATO DELAZARI<sup>1</sup>  
DEISE REGINA LAZZAROTTO<sup>1</sup>  
JOSÉ LEANDRO MORAES<sup>1</sup>  
ERNANI FRANCISCO ROSA FILHO<sup>3</sup>  
ELAINE A. BONACIM<sup>3</sup>  
DULCE MACHADO BUENO<sup>1</sup>  
HENRIQUE FIRKOWSKI<sup>1</sup>  
MARCELO CARVALHO DOS SANTOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup>UFPR- Departamento de Geociências, Setor de Tecnologia  
Jardim das Américas, s/n, 81531-970 Curitiba, PR, Brasil  
{berutti,miltonac,dalmolin,firk,dulce}@geoc.ufpr.br

<sup>2</sup>UNICAMP-Faculdade de Engenharia Elétrica,  
Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial  
Caixa Postal 6101, 13081 Campinas, SP, Brasil  
lotufo@dca.fee.unicamp.br

<sup>3</sup>UFPR- Departamento de Geologia, Setor de Tecnologia  
Jardim das Américas, s/n, 81531-970, Curitiba, PR, Brasil  
{ernani,bonacim}@geol.ufpr.br

<sup>4</sup>ON - Observatório Nacional, Departamento de Geofísica  
Rua General José Cristino 77, 20921-400, Rio de Janeiro - RJ  
mcsantos@dge1.on.br

**Abstract.** This paper presents the methodological features that we have proposed to develop the Digital Mapping Project of the Karstic Aquifer System - MAPKAS -, which has used data collected at Tranqueira site, near Curitiba, Paraná. The MAPKAS is composed by four subprojects: Satellite Positioning (SAP), Digital Image Processing (DIP), Volumetric Interpolation (VOI), and Visualization and Analysis (VISA). To determine 3D coordinates of the nineteen artesian wells (subproject SAP), on the area of interest, it was used the NAVSTAR-GPS technology. The static approach has been applied, though fast static and pseudo kinematic approaches have also been considered. Contours have been digitized from the topographic maps (1/10000) with the MaxiCAD system, generating digital elevation models with using the SPRING system (subproject DIP). From lithologic profiles of the analysed wells, experiments in subproject VOI have been produced, from the GSLIB package, which run under KHOROS environment. Finally, for the subproject VISA, we intend to use (in the future) some tools available in SPRING and GRASS systems. However, if the utilization of SPRING and GRASS turn out to be infeasible, we plan to develop our own tools, using the KHOROS environment.

**Keywords:** Geographic Information System, Global Positioning System, Digital Image Processing.

## 1 Introdução

Uma questão importante em regiões metropolitanas é o abastecimento de água.

Segundo Lisboa (1995), os adensamentos urbanos tendem a se tornar desordenados, acrescentando-se a isso o fato de existir incompatibilidade entre crescimento populacional e reserva de áreas de mananciais, tem-se como consequência, que os limites de suporte físico nestas áreas, em curto espaço de tempo, são atingidos. Ao se considerar uma taxa de crescimento médio de 3% ao ano para a região de Curitiba, o mesmo autor estima uma demanda de abastecimento de água para o ano 2015 de cerca de 100% dos valores de hoje. Teria-se de passar de uma taxa de 4,92 m<sup>3</sup>/s para 10,02 m<sup>3</sup>/s.

Rosa Filho (1995) relata que hoje já existe um déficit de água de 20%, em Curitiba. Em acréscimo, Lisboa (1995) afirma que já se está em vias de exaustão com o atual sistema de abastecimento, composto pelas águas superficiais da Bacia do Alto Iguaçu. Com isso, torna-se fundamental que se estabeleçam alternativas para este abastecimento o quanto antes.

Lisboa (1994) reporta que a exploração dos aquíferos, no Paraná, já responde por 18% do abastecimento urbano, e que no entanto, tem um potencial para chegar a 85%. As suas principais vantagens estão em dispensar o tratamento químico da água e ter baixo custo de exploração (80% mais barato). Contudo, regiões de aquíferos podem ser de risco geotécnico, caso se realize sua exploração sem um estudo hidrogeológico detalhado.

## 2 Definição do Problema

Localizado no município de Almirante Tamandaré, no Estado do Paraná, o Sistema Aquífero Cárstico (SAC), no sítio de Tranqueira, está compreendido entre as latitudes e longitudes (25°20'00"S; 49°18'45"W) e (25°12'30"S; 49°15'00"W), e tem área aproximada de 34,8 km<sup>2</sup>.

O Curso de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), e a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) vêm realizando estudos nesta região, a partir de 1993, com o objetivo de determinar os parâmetros físico-geológicos que permitam a caracterização do SAC. Com estes parâmetros, a intenção é estabelecer a estratégia mais adequada para uma exploração sustentada do aquífero. Como principais parâmetros do aquífero, pode-se destacar sua geometria e sua dinâmica no ciclo hidrológico, Zojer (1995).

Para esses estudos, no sítio de Tranqueira, foram perfurados 20 poços tubulares (com profundidades variando de 30 a 120m), além de se ter cadastrado 20 poços cacimba e 6 minas. Para 19 poços tubulares, dispõe-se de perfis litológicos e análises químicas. Entretanto, suas posições espaciais são conhecidas somente de forma expedita (coordenadas extraídas de cópias heliográficas de cartas topográficas na escala de 1:10000), devendo-se, otimisticamente falando, esperar uma precisão posicional de 5 m. Na Figura-1, apresenta-se a distribuição dos 19 poços tubulares, dentro da região em estudo.

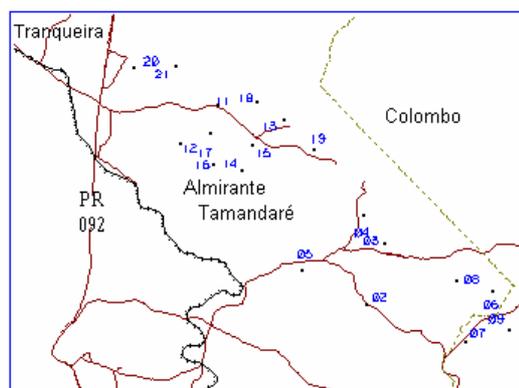


Fig. 1 - Distribuição dos poços tubulares  
(escala aproximada: 1:95.000)

Embora o fenômeno em estudo tenha características tridimensionais e dinâmicas, os tipos de coleta de dados e análises que estão sendo conduzidas, vêm quase se restringido aos modos unidimensional e bidimensional. Por exemplo, perfis litológicos, testes de bombeamento, medidas de vazão (1D) e análises 2D por meio de fotointerpretação. Isto se deve, principalmente, à falta de uma base cartográfica digital e de ferramentas adequadas a análise e visualização destes dados.

Nesse sentido, várias tecnologias oferecem elegantes soluções para estudos de fenômenos espaciais. Por exemplo, com o Posicionamento por Satélites pode-se obter com precisão na ordem do centímetro as coordenadas X,Y,Z de cada um dos poços. Com o Processamento de Imagens Digitais é possível se obter modelos numéricos de terreno e fazer análises multispectrais de imagens obtidas a partir de satélites. Com a Visualização Científica dispor de ferramentas e de ambientes para a condução de análises no contexto da aplicação.

A proposta de abordagem do problema exposto foi na forma de um projeto de pesquisa multidisciplinar e interestadual. Tal projeto foi denominado Mapeamento Digital do Sistema Aquífero Cárstico

(MAPSAC). Estão envolvidos: o Departamento de Geociências/Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e o Departamento de Geologia/Curso de Pós-Graduação em Geologia da UFPR, o Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial/Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da FEE-UNICAMP e o Departamento de Geofísica/Observatório Nacional.

### 3 Objetivo

Com o presente trabalho, tenciona-se apresentar toda a composição do MAPSAC e as metodologias propostas em cada uma das etapas.

### 4 Etapas da Pesquisa

O MAPSAC está dividido em quatro sub-projetos:

- Posicionamento por Satélite (POS)
- Processamento de Imagens Digitais (PID)
- Interpolação Volumétrica (IVO)
- Visualização e Análise (VISA)

#### 4.1 - Sub-projeto de Posicionamento por Satélite

Com esta etapa, pretende-se, inicialmente, determinar as coordenadas X,Y,Z dos 19 poços tubulares. Entretanto, mais alguns pontos serão levantados tendo em vista, principalmente, o processamento de imagens digitais.

A tecnologia de posicionamento é conhecida pela sigla GPS (*Global Positioning System*) e o método que se está utilizando é o estático relativo, onde dois rastreadores são usados, simultaneamente, sendo que um deles é colocado sobre uma posição previamente conhecida (estação permanente PARANÁ, no Centro Politécnico-UFPR) e o outro sobre a posição a ser determinada. Os rastreadores são do tipo geodésico e o período de rastreio médio é de 120 minutos, a precisão posicional estimada é da ordem de 3 cm, Campos (1995).

O cálculo das coordenadas X,Y,Z de cada ponto rastreado foi realizado com o programa GPSurvey da TRIMBLE, disponível no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, da UFPR.

Dos 19 poços tubulares, ainda restam determinar as coordenadas de 4 deles, devido às dificuldades impostas pela existência de vegetação de porte ao redor desses poços.

#### 4.2 - Sub-projeto de Processamento de Imagens

Nesta etapa estão contidos os trabalhos de Modelagem Numérica de Terreno e Processamento Digital.

A intenção é, por meio do sistema MaxiCAD, digitalizar curvas de nível de 9 folhas topográficas, na escala 1/10000. Em seguida, modelar numericamente toda a superfície, com as ferramentas já disponíveis no sistema SPRING. Até o momento, já foram digitalizadas 7 folhas.

Com o trabalho de Processamento Digital, pretende-se aplicar técnicas de realce (histogramas, equalização e espalhamento), para melhoria da imagem, e técnicas de classificação supervisionada a fim de identificar as feições geológicas, importantes para a caracterização do aquífero.

#### 4.3 - Sub-projeto de Interpolação Volumétrica

Em geral, em Geociências, os dados se distribuem espacialmente, tendo, portanto, características tridimensionais. Usualmente, contudo, os estudos são conduzidos considerando o fenômeno como sendo 1D ou 2D, devido às dificuldades de coleta de dados e a falta de ferramentas que permitam análises 3D. Normalmente, os dados são coletados segundo um padrão amostral irregular, e acrescenta-se a isto a característica de serem esparsos. Considerando-se que as técnicas de visualização trabalham com imagens, ou seja, dados regularmente espaçados, uma etapa que torna-se relevante no processo de análise de dados espaciais é a forma como as amostras são interpoladas para gerar a imagem.

Como é reportado por Ribeiro (1995), dados em Geociências apresentam um comportamento misto, ou seja apresentam tanto componente aleatória como componente estrutural. Dessa forma, não é possível se tratar a questão de interpolação volumétrica de maneira trivial, merecendo, portanto, uma investigação mais profunda, principalmente no que diz respeito à utilização das técnicas que incorporem estas duas componentes. As técnicas de Geoestatística vêm-se apresentando como um alternativa elegante à esta questão, em particular, a técnicas de Krigagem e Simulação Estocástica, Almeida (1995) e D'Agostino (1993).

Para conduzir a interpolação volumétrica, adaptou-se um grupo de rotinas do pacote GSLIB (*Geostatistical Software Library*), desenvolvido na Universidade de Stanford, para rodar sob o ambiente gráfico KHOROS, onde se destaca a facilidade com que as ferramentas do KHOROS podem ser auto

modificadas para o contexto da aplicação, ver Rasure (1990).

#### 4.4 - Sub-projeto Visualização e Análise

No momento, nenhuma frente dentro deste sub-projeto foi realmente aberta, embora a intenção seja utilizar as ferramentas disponíveis no sistema SPRING e/ou GRASS e, se necessário, desenvolver alguns aplicativos dentro do ambiente gráfico do sistema KHOROS.

#### 5 Considerações Finais

Podemos dizer que a situação atual do Projeto de Mapeamento do Sistema Aquífero Cárstico está na fase de coleta de dados, com resultados preliminares nos sub-projetos de Posicionamento por Satélite, Processamento de Imagens e Interpolação Volumétrica.

No entanto, entendemos que mais importante do que os poucos resultados de que dispomos até agora, é a possibilidade de integrar diferentes Instituições e áreas do saber.

Por outro lado, acreditamos que muitos desafios técnicos estarão por vir em cada sub-projeto, sendo que o maior deles será o de manter o grupo integrado e trabalhando de forma motivada.

#### Referências

Almeida, A. S. e Bettini, C. *Curso de Geoestatística Aplicada*. Curso ministrado no período de 15-maio/23-junho na UFPR, 1995.

D'Agostino, V.; Stanghellini, M. e Trisorio-Liuzzi A. FORTRAN Program for Preliminary Extraction of Drainage Networks Based on a DEM. In.: *Computers & Geosciences*. v(19). 7, pg 981-1006, 1993.

Campos, M. A. *Comunicação verbal*. 1995

Lisboa, A. A. e Bonacim, E. A. Sistema Aquífero Cárstico - Reservatório Elevado da Região Metropolitana de Curitiba. In.: *SANARE - Revista Técnica da Sanepar* (no prelo). 5 pg. 1995.

Lisboa, A. A. Aquíferos do Paraná. In.: Informativo n+1. *Associação Brasileira de Águas Subterrâneas-Grupo Paraná*. Dezembro-1994.

Rasure, J.; Argiro, D.; Sauer, T. e Williams, C. Visual Language and Software Development Environment for Image Processing. In.: *International Journal of Imaging Systems and Technology*, v(2), pg. 183-199, 1990.

Ribeiro Junior, P. J. *Métodos Geoestatísticos no estudo da Variabilidade Espacial de Parâmetros do Solo*. Piracicaba, 1995. 99p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ Universidade de São Paulo).

Rosa Filho, E. F. A crise do ouro inodoro: o maior problema do próximo século. *Jornal da Indústria e Comércio*. 10/07/1995.

Zojer H. *Comunicação Verbal*. Palestrista convidado para Seminário sobre águas subterrâneas. Período de 19/23 junho de 1995, em Curitiba. Promoção da UFPR e SANEPAR.