

# MAPEAMENTO ELETROFACIOLÓGICO DE AQUÍFEROS COM O USO DOS PERFIS GEOFÍSICOS

Geraldo Girão Neri <sup>1</sup>; Renato Macari <sup>2</sup>

**Resumo** - O presente trabalho mostra os resultados preliminares da representação em planta, usando métodos automáticos geoestatísticos, e em perfil, usando identificação das curvas, dos valores de diversos perfis geofísicos (Indução, Raios Gama e Sônico) obtidos pela Hydrolog Serviços de Perfilagens, em diversos pontos da na região metropolitana da cidade de São Paulo. Pretende-se a partir daí a criação de uma metodologia para análise de camadas litológicas a partir de suas respostas geofísicas, fato comum na indústria de petróleo, mas pouco empregado com dados colhidos pela indústria da água. No caso específico deste trabalho visa também um melhor conhecimento das camadas em subsuperfície da Bacia de São Paulo, de estratigrafia bastante complicada, ajudando numa melhor visualização e no planejamento de projetos de poços para a captação de água subterrânea na capital paulista.

**Abstract** – This work presents the preliminary results of representation in plan, using automatic geostatistical methods and log identification curves obtained from various Hydrolog geophysical well logs (Induction, Gamma Ray and Sonic) in various parts of in the metropolitan region of São Paulo city. It is intended from here to create a methodology for analysis of rocks based on their geophysical responses, which is common in the oil industry, but little employed with data collected by the water industry. Also this work aims a better understanding of the subsurface layers in the basin of São Paulo, quite complicated stratigraphy, helping in better visualization and project planning of wells for groundwater extraction in the state capital.

**Palavras-Chave** – Perfilagem; Geofísica; Mapeamento Estatístico.

---

<sup>1</sup> Hydrolog Serviços de Perfilagens Ltda., Rua Antonio Gobette 5-37 – Bauru – SP, (71) 3358-5540, [hydrolog.ggn@uol.com.br](mailto:hydrolog.ggn@uol.com.br)

<sup>2</sup> Hydrolog Serviços de Perfilagens Ltda., Rua Antonio Gobette 5-37 – Bauru – SP, (14) 3203-3559, [renato.macari@hydrolog.com.br](mailto:renato.macari@hydrolog.com.br)

## **1- INTRODUÇÃO:**

O uso de perfis geofísicos na completação de poços tubulares para água já se tornou fato corriqueiro e, na maioria das vezes, indispensável no mercado de água subterrânea, tendo só a empresa *Hydrolog Serviços de Perfilagens* realizado mais de 2.000 perfis nos mais diferentes cantos do Brasil.

É fato que estes perfis constituem ferramenta valiosa no momento da construção do poço, mas esta informação acaba ficando arquivada após o seu uso, guardando informações que poderiam ajudar no conhecimento geológico das áreas exploradas.

O presente trabalho visa uma tentativa de agrupamento de 65 perfilagens realizados na bacia sedimentar de São Paulo, entre os anos de 1997 a 2012, visando à extração de informações que possam ajudar no planejamento da execução de poços tubulares na região, com base em informações geofísicas, principalmente os resultados do perfil de Indução e Raios Gama.

## **2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA:**

Os poços foram escolhidos visando abranger o município de São Paulo, conforme mostra a Figura 1.

Nota-se, nessa figura, uma maior densidade na parte central da cidade, resultado do grande número de poços ali perfurados.

Foi feito também um mapa com a profundidade dos poços para se ter uma idéia do topo do embasamento, já que a maioria dos poços perfilados foi perfurada atravessando toda parte sedimentar (Figura 02).

Segundo Takira (1991), dados de sondagens indicam espessura máxima contínua de sedimentos em 250 metros na Mooca. Os poços perfilados pela Hydrolog têm, na região, no máximo 185 metros de sedimentos.

Conforme Riccomini et al (1989), dados obtidos no Astroblema de Colônia, cerca de 35 km do centro da cidade, mostram espessuras de 263 metros sem atingir o embasamento, sendo desta forma a maior espessura sedimentar do município perfurada. Os perfis dos poços números 541 e 542, realizados em poços para a captação de água na região, chegaram a profundidades de 174 e 167 metros respectivamente, todavia não chegaram a atingir o embasamento.

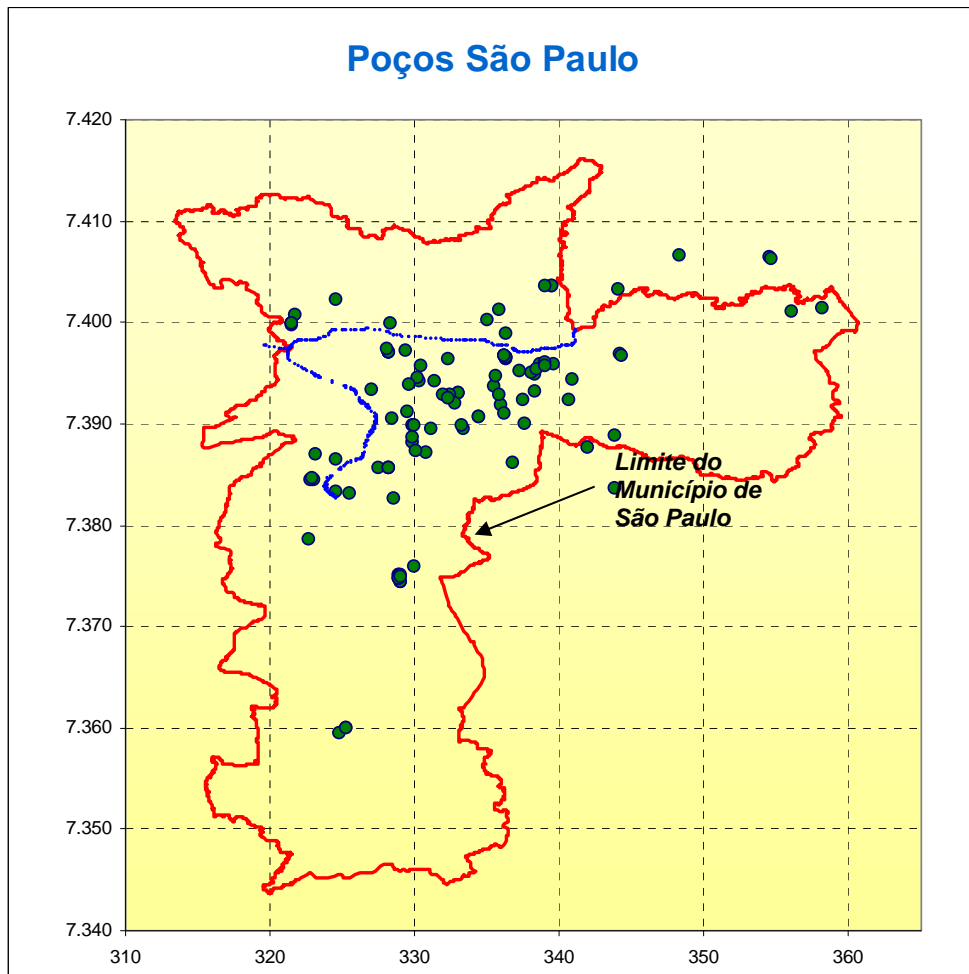


Figura 01 – Mapa de Localização dos Poços Perfurados

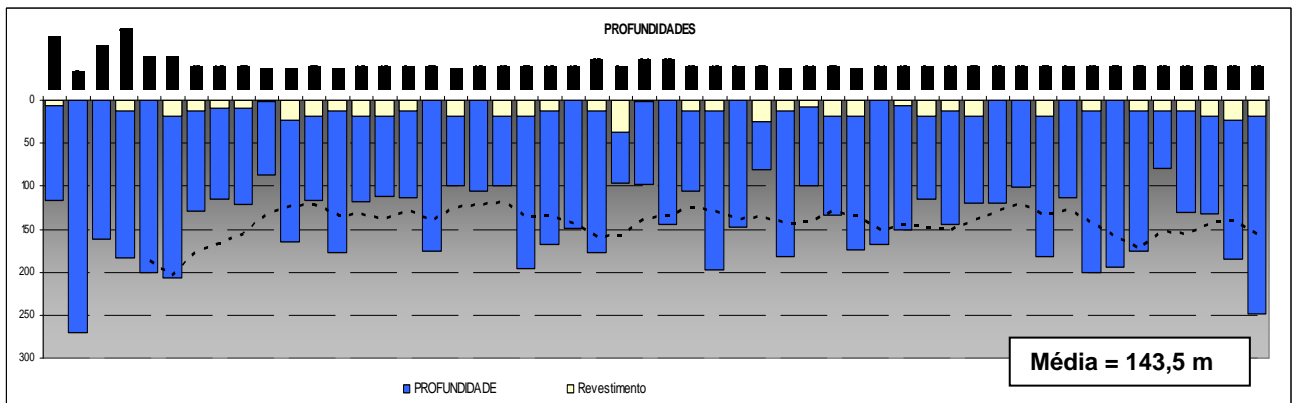


Figura 02 – Gráfico com as profundidades dos poços estudados, mostra uma variação entre 40 a 220 m.

### 3 - METODOLOGIA:

Foi necessário estabelecer uma correlação entre os perfis, tarefa difícil visto a geologia da bacia de São Paulo ser bastante complicada, com corpos descontínuos e lenticulares, além de pouco compactados devido à origem recente dos mesmos, como mostra a Figura 03:

CRONO		LITOESTRATIGRAFIA	
QUATERNÁRIO	HOLOCENO	DEPÓSITOS COLÚVIO-ALUVIAIS E BAIXOS TERRAÇOS	
	PLEISTOCENO	DEPÓSITOS COLÚVIO-ALUVIAIS	
TERCIÁRIO	NEÓGENO	↑ FORMAÇÃO ITAQUAQUECETUBA	↑ FORMAÇÃO PINDAMONHANGABA (PORÇÃO CENTRAL DA BACIA DE TAUBATÉ)
	PALEÓGENO	Grupo Taubaté	FORMAÇÃO SÃO PAULO
			FORMAÇÃO RESENDE
			Basanita Casa de Pedra
CRETÁCIO SUPERIOR		Rochas Alcalinas (Itatiaia, Passa Quatro, Morro Redondo, Etc.) e Hidrotermalismo	
PRÉ CAMBRIANO		Embasamento Cristalino (milonitos, migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos e granitos)	

Figura 03 – Coluna estratigráfica da Bacia de São Paulo - Riccomini, 1989, modificado.

Um exemplo típico desta geologia pode ser visto no perfil a seguir (Figura 04), onde se observam intercalações sucessivas de altos valores de tempo de trânsito, e resistividade e picos anômalos de raios gama, resultantes de lentes argilosas e arenosas. A partir dos 110 metros inicia-se o embasamento alterado, visível pelos valores altos de tempo de trânsito.

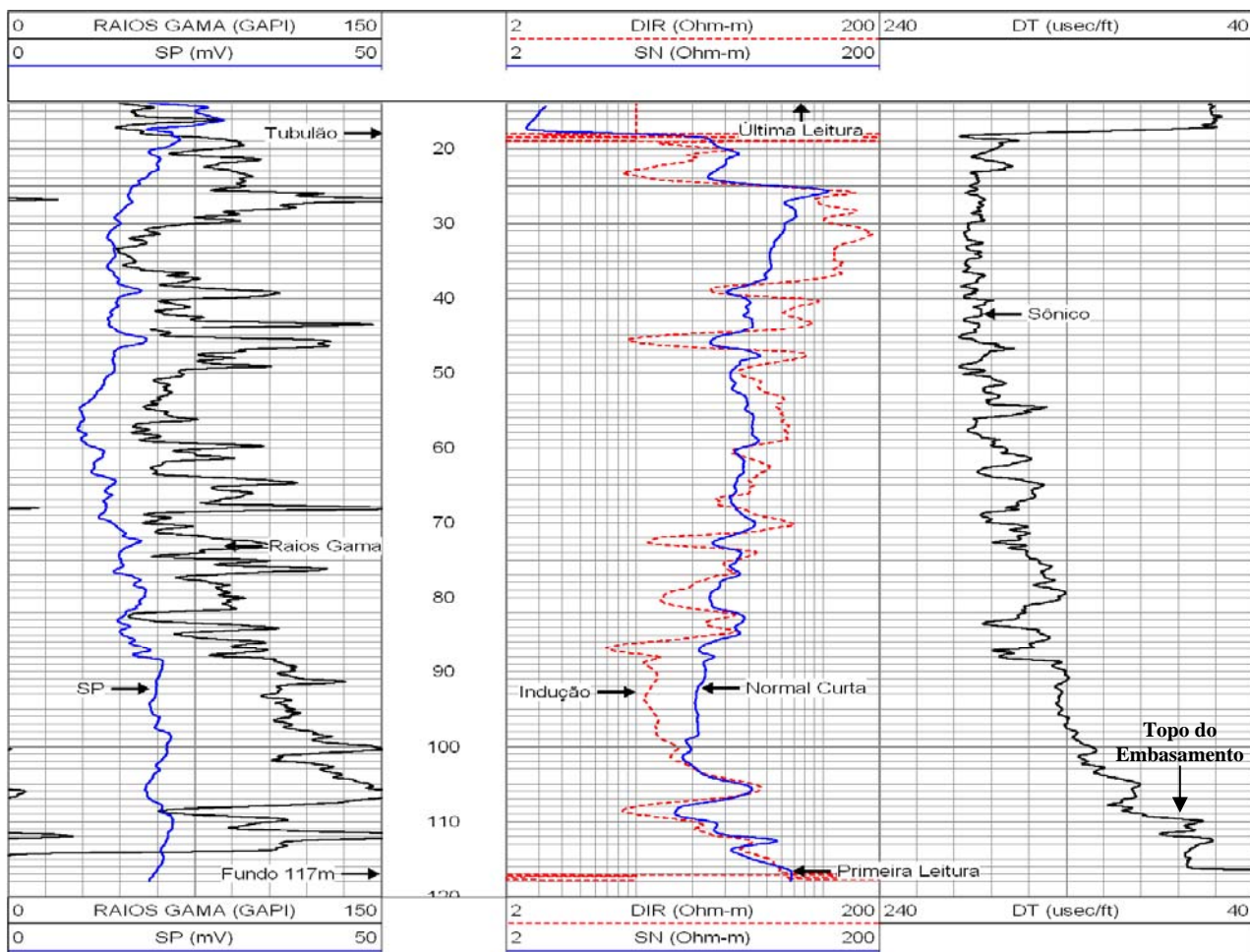


Figura 04 – Exemplo de Perfil na Bacia de São Paulo.

Os arquivos de todas as perfilagens tiveram que ser convertidos do formato de aquisição (db), próprios do software de aquisição para o formato texto .las (*LAS - Log Ascii Standard*) compatíveis com softwares comerciais que pudessem proceder a análise desses dados.

Desta forma foi elaborada uma planilha visando juntar os dados. Os campos mais importantes são detalhados na Tabela 01:

Nº DO POÇO	PERFÍS CORRIDOS	PROF. (m)	UTME	UTMN
Número dado ao perfil	Perfis de Indução e Raios Gama (Todos os Poços) e Sônico	Profundidade atingida.	Coordenada UTME	Coordenada UTMN

DIR 20	GR 20	DT 20	DIR 21... GR 21 etc.
Valor da indução na profundidade de 20 metros (ohm.m)	Valor dos raios gama na profundidade de 20 metros (GAPI).	Valor da leitura do perfil sônico na profundidade de 20 metros ( $\mu\text{s}/\text{ft}$ ).	Foram colocados na planilha os valores da Indução, Raios Gama e Sônico de metro em metro de acordo com o esquema acima.

Tabela 01 – Campos usados no Banco de Dados.

Os valores de resistividade do indução profunda (DIR) acima de 200 ohm.m foram padronizados em 200 ohm.m, com a finalidade de facilitar as interpolações, já que o significado geológico muda muito pouco acima daquele valor. Devido à presença do embasamento no Noroeste da área estudada o mapa foi limitado até a coordenada UTM 400.000, embora os pontos existentes acima desta coordenada tenham sido usados para as interpolações.

#### 4 - ELABORAÇÃO DOS MAPAS

Foram feitos, através de softwares adequados, mapas a cada 10 metros de profundidade dos valores de resistividade (ohm.m), raios gama (GAPI) e sônico ( $\mu\text{s}/\text{ft}$ ). No que diz respeito à resistividade, também foram elaborados mapas de metro em metro desde os 20 até os 30 metros.

As escalas foram escolhidas, de acordo com variações estabelecidas pela experiência na área, a fim de se tentar correlações entre poços vizinhos, da seguinte forma:

Para valores de Raios Gama na Tabela 02:

RAIOS GAMA (GAPI)	LITOLOGIA INTERPRETADA
40 - 60	Areia Limpa
60 - 80	Areia Argilosa
80 - 100	Areia Bastante Argilosa
100 - 150	Argila ou Arenito Arcosiano
> 150	Arenito Arcosiano

Tabela 02 – Correlação entre os valores de Raios Gama e litologia prevista

Para os valores do tempo de trânsito (Sônico) na Tabela 03:

TEMPO DE TRÂNSITO ( $\mu\text{s}/\text{pé}$ )	LITOLOGIA INTERPRETADA
60 - 80	Rochas ou sedimentos bem consolidadas
80 - 100	Arenito consolidado ou rocha alterada
100 - 120	Arenito pouco consolidado ou argila (folhelho)
120 - 140	Sedimento pouco consolidado
140 - 160	Sedimento muito pouco consolidado

*OBS.: >160  $\mu\text{s}/\text{pé}$ ), com divisões aos 180 e 200, sedimento muito pouco consolidado, muito poroso.*

Tabela 03 – Correlação entre os valores de Tempo de Trânsito e litologia prevista

Para os valores do tempo de resistividade (DIR) na Tabela 04:

RESISTIVIDADE - DIR (Ohm/m)	LITOLOGIA INTERPRETADA
0 a 2	Argila; Folhelho
2 a 10	Argila arenosa
10 a 20	Arenito argiloso
20 a 50	Arenito
50 a 100	Arenito, com água doce
100 a 200	Arenito, com água doce ou rocha alterada
> 200	Rocha ou arenito com muita água doce ou seco

Tabela 04 – Correlação entre os valores de Resistividade e litologia prevista

O método de interpolação utilizado foi a krigagem (Landim et al, 2002), resultando nas figuras 05 a 08, mostradas abaixo:

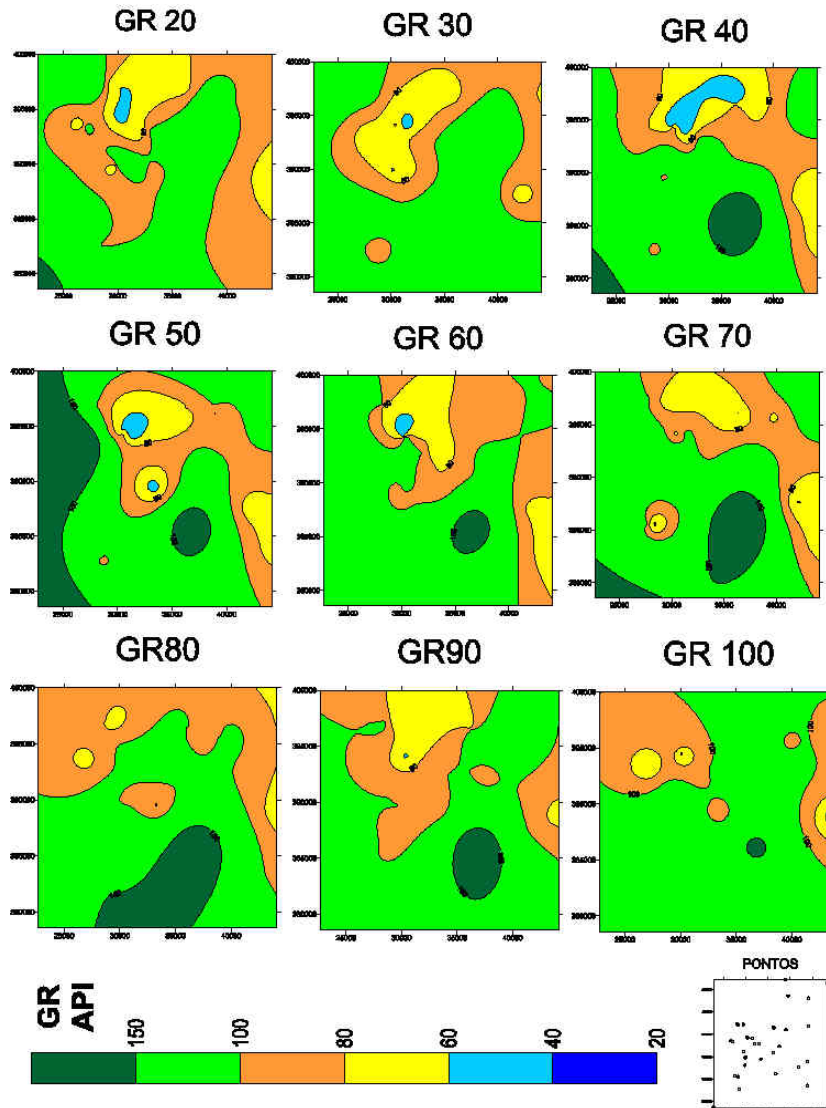


Figura 5 - Mapas de valores de Raios Gama (API) a cada 10 metros de profundidade.

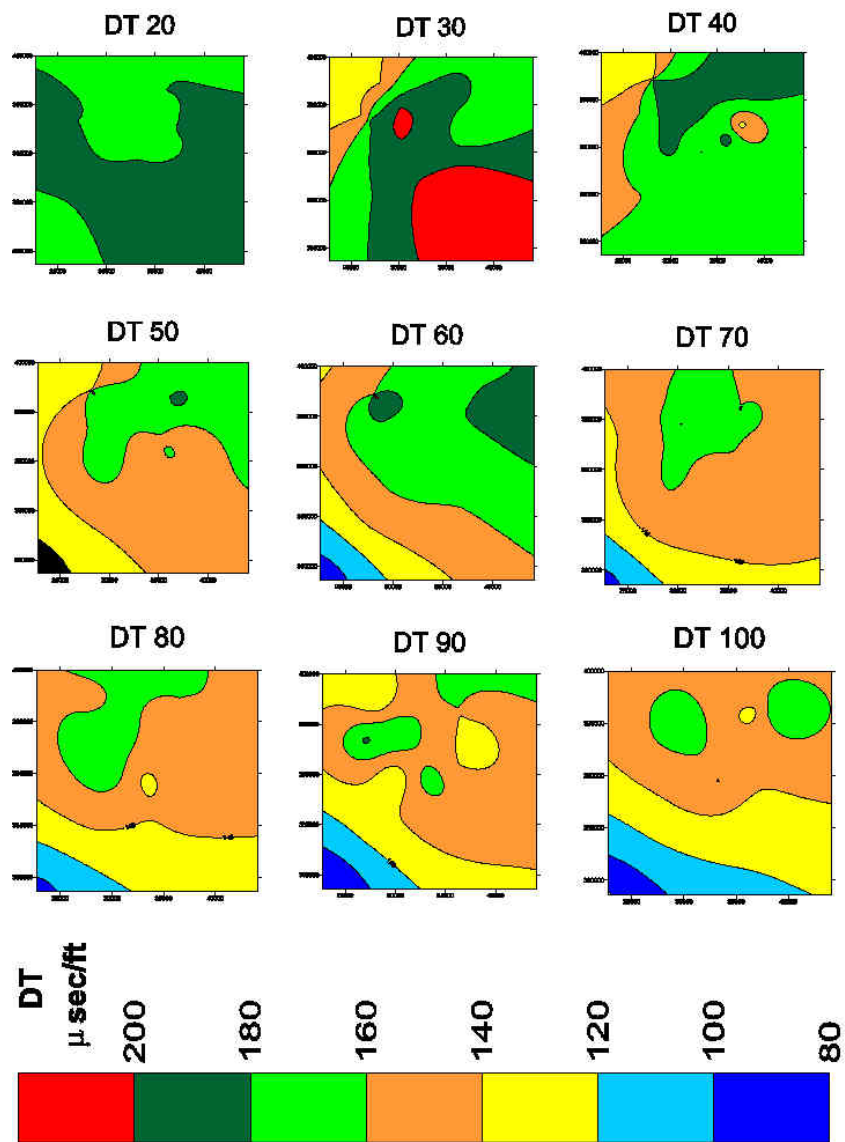


Figura 06 - Mapas dos valores de Tempo de Trânsito ( $\mu\text{sec/ft}$ ) a cada 10 metros de profundidade.



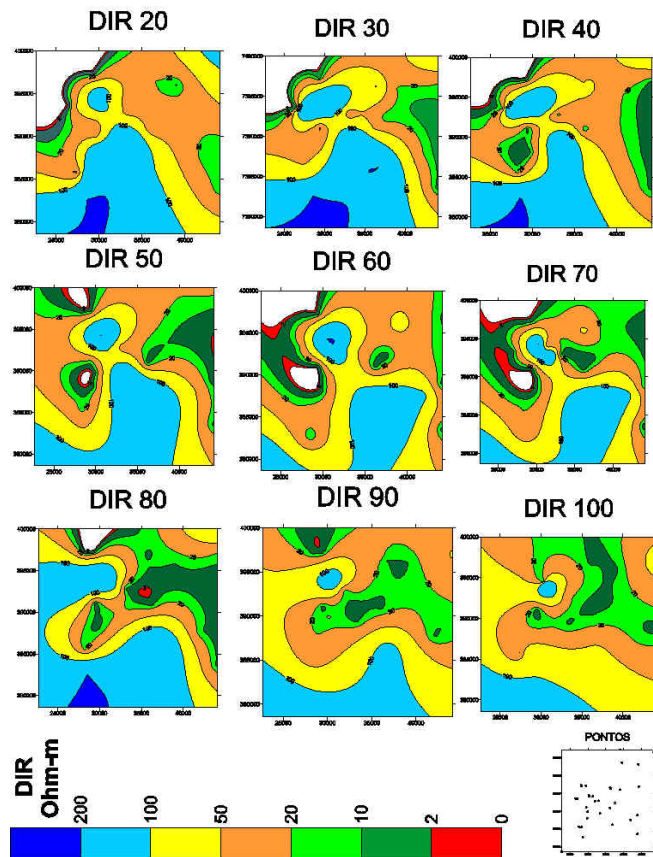


Figura 07 - Mapa dos valores de resistividade de 10 em 10 metros de profundidade (Ohm-m)

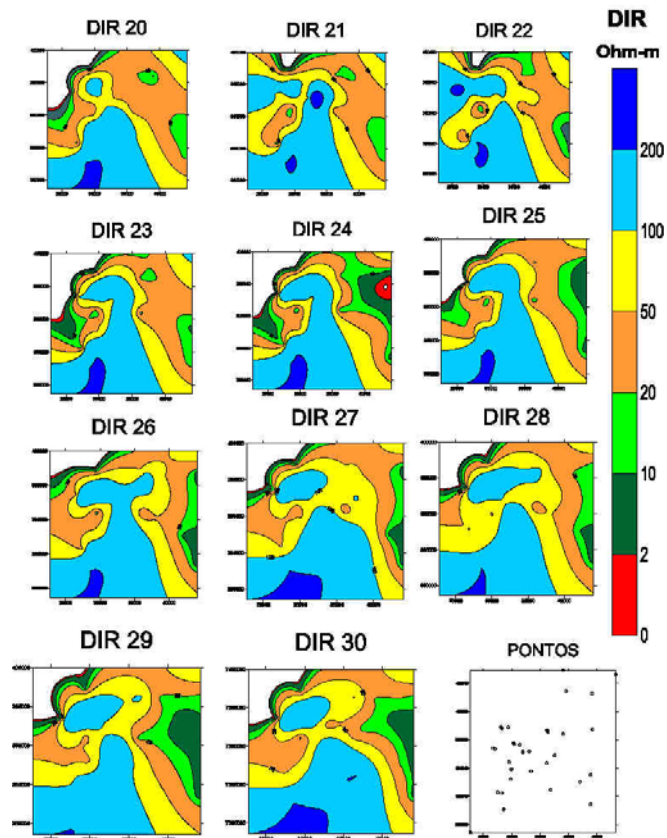


Figura 08: Mapa dos valores de resistividade de metro a metro dos 30 aos 40 metros de profundidade (Ohm-m).

## 5 - ELABORAÇÃO DOS PERFIS:

Após uma análise cuidadosa em todos os perfis, foram separadas camadas de características semelhantes, levando em consideração os formatos das curvas de Resistividade e Raios Gama.

Puderam ser definidas quatro camadas denominadas A; B; C e D, conforme visto na Figura 09. Estas camadas tiveram suas profundidades de topo e base plotadas na planilha existente.

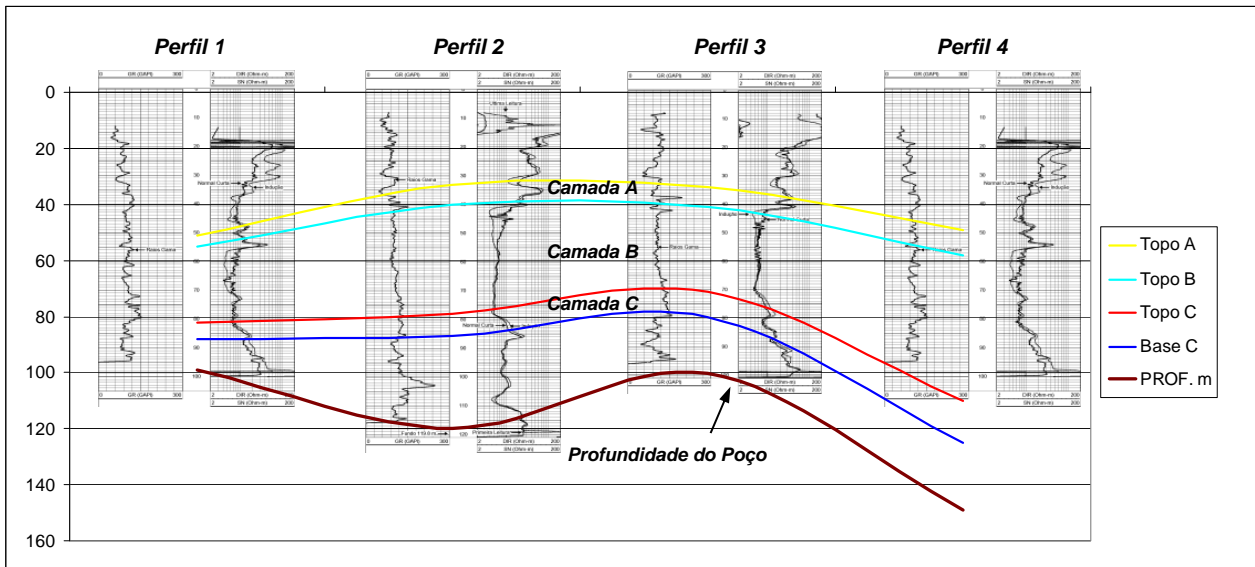


Figura 09 – Exemplo da definição das camadas A, B e C, a partir das características das curvas de Raios Gama e Resistividade.

Rebatendo-se as coordenadas foram elaborados os perfis S-N e E-W das Figuras 10 e 11.

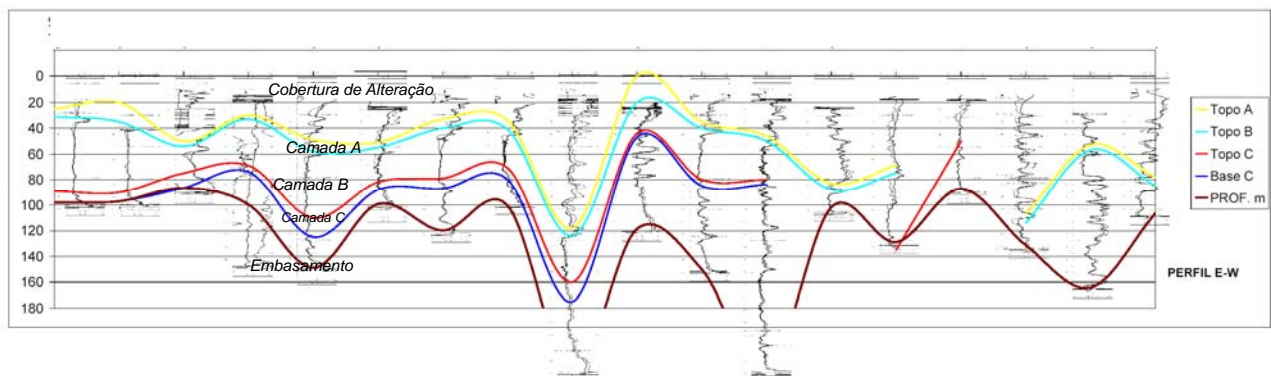
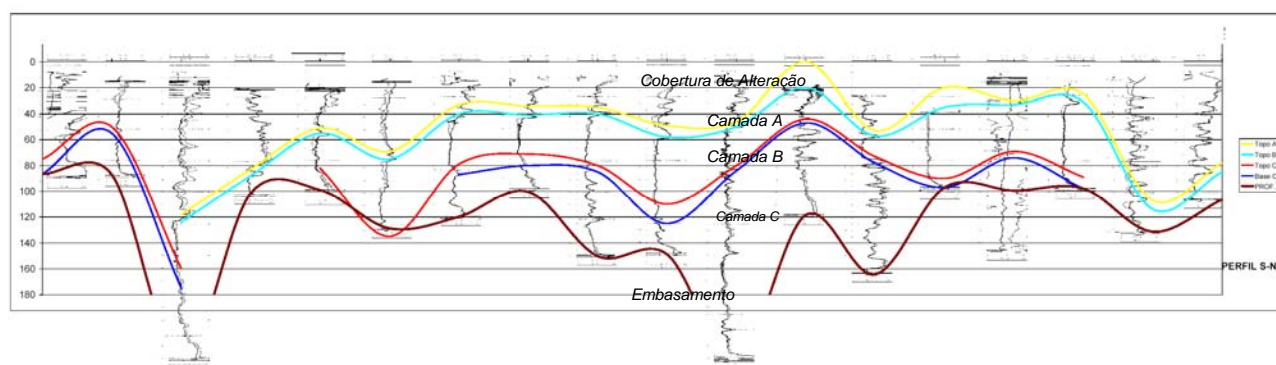


Figura 10 – Seção geofísica E-W da cidade de São Paulo



**Figura 11** – Seção geofísica S-N da cidade de São Paulo

## 6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

A bacia de São Paulo é composta litologicamente por argilas, siltes e areias argilosas finas, com ocorrências de areias grossas e cascalhos finos. Estes sedimentos são textural e mineralogicamente imaturos. As frações mais grossas encontram-se principalmente na parte central da bacia.

A partir destes conhecimentos, aliados ao conhecimento das amostras de calha e levando-se em conta o baixo teor de sais totais na água, procedeu-se a análise seguinte para cada mapa.

### 6.1 - Raios Gama (Figura 05):

Os elevados valores API observados em todas as profundidades demonstram a predominância de sedimentos imaturos. Nas amostras de calha sempre é possível observar a presença de arenito arcossiano, fato que explica estes altos valores.

Para esta região portanto não se pode correlacionar a presença de areia relacionada apenas a baixos valores API.

Existe a tendência mais arenosa ao norte e um corpo possivelmente arenoso, bem delimitado aos 40 metros na porção centro norte. Este corpo tem uma intercalação argilosa aos 80 metros, volta a ser arenoso aos 90, quase desaparecendo aos 100 metros.

### 6.2 - Sônico (Figura 06):

O grau de imaturidade da bacia pode bem ser percebido pelos elevados valores de tempo de trânsito, indicando porosidade alta em todas as profundidades, principalmente até os 30 metros. Nota-se uma diminuição progressiva dos valores na porção SW resultantes da alteração do embasamento cristalino representada no ponto 12. Neste local observam-se valores sempre abaixo de 100  $\mu\text{sec-ft}$ .

### **6.3 - Indução (Figuras 07 e 08):**

A análise das curvas de indução mostram valores mais elevados na porção SW também devido a presença do embasamento cristalino no local. É o perfil que melhor caracteriza a área devido ao fato de não sofrer influência da imaturidade dos sedimentos.

Nota-se uma camada bem demarcada com valores mais elevados, possivelmente com presença de água dos 20 aos 40 metros, na porção NE, próximo ao município de Guarulhos. Aos 50, 60 e 70 metros esta camada dá lugar a uma camada de resistividade menor, possivelmente de material argiloso.

Aos 80 metros surge uma nova camada mais resistiva (possivelmente uma camada arenosa), que não apresenta continuidade em maiores profundidades.

A porção NW apresenta sempre baixos valores, indicando material mais argiloso para todas as profundidades. A porção SE mostra valores intermediários com intercalações de camadas arenosas a areno-argilosas.

Na parte central pode-se notar claramente a alternância de camadas predominando boas resistividades (camadas mais arenosas). Destaca-se uma camada na região da Avenida Paulista até os 60 metros, com altos valores de resistividade, baixos valores de raios gama e tempo de trânsito alto. Neste local existe boa correlação dos perfis, indicando uma camada arenosa até os 60 metros. A partir dos 70 metros os valores de raios gama aumentam, a resistividade e o tempo de trânsito diminuem, indicando uma maior argilosidade.

A análise da Figura 08 mostra a evolução das camadas em subsuperfície dos 20 aos 30 metros, mostrando a grande variação em área das mesmas, persistindo a camada mais arenosa na porção Centro Norte e NE.

### **6.4 - Seção Geofísica (Figuras 09, 10 e 11):**

Os resultados obtidos na seção geofísica foram bastante satisfatórios, podendo ser identificadas três camadas com características bem definidas, principalmente quando se leva em conta a resistividade.

A camada superior, acima da camada definida como camada A, representa a parte mais alterada, não tendo desta forma sido analisada.

A camada A corresponde a uma camada com no máximo 15 metros de espessura, com valores de resistividades altos, formando um pico característico. Esta camada quando abaixo do nível d'água deve ser boa produtora e constitui-se de arenito imaturo, com valores baixos de RG, mas picos ocasionais devido à presença de Feldspato Potássico (arenito arcossiano).

A camada denominada B mostra-se bem característica em toda área estudada. É composta por folhelhos e sedimentos argilosos que causam anisotropia nas curvas de resistividade e raios gama

relativamente estáveis na faixa dos 60 API. A espessura varia de 40 a 70 metros. Trata-se de um intervalo pobre para captação de água subterrânea.

A camada C representa uma faixa de material mais arenoso, em alguns casos assentado sobre o embasamento em que o potencial hídrico também é favorável. A sua espessura, fica na faixa dos 20 metros.

Entre a camada C e o topo do embasamento aparecem feições irregulares que não foram divididas em camadas por não apresentarem continuidade lateral.

## 7 - CONCLUSÕES E LIMITAÇÕES:

Não se pretendeu, neste trabalho um mapeamento detalhado, mas sim a avaliação da viabilidade dos procedimentos. Os mapas de isolinhas são de difícil correlação com as unidades estratigráficas devido à imaturidade litológica dos sedimentos da Bacia de São Paulo.

Notou-se uma melhor correlação na parte central da Capital, devido uma densidade maior de poços perfilados, principalmente na região das Avenidas Paulista e Consolação. Estes resultados atestam que mesmo em áreas geologicamente complicadas o método pode ser usado, desde que os poços sejam em número suficiente para o nível de detalhe requerido.

Os perfis elaborados a partir da análise de feições mostraram-se mais simples de interpretar, e podem ser usados para o projeto de poços e avaliação estratigráfica.

Pretende-se a partir deste trabalho aprimorar-se os métodos, visando sua aplicação em áreas geologicamente mais simples, principalmente do ponto de vista geofísico (arenitos maduros, sem feldspatos; materiais mais consolidados, coluna estratigráfica mais uniforme, etc.). Existem boas malhas de poços perfilados pela *Hydrolog* nos municípios de Ribeirão Preto e Bauru– SP, Maceió – AL e na Bacia do Tucano – BA, que possivelmente proporcionem boas correlações e permitem fornecer mapas e seções que sirvam de subsídios para projetos de poços e estudos estratigráficos nos locais.

Também pode ser interessante o uso de softwares específicos para mineração no tratamento dos dados, procedimento que com certeza minimizaria em muito os problemas de interpolação aqui observados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LANDIM, P.M.B., STURARO, J.R. & MONTEIRO, R. C. Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada. Geomatemática, Texto Didático 7, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002. <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>

- RICCOMINI, C. 1989. O Rift continental do Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 256p
- RICCOMINI, C.; TURCQ, B. MARTIN, L. 1989. The Colônia Astroblema. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY*. São Paulo, 1989. *Excursion field guide..* São Paulo, INQUA. 14p.
- TAKIYA, H. 1991. *Aplicação dos métodos quantitativos espaciais a dados geológicos da Bacia de São Paulo*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 109p.