

---

# Mapeamento do Contorno Estrutural do Embasamento da Bacia Sedimentar de Curitiba - PR

*Structural contour mapping of the sedimentary basin basement of Curitiba, Paraná*

Eduardo Salamuni\*

Hans Dirk Ebert\*\*

José Vicente Elias Bernardi\*\*\*

Maurício da Silva Borges\*\*\*\*

---

## RESUMO

A bacia sedimentar de Curitiba, de idade Plio-Pleistocênica, está localizada na porção centro sul do Primeiro Planalto paranaense, abrangendo a totalidade do município de Curitiba (PR) e parte de municípios circunvizinhos. Apresenta um preenchimento sedimentar raso, constituído pela formação Guabirotuba (BIGARELLA e SALAMUNI, 1962), distribuindo-se por uma área de cerca de 3.000km<sup>2</sup>. Sua geometria interna, ainda não elucidada, é alvo de investigações mais detalhadas que estão permitindo relacionar sua evolução geológica a movimentos tectônicos cenozóicos. Este trabalho apresenta os resultados de uma integração de dados de superfície e de subsuperfície, processados por métodos estatísticos (análise multivariada), que permitiram caracterizar com mais segurança o arcabouço morfoestrutural do substrato da bacia. A análise dos dados geológicos levantados e georreferenciados foi realizada com *softwares* específicos, com a finalidade de gerar superfícies de tendências. Os dados espaciais utilizados neste estudo são dos seguintes tipos: a) *logs* de sondagem para água subterrânea (poços tubulares profundos), produzidos por empresas de sondagens; b) descrição de pontos de superfície do mapeamento geológico realizado pela CPRM (1977) e de levantamento de campo dos autores; c) descrição de pontos de sondagem geotécnica (CPRM, inédito), os quais serviram para a definição da cota do embasamento (ou da cota altimétrica do topo do embasamento). A partir destes dados foi montada uma matriz com cinco colunas: coordenada utm\_EW (x) e utm\_NS (y); cota altimétrica da superfície (z); cota altimétrica do contato entre o pacote sedimentar e o embasamento (k); isópaca (l). Para o estudo dos limites do embasamento foi utilizada a análise de superfície de tendências polinomiais de 2.º e 3.º graus para os dados de cota altimétrica; enquanto para os resíduos foi utilizado o método do inverso da distância ao quadrado (IQD). A análise de superfície de tendência polinomial de 3.º grau confirmou que o embasamento tende a estar mais exposto (ou menos profundo) nas porções NNW e SSE, explicando melhor a tendência dos dados através de uma elipse, com eixo de direção NE-SW, coincidente com a calha da bacia. As análises procedidas e as respectivas imagens oferecem um bom grau de certeza do modelo geométrico interno da bacia, permitindo a caracterização da morfoestrutura ou do contorno estrutural do embasamento da bacia de Curitiba com seus altos estruturais, responsáveis

\* UFPR - DEGEOL Curitiba (PR) / Pós-Graduação em Geologia Regional UNESP - DPM - Rio Claro (SP).

\*\*UNESP-IGCE-DPM - Rio Claro (SP).

\*\*\* Pós-Graduação em Geologia e Meio Ambiente - UNESP - DGA - Rio Claro (SP).

\*\*\*\* UFPA - Centro de Geociências - Belém (PA).

pela formação de depocentros isolados e assimétricos, e, conseqüentemente, do mapa de isópacas da bacia. Da mesma forma, foi possível traçar com maior grau de certeza curvas altimétricas que definem a superfície topográfica do terreno. Os resultados comprovam que a bacia de Curitiba é uma calha estrutural, alongada na direção NE-SW, compartimentada por altos e depocentros de direção NW-SE. A profundidade máxima atinge 85m, utilizando-se a cota 915m como cota de nivelamento de referência. Sua estruturação pode ter sido controlada por processos de reativação tectônica no Terciário (HASUI, 1990) e sua última dissecação é condicionada por processos neotectônicos (SALAMUNI e EBERT, 1994).

#### ABSTRACT

The sedimentary Curitiba basin is located in the Central-Southern part of the first Paranense plateau, and comprises Curitiba (PR), and part of the neighbour Municipalities (fig. 1). It is supposed to be of Plio-Pleistocene age. It has a shallow sedimentary fulfillment, represented by the Guabirota formation (BIGARELLA and SALAMUNI, 1962) which is distributed over a large area of about 3.000km<sup>2</sup>. The internal geometry, not entirely known yet, is actually object of detailed research, that shows its geological evolution to Cenozoic tectonic movements. For the purpose of this study the definition of the structural contour of the basement and their depo-centers is fundamental. This paper presents the results of the integration of surface and subsurface data, processed by statistical methods, which allowed a more precise definition of the morphostructural framework of the basement. For the analysis of the geological spacial data, specific softwares were used for statistical processing for trend surfaces analysis. The data used in this study are of following types: a) drilling logs for ground water; b) description of surface points of geological maps (CRPM, 1977); c) description of points of geotechnical drillings and down geological survey. The data of 223 drilling logs for ground water were selected out of 770 wells. The description files of 700 outcrops, as well as planialtimetric field data, were used for the localization of the basement outcrop. Thus, a matrix with five columns was set up: utm E-W (x) and utm N-S (y); surface altitude (z); altimetric cote of the contact between sedimentary rocks and the basement (k); isopachs (l). For the study of the basement limits, the analysis of surface trends of 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> degree polinomial for the altimetric data (figs. 2 and 3) were used. For the residuals the method of the inverse of the square of the distance (fig. 4) was used. The adjustments and the explanations of the surfaces were made with the aid of multiple linear regressions. The analysis of 3rd degree polinomial trend surface (fig. 3) confirmed that the basement tends to be more exposed towards NNW-SSE explaining better the data trend through an ellipse, which striking NE-SW and dipping SW axis coincides with the trough of the basin observed in the trending surface of the basement. The performed analysis and the respective images offer a good degree of certainty of the geometric model of the Curitiba Basin and of the morphostructure of its basement. The surface trend allows to sketch with a greater degree of confidence the structural contour of the topographic surface (figs. 5 and 6) and of the basement (figs. 7 and 8), as well as the delimitation of intermediate structural heights, which were responsible for isolated and asymmetric depocenters. These details are shown in the map of figures 9 and 10. Thus, the Curitiba Basin is made up by a structural trough stretching NE-SW, with maximum preserved depths of about 80m, which are separated by heights and depocenters striking NW-SE (fig. 11). These structural features seems to have been controlled by tectonic reactivation during the Tertiary (HASUI, 1990) and which younger dissection was conditioned by neotectonic processes (SALAMUNI and EBERT, 1994).

#### INTRODUÇÃO

A bacia sedimentar de Curitiba, de idade Plio-Pleistocênica, localizada na região metropolitana da cidade homônima, é preenchida pela formação Guabirota (BIGARELLA e SALAMUNI, 1962) e por depósitos quaternários holocênicos sobrepostos. O preenchimento sedimentar raso apresenta grande amplitude lateral ao longo de uma área de cerca de 3.000km<sup>2</sup>. Na região ocorrem depósitos de termos argilíficos e lamfíticos isolados, da mesma idade, preenchendo sub-bacias, ainda não convenientemente interpretados, tais como os sedimentos aflorantes no município de Tijucas do Sul, a sul de Curitiba.

Apesar dos aspectos sedimentológicos já terem sido detalhados por BECKER (1982), a geometria interna da bacia de Curitiba ainda não está elucidada. Investigações em curso estão permitindo demonstrar que sua evolução geológica esteve relacionada a movimentos tectônicos cenozóicos. Para esse estudo é fundamental a definição do contorno estrutural do embasamento da bacia e de seus depocentros, e neste trabalho são apresentados os resultados de uma integração de dados de superfície e subsuperfície, processados por métodos estatísticos, que permitiram definir com mais segurança o arcabouço morfoestrutural do embasamento. Esta caracterização, bem como a determinação de seu(s) provável(is) depocentro(s), auxiliam o reconhecimento e a definição de modelos tectônicos que explicam a formação e a deformação desta bacia.

Os objetivos principais deste trabalho foram a determinação do contorno estrutural do embasamento, da profundidade de seu contato com o pacote sedimentar sobreposto e a definição geométrica das áreas de maior profundidade, correspondentes aos depocentros da bacia. O padrão geométrico interno da bacia de Curitiba será visualizado através de mapas de contorno, bem como de modelos digitais de terreno (MDT), construídos com o auxílio de *softwares* específicos e sintetizados nas ilustrações geradas como produto final deste estudo.

## LOCALIZAÇÃO

A bacia sedimentar de Curitiba está localizada na porção centro sul do Primeiro Planalto paranaense, abrangendo a totalidade do município de Curitiba (PR) e parte dos municípios circunvizinhos de Colombo, Almirante Tamandaré, Pinhais, São José dos Pinhais, Campina Grande do Sul, Quatro Barras, Araucária e Fazenda Rio Grande. Localiza-se entre as coordenadas oeste de  $49^{\circ}00'$  e  $49^{\circ}35'$  e as coordenadas sul de  $25^{\circ}20'$  e  $25^{\circ}46'$ ; ou entre as UTM W (em km) 650 e 700 e UTM S (em km) 7200 e 7150 (fig.1).

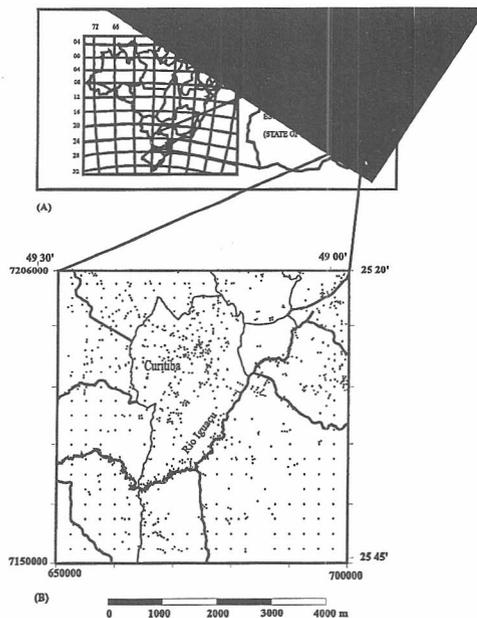


Fig. 1

Localização da área estudada (A) e dos limites municipais na área da bacia sedimentar de Curitiba. Os pontos referem-se à localização dos dados utilizados para a determinação das superfícies de tendência. *Localization of area (A) and related district boundaries (B). Dots represent localization of datas used tendence surface determination.*

## ASPECTOS FISIOGRAFICOS E GEOLÓGICOS DA BACIA DE CURITIBA

A região de Curitiba apresenta uma topografia pouco acidentada. LOPES (1966) e CANALI e MURATORI (1981) descreveram a morfologia atual como constituída por amplas colinas, “articuladas por talvegues” de baixas altitudes através de uma sucessão de patamares, cuja declividade é inferior a 6%. As encostas são dissecadas por talvegues menores que separam os pedimentos remanescentes. Os vales são muito abertos e de fundo plano. Alguns trechos da drenagem formadora e/ou afluente do rio Iguaçú correm sobre o embasamento, tendendo a formar vales mais esculpidos e mais profundos. Aqueles autores caracterizam como dendrítico a subdendrítico o padrão das drenagens, embora os coletores principais do rio Iguaçú possuam um padrão subparalelo, aproximadamente na direção N-S.

Em relação aos constituintes geológicos, a bacia de Curitiba é formada por três unidades litoestratigráficas (BIGARELLA e SALAMUNI, 1962):

- a. embasamento, constituído por rochas metamórficas do Arqueano e Proterozóico Inferior (complexo Cristalino);
- b. depósitos sedimentares (argilitos e arcósios, principalmente), considerados Plio-Pleistocênicos (formação Guabirotuba);
- c. depósitos alúvio-coluvionares (depósitos holocênicos de várzea), relacionados ao retrabalhamento dos sedimentos mais antigos pelos rios existentes na área.

### BASE DE DADOS

Os dados geológicos e altimétricos levantados foram processados através de softwares, tais como o SURFER For Windows, v.6.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1995) e o SYSTAT for Windows, versão 5.01 (SYSTAT, INC., 1993).

Para a realização de cálculos de superfícies de tendência, utilizou-se dados espaciais, obtidos a partir dos seguintes tipos de informações:

- a. logs de sondagem para água subterrânea (poços tubulares profundos);
- b. descrição de pontos de superfície do mapeamento geológico da folha Curitiba (CPRM, 1977) e de levantamento geológico realizado para fins deste trabalho;
- c. descrição de pontos de sondagem geotécnica (CPRM, inédito).

Os dados de sondagem para água subterrânea foram selecionados a partir de um universo de 770 poços tubulares profundos, perfurados entre os anos de 1950 e 1990, no município de Curitiba e suas circunvizinhanças, por diversas companhias sondadoras, principalmente pela Cia. T. Janér.

Foram selecionados, do universo total de dados, 224 logs de sondagens, que possibilitaram a determinação da cota do contato entre o embasamento e o pacote sedimentar em cada um destes pontos, visto que a espessura de sedimentos e a cota da superfície de cada um deles são conhecidas.

Em uma segunda etapa estas sondagens foram georeferenciadas. Embora alguns desses poços já tivessem sido localizados em trabalho interno do IAP (Instituto Ambiental do Paraná), o posicionamento espacial de vários deles precisou ser melhor estabelecido. Desta forma, buscou-se, através de levantamento de campo, a correção da localização daqueles poços, bem como a anotação de poços ainda não localizados. O trabalho de campo contou com o uso de um GPS de mão, cuja imprecisão (ou desvio padrão) está entre 20 e 100m.

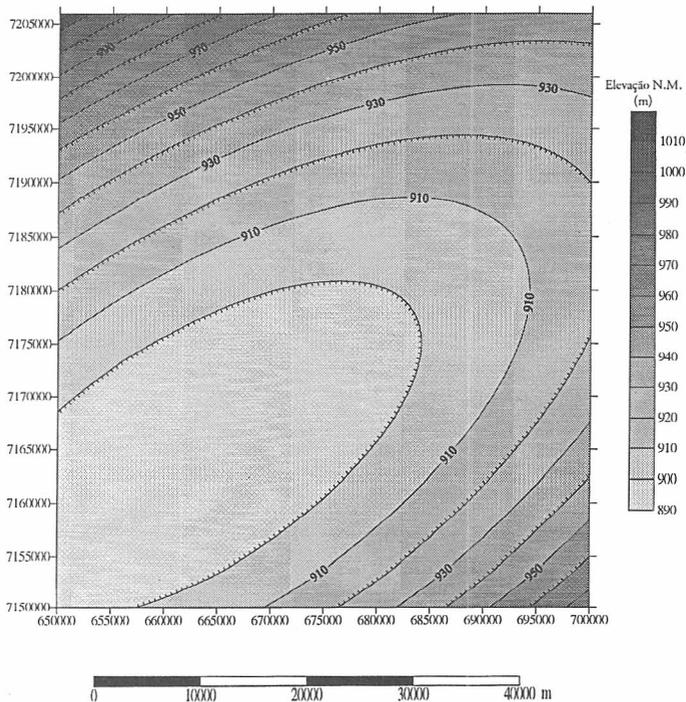
Depois destes procedimentos, foi possível a utilização daqueles dados de sondagens que apresentam um bom grau de confiabilidade nas suas descrições litoestratigráficas e também em suas localizações. Acrescidos a esses dados foram utilizados 476 pontos de levantamentos geológicos de superfície, que serviram para a localização da cota do embasamento aflorante, principalmente na porção norte da área; e de 700 pontos descritos em fichas de sondagens geotécnicas realizadas pela CPRM, que foram úteis na determinação da cota do embasamento na porção sul da área.

Após a preparação dos dados, montou-se uma matriz com cinco colunas: (1) coordenada utm E-W (x); (2) coordenada utm N-S (y); (3) cota da superfície (z); cota (4) do contato entre o pacote

sedimentar e o embasamento (k) e (5) isópaca (l), contendo o universo de 1.400 dados, cuja distribuição é mais ou menos homogênea por toda a área (fig.1). A aplicação dos métodos analíticos, detalhados a seguir, permitiu a interpolação dos dados para a construção das superfícies de tendência locais.

## MÉTODO PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o estudo do substrato da bacia aplicou-se a análise de superfície de tendências polinomiais de 2.º grau (fig. 2) e 3.º grau (fig. 3). Para os resíduos foi utilizado o método do inverso da distância ao quadrado (IQD) (DAVIS, 1986), através do SURFER for Windows, versão 6.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1995). Os ajustes das superfícies foram feitos a partir de regressões lineares múltiplas com o SYSTAT for Windows, versão 5.01 - Módulo MGLH (SYSTAT, INC., 1993).



**Fig. 2**

Superfície de tendência polinomial de 2.º grau, com dados de cota do embasamento, através do SURFER For Windows, v. 6.0 (GOLDEN SOFTWARE). *Second degree polynomial surface, with elevation of the basement background, throughout SURFER For Windows, v. 6.0 (GOLDEN SOFTWARE)*

O método da análise de superfície de tendências regionais foi utilizado para evidenciar os padrões de variação. Este procedimento permite definir, através do mapa de valores residuais, as grandes e sistemáticas mudanças existentes na área, além daquelas pequenas flutuações, aparentemente não ordenadas, que se impõem aos padrões mais gerais (DAVIS, 1986). Com esta análise foi possível separar os dados em dois componentes: um de natureza regional, representado pela própria superfície, e outro que revela as flutuações locais.

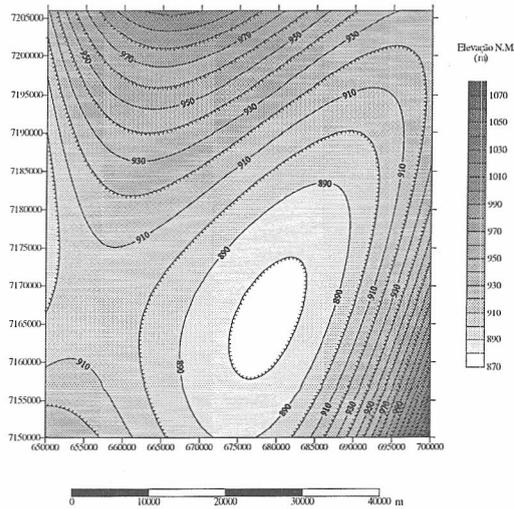


Fig. 3

Superfície de tendência polinomial de 3.º grau, com dados de cota do embasamento, através do SURFER For Windows, v. 6.0 (GOLDEN SOFTWARE). *Third degree polynomial surface, with datas of elevation of the basement background, throughout SURFER For Windows, v. 6.0 (GOLDEN SOFTWARE).*

Estas superfícies e os respectivos desvios foram examinados para verificar as suas implicações espaciais. Para detecção de anomalias locais, foram calculadas as superfícies de grau 2 com os respectivos mapas de resíduos positivos e negativos. Através do mapa de resíduos verificou-se que os dados estão pouco ajustados na porção leste e noroeste da área. Nesta última, todavia, o ajuste é melhor. No todo, a região apresenta um bom ajuste de dados (fig. 4).

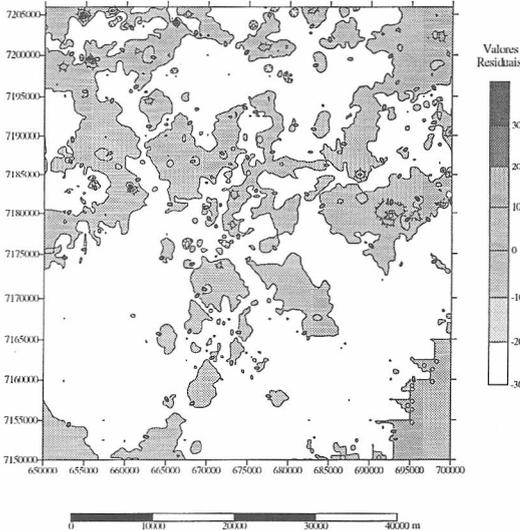


Fig. 4

Mapa de valores residuais, após o tratamento estatístico. *Residual values map, after statistical analysis.*

A matriz de dados (x, y, z, k, l) foi estudada através do método de análise dos componentes principais, que indica quais variáveis espaciais têm maior importância na variação dos dados (GOMES, 1985). Para estes procedimentos foram utilizados os módulos ESTAT e FACTOR do programa SYSTAT (SYSTAT, INC., 1993). O propósito desta análise foi produzir uma ordenação das variáveis que desse ênfase aos principais padrões de variação.

Esta análise forneceu subsídios para a definição das variáveis mais importantes para a determinação das mudanças da profundidade do embasamento. Estas variáveis foram (k), com uma carga de 0,980, e (z) com 0,971, ambas no primeiro componente, que indicaram uma correlação (porcentagem de explicação) da ordem de 41,92%. O segundo componente, com uma porcentagem de 22,45%, teve como variável mais importante (l), com

uma carga de 0,816. O terceiro componente explicou uma variação de 20,42%, tendo como variável mais importante (y), com uma carga de -0,943.

O ajuste da superfície de tendência, feito através da regressão linear múltipla forçando a regressão até a origem, utilizou (k) como variável dependente e (x) e (y) como variáveis independentes. A porcentagem de explicação que a variável dependente tem em relação às independentes foi de  $r^2 = 0,996$ , sendo significativo para um  $F = 170368,678$  ( $p = 0,000$ ). Utilizando-se as variáveis (x) e (z) como independentes em relação à (k), foi obtido um ajuste, sem passar pela origem, de  $r^2 = 0,958$ , estando significativo para um  $F = 15933,047$  ( $p = 0,000$ ). O teste demonstra uma correlação entre a variável (z) e a variável (k).

Esta correlação refere-se aos dados em comum das variáveis (z) e (k), localizados, em sua maioria, nas vizinhanças do limite geográfico da bacia sedimentar. As diferenças de correlação entre as variáveis estão circunscritas à área onde afloram os sedimentos que preenchem a calha da bacia sedimentar.

Tal assertiva pode ser melhor observada na diferença entre a geometria do substrato da calha da bacia sedimentar e a atual topografia da bacia hidrográfica, implantada sobre este substrato (figs. 5 a 8), como será demonstrado adiante.

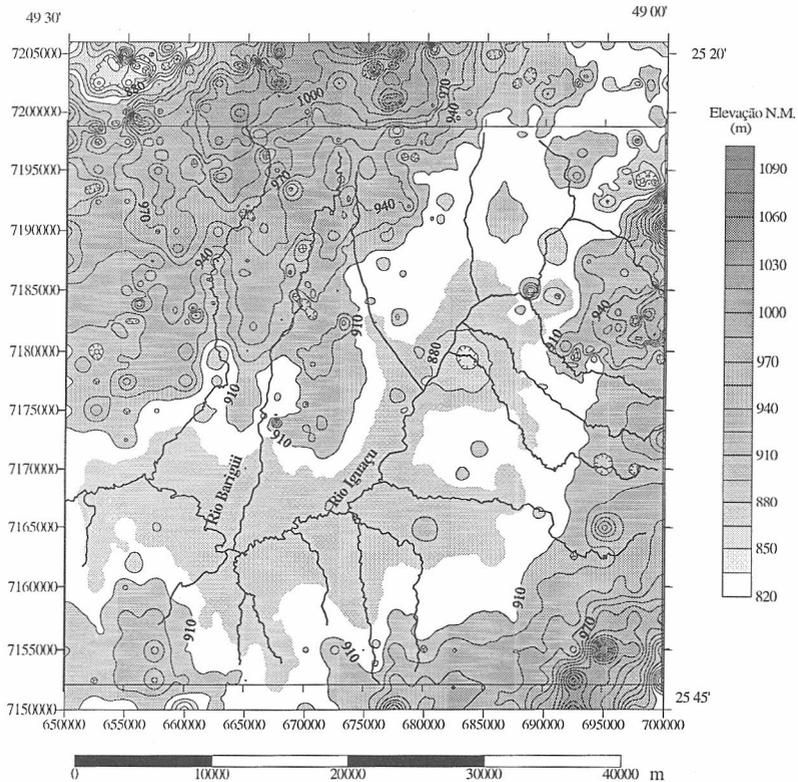


Fig. 5

Mapa de tendência da superfície do terreno da bacia do rio Iguaçu mostrando as cotas altimétricas e a drenagem principal da bacia. *Terrane surface tendence map of hydrographic basin, with altimetry datum togheter with main drainage of basin of high Iguaçu river.*

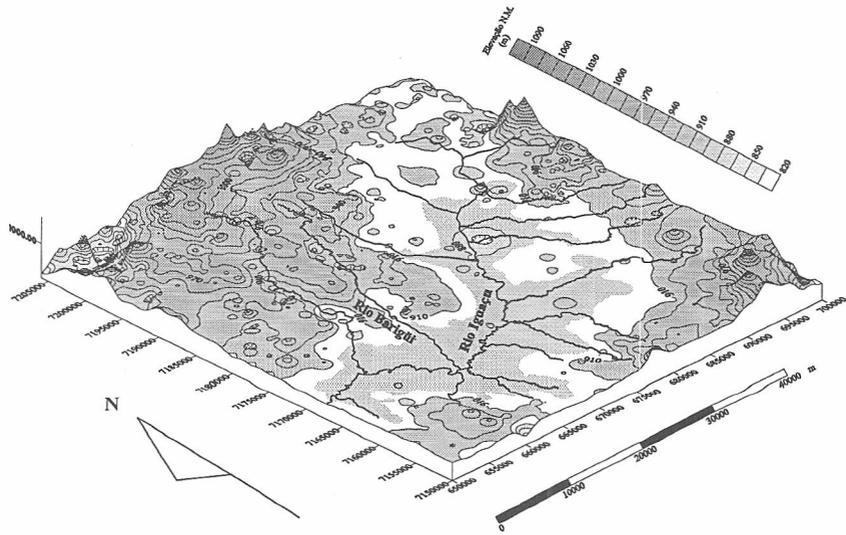


Fig. 6

Modelo Digital de Terreno (MDT) mostrando a superfície topográfica da área da bacia sedimentar de Curitiba. Também é mostrada a drenagem principal da bacia hidrográfica do alto do rio Iguaçú. *Terrane Digital Model (TDM) showing topographic surface of Curitiba sedimentary basin. Also is showed mean drainage of hidrographic basin of high Iguaçú river.*

**CONTORNOS ESTRUTURAIS E MODELOS DIGITAIS DE TERRENOS (MDTs)**

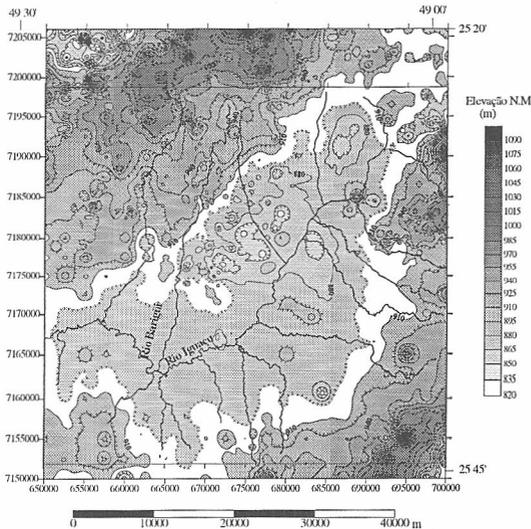


Fig. 7

Mapa do contorno estrutural do embasamento da bacia sedimentar de Curitiba. A drenagem superimposta ilustra que o rio Iguaçú não está condicionado às porções mais profundas do embasamento da bacia sedimentar. *Structural outline map of basement Curitiba sedimentary. Overprinted drainage represent that Iguaçú river are not conditioned to deeper levels of sedimentary basin basement.*

O estudo estatístico através de análise multivariada permitiu caracterizar a topografia do embasamento da bacia de Curitiba com um bom grau de confiabilidade. A superfície de tendência, construída pelo método de interpolação do inverso da distância (IQD), no SURFER for Windows (GOLDEN SOFTWARE) utilizou como parâmetros um grid de 100 x 100, ou seja, um espaçamento da malha de pesquisa de 500 x 500m, o que permitiu a definição do contorno estrutural do embasamento (fig. 7).

Desta forma, determinou-se que a bacia de Curitiba é formada por uma calha estrutural principal no embasamento, alongada na direção NE-SW, com pequena profundidade (fig. 8). A porção do mapa de contorno estrutural que delimita esta calha segue desde o nordeste da área estudada até a porção central da mesma. Na porção centro-sul há uma área mais rebaixada na topografia, significativamente mais espreada, alongada na direção E-W, que muda a conformação da calha da bacia sedimentar. Esta área pode constituir um segundo domínio estrutural e estratigráfico, pouco profundo, como discutido mais adiante.

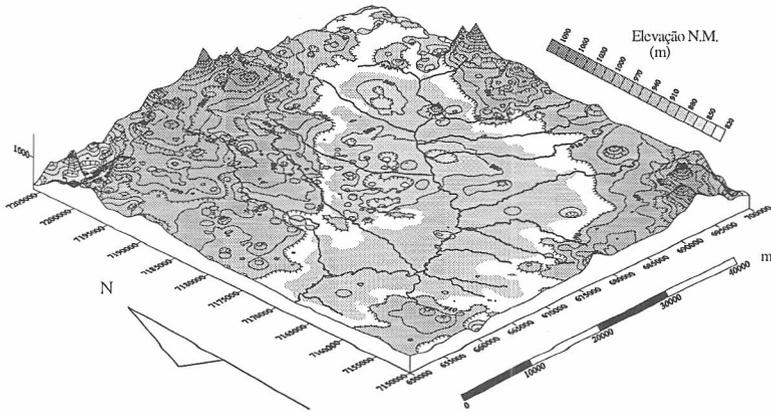


Fig. 8

Modelo Digital de Terreno (MDT) do contorno estrutural do embasamento da bacia sedimentar de Curitiba. A drenagem principal mostra a não-relação direta com as porções mais profundas da bacia sedimentar. *Terrane Digital Model (TDM) of structural outline of Curitiba sedimentary were drawn to demonstrate that there not righ relationship with deeper level of basin.*

A superfície de tendência indica, que, não obstante a conformação central mais abatida da bacia, há ocorrência de altos intermediários ou intervenientes, que podem corresponder a blocos do embasamento adernados, por vezes expostos, que promoveram o isolamento de depressões cujos diâmetros são reduzidos (figs. 7 a 9).

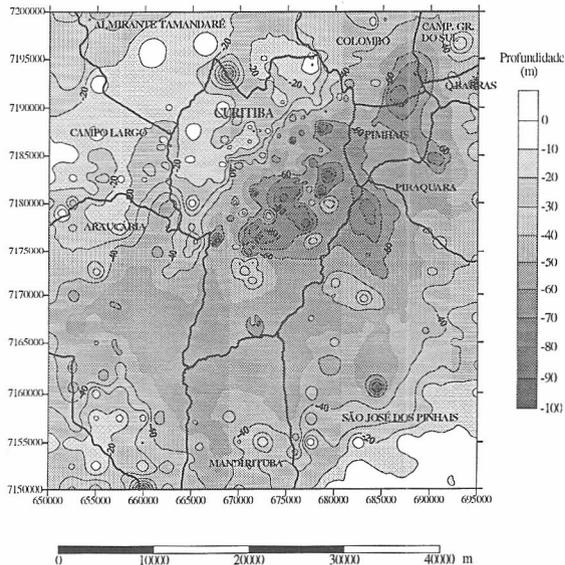


Fig. 9

Mapa de "isoprotundidades" da bacia sedimentar de Curitiba. As porções mais escuras indicam locais de maior profundidade, que podem chegar a 100m. "Isodeph" map of Curitiba sedimentary basin. Darked regions are deeper, that should be to researche 100m.

A calha da bacia pode apresentar altitudes mínimas de 820m a partir do nível do mar, mas suas altitudes médias estão na faixa dos 870m. As ombreiras aflorantes da bacia possuem altitudes médias entre 890 e 900m, alcançando até 1.140m nas áreas mais altas a leste e sudoeste. Estas últimas representam as vertentes orientais da Serra do Mar, que determinam um alto estrutural significativo nesta região.

A superfície de tendência de 2.º grau (fig. 2) mostra que a embasamento apresenta uma tendência de estar menos profundo nas porções NNW e SSE mais profundo na porção central. Esta análise foi confirmada pela superfície de tendência de 3.º grau (fig. 3), que apresenta uma situação mais realística, indicando uma anisotropia evidenciada pelo “eixo” de uma elipse alongada na direção NE-SW que coincide, aproximadamente, com a calha da bacia. Esta superfície de tendência mostrou, no extremo NW da área, uma depressão com elevações máximas de 820m. Esta depressão pode estar relacionada aos falhamentos pré-Cambrianos no grupo Açungui, não apresentando relação direta com a bacia de Curitiba, visto que localiza-se nas imediações da zona de cisalhamento Lancinha-Cubatão (SALAMUNI *et al.*, 1993). Até o presente não há estudos referentes às reativações cenozóicas desses falhamentos.

Entre esta depressão e a calha da bacia observa-se um segundo alto estrutural, também direcionado para NNE-SSW (fig. 8), cujas partes mais elevadas encontram-se na porção norte da área, com elevações entre 900 e 1.100m. Neste alto estão localizadas tanto rochas do embasamento gnáissico-migmatítico do complexo costeiro, quanto rochas da formação Capiru (grupo Açungui).

## MAPA DE “ISÓPACAS” DA BACIA SEDIMENTAR DE CURITIBA

A tectônica terciária da região condicionou e reorganizou a topografia do embasamento da bacia de Curitiba de forma concomitante ao seu preenchimento sedimentar. Desta forma não há condições de se definir, ainda, uma superfície de erosão, válida como superfície de referência para toda a área, tornando difícil, ainda, a determinação do mapa de isópacas absolutas para a área em estudo.

Assim sendo, os valores de profundidade do contato entre o embasamento e o pacote sedimentar da formação Guabirota permitiram a elaboração de uma aproximação ao quadro real, aqui denominado informalmente de mapa de “isopropfundidades” da calha da bacia de Curitiba, mostrado nas figuras 9 e 10. Este foi elaborado através da interpolação pelo inverso da distância (IQD), também no SURFER for Windows (GOLDENSOFTWARE), igualmente utilizando-se como parâmetro um grid 100 x 100m, indicando áreas de pesquisa com espaçamento de 500 x 500m. Grande parte da área apresenta o embasamento da bacia aflorante, só havendo diferenças entre a porção superficial e o embasamento na região centro oeste da área estudada. Naquele ponto estão concentrados a maior parte dos sedimentos da formação Guabirota. Na porção sudoeste, por sua vez, concentram-se a maior quantidade dos depósitos aluvionares recentes do rio Iguaçu.

O mapa de “isopropfundidades” do embasamento revela pelo menos três núcleos com maior profundidade, dispostos segundo a direção NE-SW do eixo da calha da bacia. Tais núcleos constituem os prováveis depocentros mais importantes da bacia, com profundidades máximas entre 90 e 100m, a partir da cota 940, usada como superfície de normalização topográfica. Este valor de cota foi utilizado considerando-se a média entre a superfície de Curitiba (BIGARELLA *et al.*, 1961) e a cota altimétrica máxima atual dos sedimentos da formação Guabirota como referência. Assim, é possível aproximar-se do efeito que a tectônica gerou na topografia do embasamento e da superfície, antes não consideradas pelo autores supracitados.

As depressões de maior expressão são separadas por núcleos mais elevados do embasamento, que podem refletir o basculamento ou soerguimentos (*tilt*) de blocos tectônicos independentes. Estes basculamentos, por sua vez, também podem ser responsáveis pela criação de diferenças morfológicas que influenciam a atual rede de drenagem e o processo de dissecação atual das porções centrais da bacia. Segundo OUCHI (1985), a morfologia de um rio, bem como o comportamento de seu canal, podem ser resposta ao processo de ajuste tectônico recente. A troca lenta do gradiente hidráulico causa mudança no seu regime de sedimentação, bem como na morfologia de sua planície aluvionar.

A porção oriental do rio Iguçu, na bacia sedimentar de Curitiba, é mais meandrante que sua porção ocidental, local onde ocorre mudança do padrão no alinhamento estrutural, cuja direção é NNE-SSW, próximo à confluência do rio Barigui.

A leste, o rio Iguçu está represado diminuindo, sua energia devido a um possível levantamento ou basculamento de um bloco tectônico. O limite deste bloco é dado pelo próprio rio Barigui, cujo escarpamento com talude de altura relativamente baixa controla a corrida do nível de base deste rio. Ao vencer esta resistência geomórfica, o rio Iguçu flui, a oeste, com menos meandros e maiores segmentos retilíneos, o que representa uma maior energia no seu canal. Tudo isto é refletido no estrangulamento dos depósitos aluvionares no local mencionado.

A montante da área citada, são observados estrangulamentos aluvionares mais evidenciados. Estes são ligados a alinhamentos estruturais direcionados segundo NW-SE. Estes alinhamentos também parecem refletir *tilts*, ou soerguimentos, de pequenos blocos do embasamento, que foram responsáveis, em parte, pela dissecação dos sedimentos da bacia de Curitiba, nas suas porções centrais e nordeste (SALAMUNI e EBERT, 1997).

Os mapas das figuras 9 e 10 evidenciam o contorno estrutural atual da bacia sedimentar, além de caracterizar as porções mais profundas da bacia no seu eixo principal e depressões secundárias, tanto a leste quanto a oeste. Estas também são separadas por altos do embasamento e encontram-se aproximadamente alinhadas na direção NW-SE. São menos profundas que os depocentros principais e sugerem um outro controle estrutural.

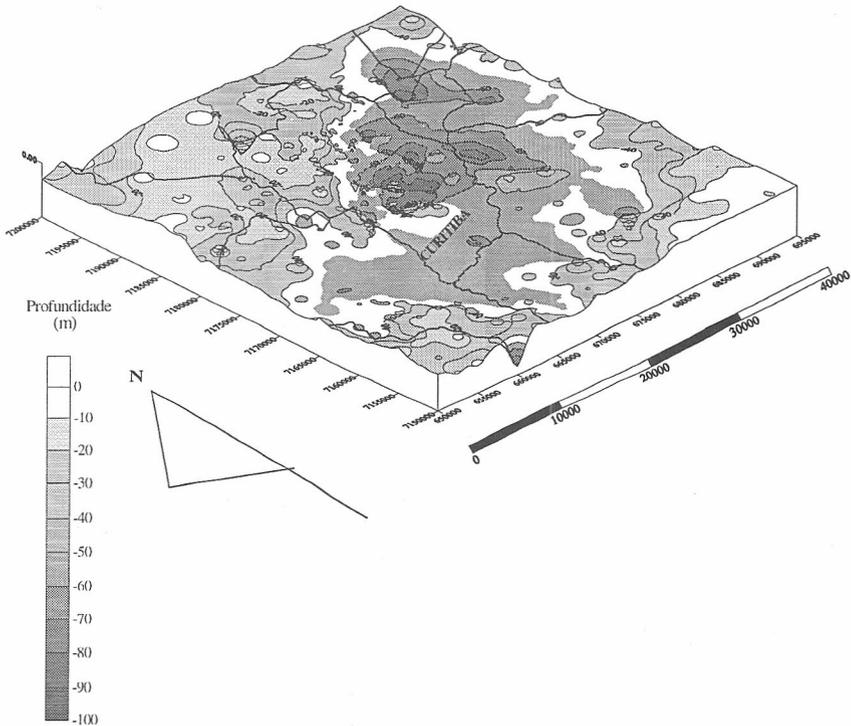


Fig. 10

Modelo Digital de Terreno (MDT) do mapa de "isoprofundidades", com a visualização das principais depressões da bacia sedimentar de Curitiba. *Terrane Digital Model (TDM) showing "isodeph" map of visualization of the depression of Curitiba sedimentary basin.*

## DISCUSSÃO DOS DADOS

Uma das características mais conspícuas da bacia sedimentar de Curitiba é a pequena profundidade de sua calha, o que pode refletir uma atividade tectônica menos intensa que nas demais bacias cenozóicas intracratônicas correlatas do sudeste brasileiro, como a de São Paulo, cujas profundidades máximas são de pouco mais de 200m, e de Taubaté, cujas profundidades máximas são de até 500m, por exemplo.

Em análise anterior, utilizando o mapa de anomalia Bouguer de GEMAE e DOUBEK (1975), MURATORI *et al.* (1982) concluíram que a espessura de sedimentos da bacia de Curitiba é variável, sendo maior na sua porção leste e central do município. Os autores demonstram tal assertiva através de perfis de direção ENE-WSW, que seccionam algumas anomalias gravimétricas interpretadas genericamente como falhamentos do embasamento.

A reinterpretação do mapa de GEMAE e DOUBEK (1975), à luz dos dados utilizados no presente trabalho, confirma a morfologia do embasamento aqui apresentada. Os altos estruturais demonstrados pela análise realizada através dos dados de poços e de superfície coincidem com as anomalias gravimétricas positivas do trabalho realizado pelos autores acima citados. Nota-se também que as porções com as maiores espessuras de sedimentos correspondem a regiões de anomalias gravimétricas mais negativas. No mapa morfoestrutural do embasamento da bacia também ocorre a coincidência entre estas zonas e o rebaixamento da calha da bacia, especialmente na porção nordeste e central da área.

As anomalias gravimétricas retilíneas foram interpretadas como zonas de descontinuidade estrutural. Na figura 11 é apresentada uma proposta de localização destas descontinuidades, em geral de direções NE-SW e NW-SE, consideradas como falhamentos do embasamento, com provável movimentação transcorrente em pelo menos parte de sua história cinemática, e que modelaram a geometria interna da bacia e conseqüentemente a sua sedimentação. Estas descontinuidades podem estar ativas até o Recente, condicionando o atual processo de dissecação da bacia. Isto foi interpretado a partir da topografia da superfície da bacia (figs. 5 e 6), onde há diferenças, muito significativas, em relação ao contorno estrutural do embasamento (figs. 7 e 8). No geral a declividade apresenta-se de NE para SW. No vale espraído, entretanto, onde se encaixa o rio Iguaçu, há uma depressão rasa na porção central, considerada anômala se se considerasse esta uma bacia sem algum tipo de alteração pós-implantação. Esta pequena depressão pode refletir uma alteração da morfologia atual em função de movimentação diferencial do substrato, que pode estar gerando dois fenômenos importantes no local: a) alinhamentos NW-SE, facilitando a referida dissecação dos sedimentos que preenchem a bacia; e b) represamento natural do rio Iguaçu, gerando um padrão meandrante para trechos do mesmo, bem como a acumulação de água em pequenos lagos vizinhos ao rio, denominados localmente de "cavas".

O contorno estrutural do embasamento possivelmente está controlado por descontinuidades estruturais do embasamento, tais como observado por SILVA (1996) na bacia de São Paulo. Tais descontinuidades são falhamentos que poderiam estar bastante ativos durante a implantação da bacia, isto é, do Oligoceno e/ou Plioceno, até o Pleistoceno Médio.

No mapa da Comissão da Carta Geológica do Paraná, Folha de Curitiba (1967), há uma interpretação estrutural para as principais drenagens que cortam a bacia sedimentar. O rio Barigui (fig. 7), por exemplo, situado na porção oriental da bacia sedimentar, é interpretado como sendo controlado por um lineamento tectônico. Este é coincidente, em parte, com a estruturação proposta para o embasamento do substrato da bacia (fig. 11).

A definição da cinemática dos lineamentos estruturais, tanto daquelas de direção NE-SW quanto das de direção NW-SE, será possível a partir das investigações em curso sobre a tectônica da bacia. Os dados trabalhados, bem como o padrão estrutural regional, como constam na literatura, no entanto, já permitem sugerir que as descontinuidades NE-SW estão associadas preferencialmente a movimentos direcionais (transcorrentes), enquanto aquelas de direção NW-SE podem apresentar movimentos direcionais em um primeiro episódio e posteriormente movimentos normais.

## CONCLUSÕES

As análises estatísticas, em especial a análise multivariada, foram importantes para dar consistência ao volume de dados passíveis de utilização para os objetivos propostos. As imagens obtidas através das técnicas de geoprocessamento anteriormente descritas oferecem um bom grau de confiabilidade do modelo geométrico interno da bacia e seus arredores, permitindo interpretações morfoestruturais localizadas. Neste sentido foi possível reconhecer uma mudança significativa na geometria interna do embasamento da bacia de Curitiba, entre suas porções norte e sul. Associou-se este fenômeno a uma mudança geométrica da calha da bacia, bem como de sua profundidade. Esta mudança pode estar refletindo um duplo padrão de condicionamento tectônico, que gerou dois domínios estruturais e geográficos distintos (morfoestruturais) (fig. 11):

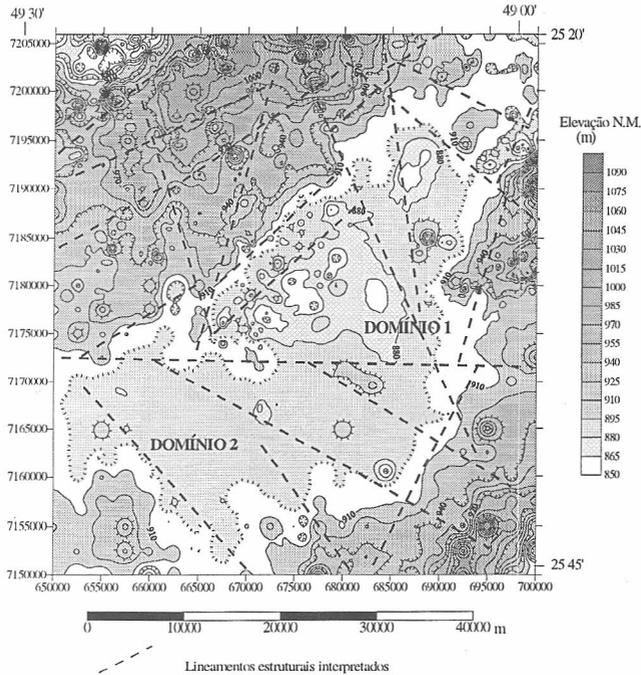


Fig. 11

Mapa do contorno estrutural do embasamento da bacia sedimentar de Curitiba com interpretação dos prováveis lineamentos estruturais (falhas?) que estão condicionando a calha da bacia. *Structural outline map of basement Curitiba sedimentary basin with interpretation of probability structural lineaments (faults?) that organized the framework of the basin.*

1. um primeiro domínio, localizado na porção nordeste e central da área estudada, desenvolvido através de reativação, desde o Oligoceno até o Pleistoceno Médio, de falhas do embasamento com direção NE-SW, corroborando a idéia da "tectônica ressurgente" (HASUI, 1990) (a cinemática de tais falhamentos ainda é objeto de estudo, mas feições tectônicas e sedimentares indicam uma componente direcional para seus movimentos);
2. um segundo domínio, este de características neotectônicas, de direção E-W, que reorientaria a calha da bacia ou, então, geraria um conjunto de fraturas condicionantes para a implantação de uma segunda calha estrutural, secundária e oblíqua à primeira.

Os dois domínios estruturais, em áreas geográficas distintas, o primeiro localizado na porção centro nordeste da área e o segundo na porção centro sul, possivelmente estão condicionados pela geometria interna da bacia de Curitiba e podem caracterizar uma alternância entre períodos de sedimentação e dissecação dos sedimentos depositados. Tal fato é caracterizado pela ocorrência de depósitos de cascalheiras, mais recentes que a formação Guabirotuba, porém mais antigos que os atuais depósitos holocênicos provenientes da rede de drenagem atual. Estas cascalheiras encontram-se desniveladas e são consideradas como um paleopavimento sotoposto ao perfil de solo, obedecendo a morfotectônica local, e, tanto quanto a formação Guabirotuba, em processo erosivo. Os depósitos aluvionares atuais, porém, comportam-se de maneira diferente, pois são contínuos e estão preenchendo a calha formada principalmente pelo rio Iguaçu e afluentes principais.

Os dados e modelos geométricos internos da bacia de Curitiba aqui apresentados consubstanciam modelos tectônicos a serem avaliados em trabalhos mais específicos. O aperfeiçoamento do modelo geométrico ocorrerá à medida que novos dados forem incorporados. A definição da geometria do contorno estrutural do embasamento desta bacia é apenas uma das vertentes para a solução dos problemas tectônicos da bacia, ou para a determinação de um modelo tectônico coerente com a estruturação preexistente e com a neotectônica superimposta (SALAMUNI e EBERT, 1994).

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi possível através do auxílio da UFPR, da UNESP, da CPRM e especialmente da FAPESP, através do Projeto "Neotectônica, Morfogenese e Sedimentação Moderna no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes", Processo N. 95/04417-3, coordenado pelo Prof. Dr. Yociteru Hasui. Agradecemos ainda a leitura crítica e as sugestões do Prof. Dr. João Carlos Biondi, do Prof. Dr. Alberto Pio Fiori e da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Márcia Cristina Lopes Quintas.

## BIBLIOGRAFIA

- BIGARELLA, J. J., SALAMUNI, R. Caracteres texturais dos sedimentos da bacia de Curitiba. *Boletim da Universidade Federal do Paraná*, Curitiba, Instituto de Geologia, n. 7, 1962.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. ABSABER, A. Origem e ambiente de deposição da bacia de Curitiba. *Boletim Paranaense de Geografia - UFPR*, Curitiba, n. 4/5, p. 72-81, 1961.
- CANALI, N. E.; MURATORI, A. M. Síntese da evolução geomorfológica da bacia sedimentar de Curitiba. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE CURITIBA (3: 1981: Curitiba). *Atas...* Curitiba, SBG, 1981, v. 2, p. 363-371.
- COMISSÃO DA CARTA GEOLÓGICA DO PARANÁ. Folha de Curitiba. Convênio BADEP-UFPR. Escala 1:50.000, 1967.
- CPRM. Projeto Leste do Paraná. Folha Geológica de Curitiba e Mapa de Pontos. Escala 1:100.000, 1977.
- DAVIS. *Statistics and data analysis in geology*. New York: John Wiley & Sons, 1986.
- GEMAEL, C.; DOUBEK, A. Levantamento gravimétrico do Município de Curitiba. *Boletim da Universidade Federal do Paraná*. Curitiba, Geodésia, n. 17, 1975.
- GOLDEN SOFTWARE. Surfer for Windows, versão 6.0, 1995.
- HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro, SBG-MG, Boletim n. 11, 1990.
- \_\_\_\_\_; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da bacia sedimentar de São Paulo. Mesa Redonda: Aspectos Geológicos e Geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo SP. Publicação Especial, ABGE/SBG-SP, p. 47-52, 1980.
- LANDIM, P. M. B. *Análise estatística de dados geológicos*. Laboratório de Geomatemática IGCE/UNESP Rio Claro. Publicação Didática n. 4, 1993.
- LOPES, J. A. U. Nota explicativa da Folha Geológica de Curitiba. *Boletim da Universidade Federal do Paraná*, n. 20, 1966. 20 p.

- MURATORI, A. M.; GIUSTI, D. A.; CANALI, N. E. Interpretação gravimétrica preliminar da configuração topográfica do embasamento cristalino no Município de Curitiba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (32: 1982: Salvador). *Anais...* Salvador: SBG, v. 4, p. 1.576-1.580, 1982.
- OUCHI, S. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. *Geological Society of America Bulletin*, v. 96, p. 504-515. 1985.
- SALAMUNI, E.; EBERT, H. D. Estudo da neotectônica da bacia de Curitiba: dados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (38: 1994: Camboriú). *Anais...* Camboriú: SBG, v. 1, 1994.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. A influência da neotectônica na implantação da drenagem atual da bacia sedimentar de Curitiba. In: CONGRESSO DA ABEQUA (6: 1997). 1997. p. 244-248.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. HASUI, Y. As estruturas tectônicas e atectônicas da bacia sedimentar de Curitiba. In: CONGRESSO DA ABEQUA (6: 1997). 1997. p. 249-253.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. KROLL, G. H. S. Análise morfotectônica da bacia de Curitiba a partir da modelagem digital do terreno (MDT). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (38: 1994: Camboriú) *Anais...* Camboriú: SBG, v. 2, 1994.
- \_\_\_\_\_; FIORI, A. P.; WERNICK, E. Características estruturais e evolução tectônica do Núcleo Betara a norte de Curitiba (PR). *Boletim Paranaense de Geociências*, UFPR-Curitiba, n. 41, 1993. p. 91-124.
- SILVA, A. Bacia de São Paulo: contorno estrutural integrando dados de poços e de superfície. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (39: 1996: Salvador). *Anais...* Salvador: SBG, v. 6, 1996. p. 307-310.
- SYSTAT, INC. Systat for Windows, versão 5.01, 1993.

## ANEXOS

O modelo para a representação da superfície pelo método dos polinômios não ortogonais, segundo LANDIM (1995), é:

$$z_i(x, y) = [a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_i + a_4x_i y_i + a_5 y_i + \dots] + e_i(x, y),$$

em que  $z_i(x, y)$  é a variável mapeada em função das coordenadas  $x_i$  e  $y_i$  e  $e_i(x, y)$  representa os resíduos, ou seja, a fonte não sistemática de variação (LANDIM, 1995).

Ainda segundo LANDIM (1995), se  $A$  for uma matriz simétrica de variâncias e covariâncias, de dimensões  $p \times p$ , com termos  $a_{ij}$ , autovetores  $V_i$  (o  $i^{\text{ésimo}}$  autovetor) cujos termos são  $v_{ij}$  e  $l_i$  o  $i^{\text{ésimo}}$  autovalor, há uma relação que pode ser expressa por:

$$(A - l_i I) V_i = 0,$$

em que  $I$  é a matriz identidade. Alternativamente, a relação acima pode ser escrita por:

$$AV_i = V_i l_i \text{ ou } [A][V] = [\dots][V]'$$

sendo:

$V$ ] uma matriz,  $p \times p$ , de todos os autovetores;

$[\dots]$  uma matriz,  $p \times p$ , com os autovalores  $l_i$  na diagonal principal.

Multiplicando ambos os lados da equação pela transposta de  $V$  e  $V'$ , obtém-se:

$$[A] = [V][\dots][V]'$$

ou seja, a soma dos autovalores é igual à soma dos termos da diagonal em  $[A]$ , igual a soma das variâncias

$$l_i = a_{ii}$$

e por definição  $l_1, l_2, \dots, l_p$ . Resolvendo a equação acima para  $l$  as raízes determinantes são os autovalores. Substituindo estes autovalores nas equações e resolvendo-as, obtém-se para cada autovetor correspondente os componentes principais.

É possível definir a variância total existente no conjunto de dados multivariantes através da soma das variâncias de cada uma das variáveis. Em uma matriz de variâncias e covariâncias, as variâncias individuais constituem os elementos da diagonal principal que, somados, forneceram o traço da matriz e, conseqüentemente, a variabilidade total, bem como a contribuição de cada variável. Assim a contribuição de cada autovalor em termos de variabilidade foi determinada. O primeiro correspondeu à maior variabilidade possível existente, o segundo à maior variabilidade restante, e assim por diante. Os elementos de cada um dos autovetores encontrados são coeficientes de equações lineares que transfor-

mam os dados originais em contagens (escores) indicativas do respectivo carregamento sobre os eixos correspondentes. Desse modo, utilizando-se da multiplicação da matriz de dados originais pela de autovetores, obteve-se uma matriz de dados transformados que representam projeções dos pontos, num espaço multidimensional, sobre os diversos componentes principais

$$[X][V] = [S^r],$$

em que:

$[X]$  = matriz de dados originais,  $n \times m$ ;

$[V]$  = matriz quadrada,  $m \times m$ , contendo os autovetores;

$[S^r]$  = matriz,  $n \times m$ , das contagens sobre os componentes principais.