

# MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO – O CASO DA CAESB, DF.

Letícia Lemos de Moraes<sup>1</sup>; Roberto Márcio Macedo dos Santos<sup>2</sup>; Michelle Mota de Souza<sup>3</sup>.

**Resumo** – Visando a suprir a necessidade gerada pelo expressivo incremento da utilização de águas subterrâneas no Distrito Federal, assim como atender a nova legislação ambiental vigente, a CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – implantou um programa de monitoramento sistemático, qualitativo e quantitativo, dos aquíferos de seu interesse. Os primeiros resultados deste monitoramento permitiram estabelecer a classificação geoquímica desses aquíferos, assim como estabelecer correlações entre os parâmetros analisados. Os dados de monitoramento dos níveis dos aquíferos já permitem identificar as variações sazonais destes e servirão, ao longo do tempo, para melhor definir as vazões explotáveis de segurança a serem adotadas em sintonia com as restrições ambientais dos órgãos fiscalizadores, além de fornecer instrumentos para a reavaliação permanente das condições operacionais, com vistas à sua otimização.

**Abstract** – During the past few years the Water and Sewage Corporation of the Federal District (CAESB) has increased production of groundwater aimed to water supply, in order to attend new demands. Moreover, the environmental laws had become more severe, claiming new water quality patterns and new frames of monitoring and groundwater protection. In order to answer these demands, CAESB has created a net to monitoring the groundwater at the local exploited aquifers by the corporation, in their qualitative and quantitative aspects. First results of monitoring has enabled to define a geochemical classification of these aquifers, as well as some correlations between analysed parameters. Monitoring data on the levels of aquifers has enabled to identify seasonal variations and will be useful to define the safety yield at long term basis. The new basis of information generated will be useful to make a sustainable management of the aquifers exploited by the corporation.

**Palavras-chave** – Monitoramento, Gestão, Distrito Federal.

---

<sup>1</sup> M.Sc., Geóloga da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, SAIN, Área Especial, ETA-R1, Laboratório Central, CAESB, Brasília, DF, CEP 70620-000, tel. (61) 3214-7930, fax (61) 3342-1606, e-mail: [leticiamoraes@caesb.df.gov.br](mailto:leticiamoraes@caesb.df.gov.br).

<sup>2</sup> M.Sc., Geólogo da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, SAIN, Área Especial, ETA-R1, Laboratório Central, CAESB, Brasília, DF, CEP 70620-000, tel. (61) 3214-7930, fax (61) 3342-1606, e-mail: [robertosantos@caesb.df.gov.br](mailto:robertosantos@caesb.df.gov.br).

<sup>3</sup> Geóloga da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, SAIN, Área Especial, ETA-R1, Laboratório Central, CAESB, Brasília, DF, CEP 70620-000, tel. (61) 3214-7930, fax (61) 3342-1606, e-mail: [michellesouza@caesb.df.gov.br](mailto:michellesouza@caesb.df.gov.br).

## **1 - INTRODUÇÃO**

A CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – vem incrementando ao longo dos últimos anos, a utilização de águas subterrâneas captadas através de poços tubulares profundos destinados ao abastecimento público. A partir do ano de 2003, a Companhia iniciou um processo de incorporação dos sistemas de abastecimento de água dos condomínios residenciais, na sua grande maioria atendidos por poços tubulares profundos. Aliado a este crescimento, vem ocorrendo o aprimoramento das legislações, as quais impõem um maior rigor aos padrões de qualidade da água captada, assim como exigem melhores estruturas de monitoramento e proteção das águas subterrâneas.

Visando atender a estas as necessidades, assim como proporcionar melhores instrumentos de gestão de águas subterrâneas para a Companhia, foi criado em 2006 um setor específico, denominado Coordenadoria de Águas Subterrâneas, o qual implantou um programa para o monitoramento qualitativo e quantitativo de seus sistemas de abastecimento com captação de águas subterrâneas por meio de poços tubulares profundos.

O presente trabalho apresenta os primeiros resultados desse programa, com as conseqüentes contribuições geradas para o melhor conhecimento científico dos aquíferos da região do Distrito Federal, assim como mostra a eficiência de um sistema de monitoramento como instrumento de gestão dos aquíferos de interesse da CAESB.

## **2 – GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA**

A geologia do Distrito Federal caracteriza-se por rochas metamórficas de idade proterozóica, recobertas em quase toda a sua extensão por solos espessos. O comportamento hidrogeológico destes meios é bastante distinto. Campos & Freitas-Silva (1998) diferenciam os reservatórios subterrâneos em dois grandes domínios: o Poroso e o Fraturado. O Domínio Poroso é formado pelas coberturas de solos, saprolitos e aluviões, que caracterizam aquíferos cujo grau de importância é proporcional às suas espessuras saturadas e condutividades hidráulicas. O Domínio Fraturado é subdividido em Sistemas de acordo com as grandes unidades litoestratigráficas ocorrentes no Distrito Federal, ou seja, os Grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí. Os Sistemas Paranoá e Canastra são ainda subdivididos em subsistemas, de acordo com a proporção entre argila e areia e a presença de lentes carbonáticas (Campos & Trogër, 2000). A Tabela 1 mostra uma síntese das características de cada sistema e subsistema aquífero do Domínio Fraturado, bem como suas respectivas áreas dentro do Distrito Federal.

Tabela 1 - Classificação dos Sistemas/Subsistemas aquíferos fraturados do Distrito Federal e vazões médias dos poços. (modificado de Cadamuro, 2002).

Sistema Aquífero	Subsistema Aquífero	Geologia	Q <sub>média</sub> (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Área (Km <sup>2</sup> )
Paranoá	S/A	Ardósias (A), metassiltitos e quartzitos (S)	12,70	29,30
	A	Ardósias	4,39	541,60
	R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	Quartzitos (Q <sub>3</sub> ) e intercalações rítmicas de quartzitos finos a médios e metassiltitos (R <sub>3</sub> )	12,20	1.389,10
	R <sub>4</sub>	Intercalações centimétricas regulares de quartzitos finos e metassiltitos argilosos	6,15	1.010,80
	PPC	Metassiltitos, metargilitos, quartzitos e metacarbonáticas	9,10	458,90
Canastra	F	Filitos	7,50	913,50
	F/Q/M	Filitos com associações de quartzitos e mármores	33,00	46,10
Araxá	-----	Xistos e lentes de quartzitos micáceos	3,15	353,70
Bambuú	-----	Metapelitos de baixo grau	5,21	1.047,60

A distribuição dos poços tubulares profundos da CAESB em áreas urbanas, em relação aos sistemas e subsistemas aquíferos, ocorre da seguinte maneira: **67** poços no subsistema aquífero R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>; **27** poços no subsistema aquífero R<sub>4</sub>; **20** no subsistema PPC; **15** poços no subsistema F; **16** poços no subsistema F/Q/M e **5** poços no Sistema Araxá. A Figura 1 apresenta a localização dos poços sobre o mapa geológico do Distrito Federal.

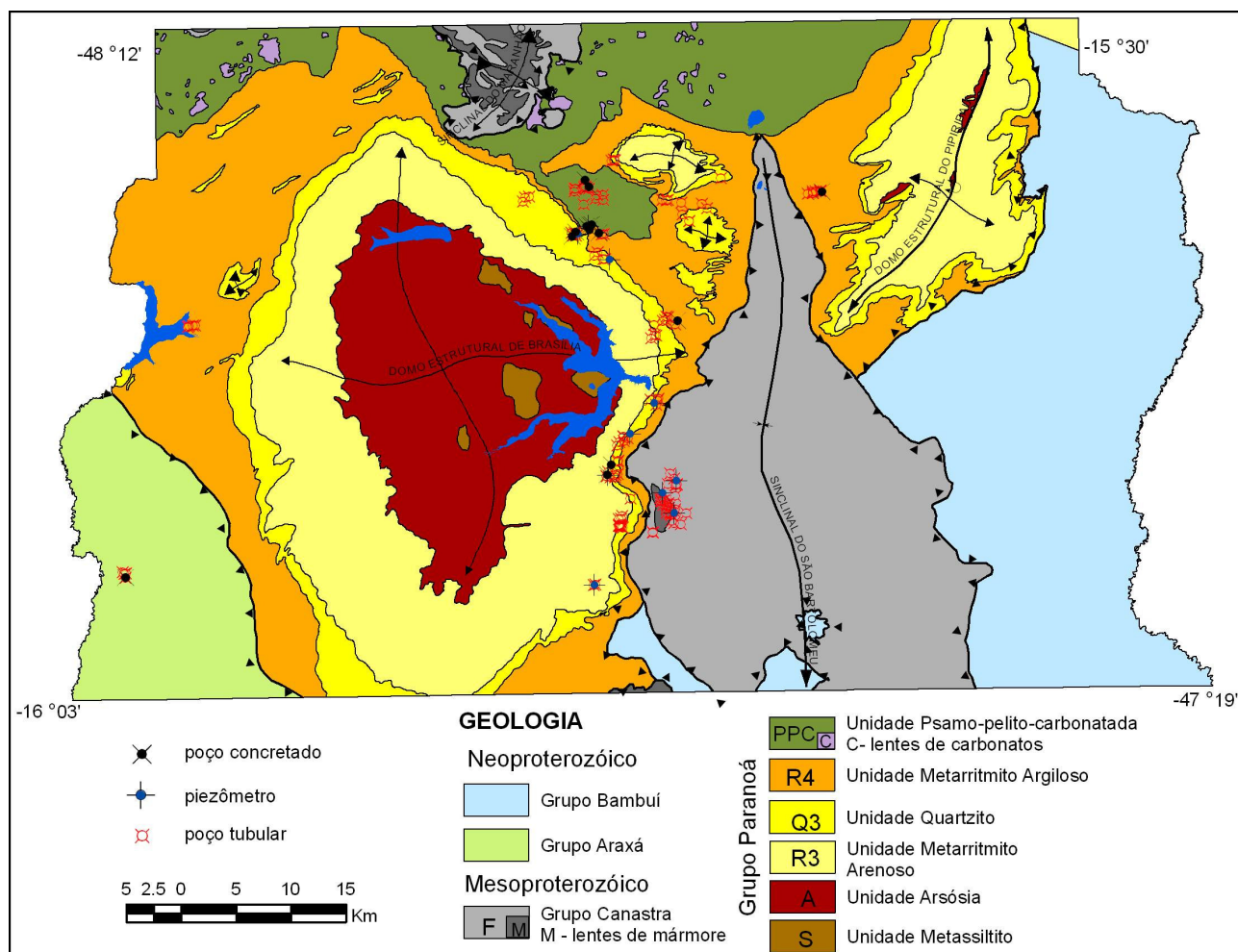


Figura 1 - Mapa geológico simplificado do Distrito Federal com a localização dos poços da CAESB

### 3 – ASPECTOS LEGAIS

No âmbito do Distrito Federal, destaca-se para esse trabalho a criação da Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA, em 16 de junho de 2004. A ADASA assumiu a competência de outorgar o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio do Distrito Federal, ou delegados pela União ou Estados, bem como declarar a reserva de disponibilidade hídrica nos processos de uso do potencial de energia hidráulica do setor elétrico.

Uma das exigências colocadas pela ADASA em suas Outorgas de Direito de Uso dos poços é a necessidade de monitoramento qualitativo e quantitativo dos sistemas aquíferos explorados. No caso do monitoramento qualitativo, a CAESB supera as exigências legais, ao monitorar 27 parâmetros físico-químicos e biológicos. Inicialmente, adotou-se periodicidade semestral para as análises, com vistas a detectar eventuais efeitos de sazonalidade na qualidade das águas subterrâneas.

Com relação ao monitoramento quantitativo, a CAESB apresentou à ADASA uma proposta alternativa, que consta do controle da produção em todos os poços, aliada à medição mensal do nível estático de poços considerados representativos de cada sistema aquífero explorado.

### 4 – OS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

O serviço de abastecimento de água potável pela CAESB em áreas urbanas do Distrito Federal é realizado por meio de cinco sistemas principais. No caso do Sistema de São Sebastião, a captação de águas subterrâneas representa a única fonte de abastecimento. Já nos outros sistemas, a produção ocorre de forma mista e as fontes de águas subterrâneas atuam de forma complementar à oferta de águas superficiais. A Tabela 2 mostra o comparativo das vazões produzidas no ano de 2007, no qual as águas subterrâneas representam um total de 4,7% da produção.

Tabela 2 - Comparativo das vazões produzidas em 2007

Sistema	Subsistema (poços)	Vazões Produzidas		
		Q <sub>média produzida total (L/s)</sub>	Q <sub>média produzida subterrânea (L/s)</sub>	%
Descoberto	Água Quente	4.203,35	4,64	0,1%
Sobradinho / Planaltina	Sobradinho	618,79	92,62	15,0%
	Arapoanga		24,77	4,0%
Torto / Santa Maria	Itapoã	1.906,10	23,15	1,2%
	Jardim Botânico		42,81	2,2%
São Sebastião		131,94	131,94	100,0%
Brazlândia	Incra-8	110,29	5,41	4,9%
<b>TOTAL</b>		<b>6.970,47</b>	<b>325,33</b>	<b>4,7%</b>

Os volumes de água subterrânea utilizados para abastecimento público vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos, reflexo da incorporação pela CAESB dos poços situados nos

diversos condomínios horizontais que surgiram no Distrito Federal após a década de 90. Conforme mostra a Figura 2, a produção em 2007 atingiu 10.260 mil m<sup>3</sup>.

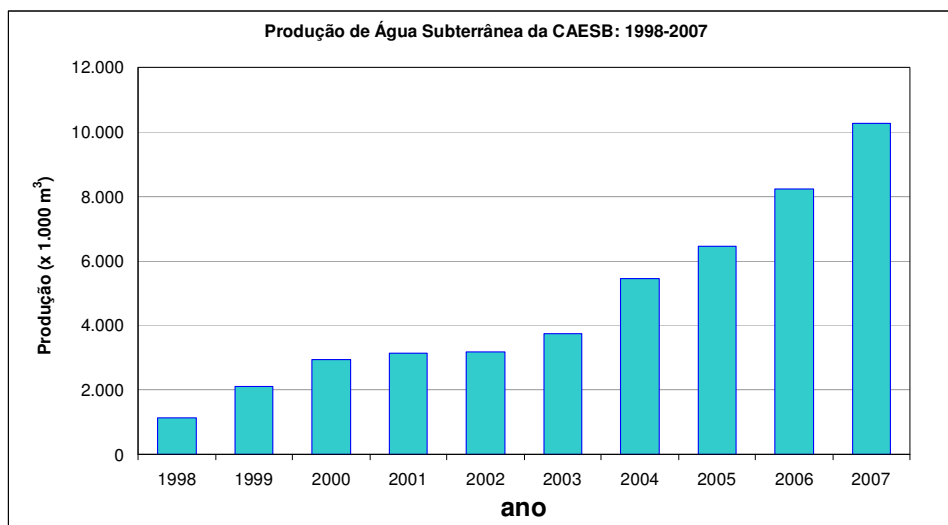


Figura 2 - Produção de água subterrânea pela CAESB (1998-2007).

## 5 – O MONITORAMENTO DE POÇOS DA CAESB

Um dos parâmetros mais importantes a ser considerado em um plano de monitoramento é o fator escala, o que identifica as dimensões da área a ser controlada e seus objetivos. Enquanto um monitoramento em larga escala permite um controle geral da situação dos recursos hídricos, principalmente qualitativa, o monitoramento em escala de detalhe permite a individualização de eventos poluentes e funciona como base para a modelagem do comportamento de aquíferos e suas respostas frente a um determinado regime de exploração. No caso brasileiro, os programas de monitoramento em larga escala podem ser viabilizados mais facilmente pelos órgãos públicos de controle ambiental, devido à maior abrangência de suas áreas de atuação. Já no caso dos programas de monitoramento em escala de detalhe, existe uma melhor possibilidade de realização por empresas de saneamento, mineração ou indústrias, considerando que estes tipos de empresa possuem interesses mais específicos.

No caso da CAESB, em que é necessário o conhecimento local de cada um dos aquíferos explorados, pode-se dizer que o monitoramento se faz em escala de detalhe ou semi-detalhe. Porém, dada à grande abrangência espacial e diversidade geológica dos sistemas operados pela Companhia na região do DF, pode-se também dizer que as informações geradas contribuem bastante para os estudos de escala regional.

## 5.1 – O Monitoramento Quantitativo

A implantação de uma rotina de monitoramento de níveis dos poços justificou-se não só pela necessidade da CAESB de identificar as respostas dos aquíferos frente ao regime de exploração, mas também por novas exigências da ADASA que, a partir de 2007, inclui a obrigação de realizar o monitoramento de níveis dos poços, quando da emissão de suas respectivas Outorgas de Direito de Uso.

Optou-se então pelo monitoramento das reservas de águas subterrâneas por meio do estudo do comportamento do nível estático (NE) dos poços, em associação com o estudo do regime de bombeamento e das condições climáticas da região. Atualmente estão sendo monitorados os níveis estáticos de 27 poços, considerados representativos dos aquíferos que a CAESB explora. Entende-se como poço representativo aquele que possui conectividade hidráulica com outros poços situados em regiões onde existe uma concentração de poços, como é o caso das áreas urbanizadas. Deste modo, a análise temporal do comportamento de um poço representativo serve para ilustrar o comportamento geral de todo o aquífero frente às variações climáticas e ao regime de exploração adotado nos poços. As possíveis respostas que os níveis estáticos podem apresentar são:

- oscilações contínuas, correspondentes aos períodos de chuva e seca;
- oscilações irregulares, indicando mudanças no regime de bombeamento ou interferências de outros poços;
- decaimento contínuo e progressivo do nível indicando uma extração maior que a capacidade de renovação do aquífero;
- estabilidade do nível ou oscilação em torno de uma média constante, indicando que o volume que está sendo extraído é compensado pela recarga.

Até março de 2008, já haviam sido realizadas 251 medições de níveis estáticos, incluindo-se aí poços exclusivos para observação e poços em operação. Inicialmente, estão sendo identificados os padrões de comportamento de cada poço. Diante dos dados obtidos até o momento, algumas ações já foram adotadas, tais como: a adequação da produção de água subterrânea por meio da compensação sazonal das vazões de captações superficiais, no caso de sistemas mistos, ou a priorização do controle de perdas físicas nos sistemas onde os volumes explorados são maiores.

Dentre os poços monitorados, destaca-se o poço SS-09, no sistema de São Sebastião. Este poço está sendo monitorado desde o ano de 2004 e os resultados são mostrados nas Figuras 3 e 4.

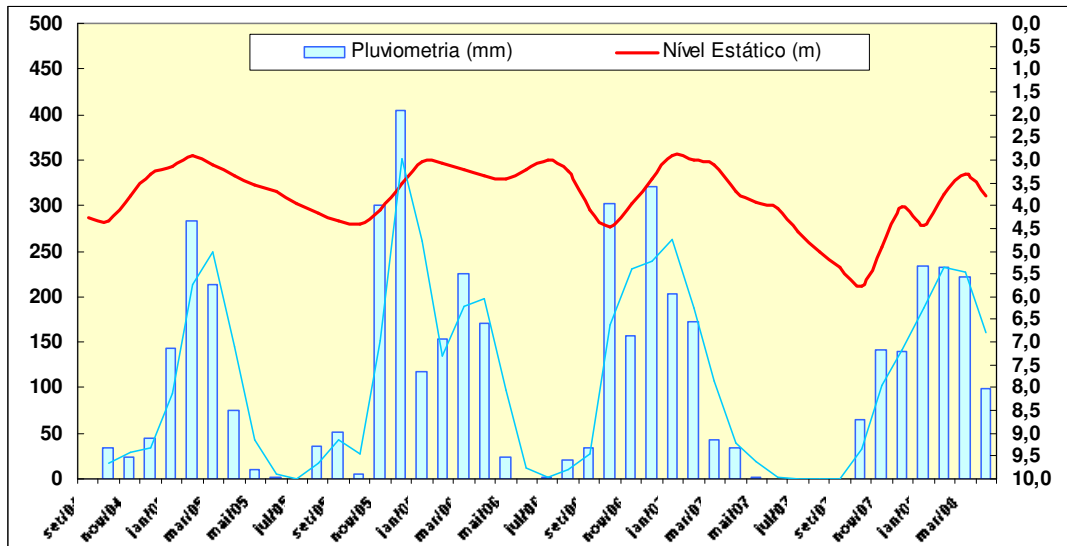


Figura 3 – Comportamento do NE x Pluviometria, na região de São Sebastião, DF

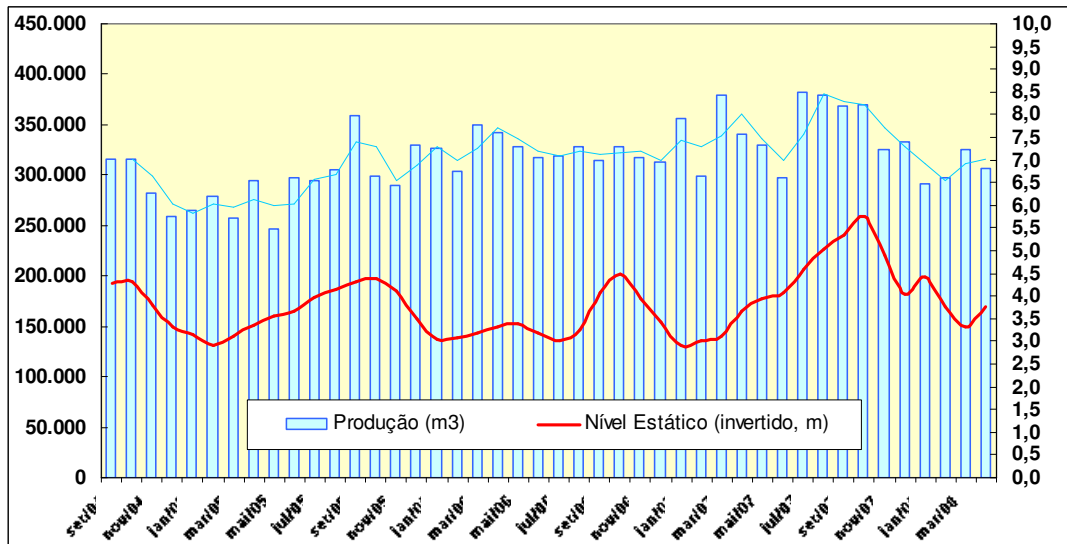


Figura 4 – Comportamento do NE x Produção, no sistema de São Sebastião, DF

A Figura 3 mostra que a oscilação sazonal do nível estático coincide com as variações pluviométricas, o que mostra a rapidez da circulação das águas subterrâneas nesse aquífero. Observa-se ainda que, entre os anos de 2004 e 2007, o nível estático oscilava entre 3,0 e 4,5 metros. Porém, depois deste período o nível atingiu patamares inferiores, o que pode ser um reflexo do ligeiro aumento na produção a partir de julho de 2007 (Figura 4). A continuidade do monitoramento poderá dizer se existe uma tendência de estabilização do nível em um novo patamar, ou se haverá necessidade de um redimensionamento da produção.

A atual estrutura de monitoramento dos níveis de 27 poços foi implantada em 2007 e os resultados preliminares são mostrados na Figura 5. Embora ainda não se possa determinar uma tendência clara do comportamento do nível destes poços, pode-se observar que a amplitude da

oscilação dos níveis varia bastante entre os poços, fruto das diferenças construtivas e da diversidade da posição geomorfológica dos poços.

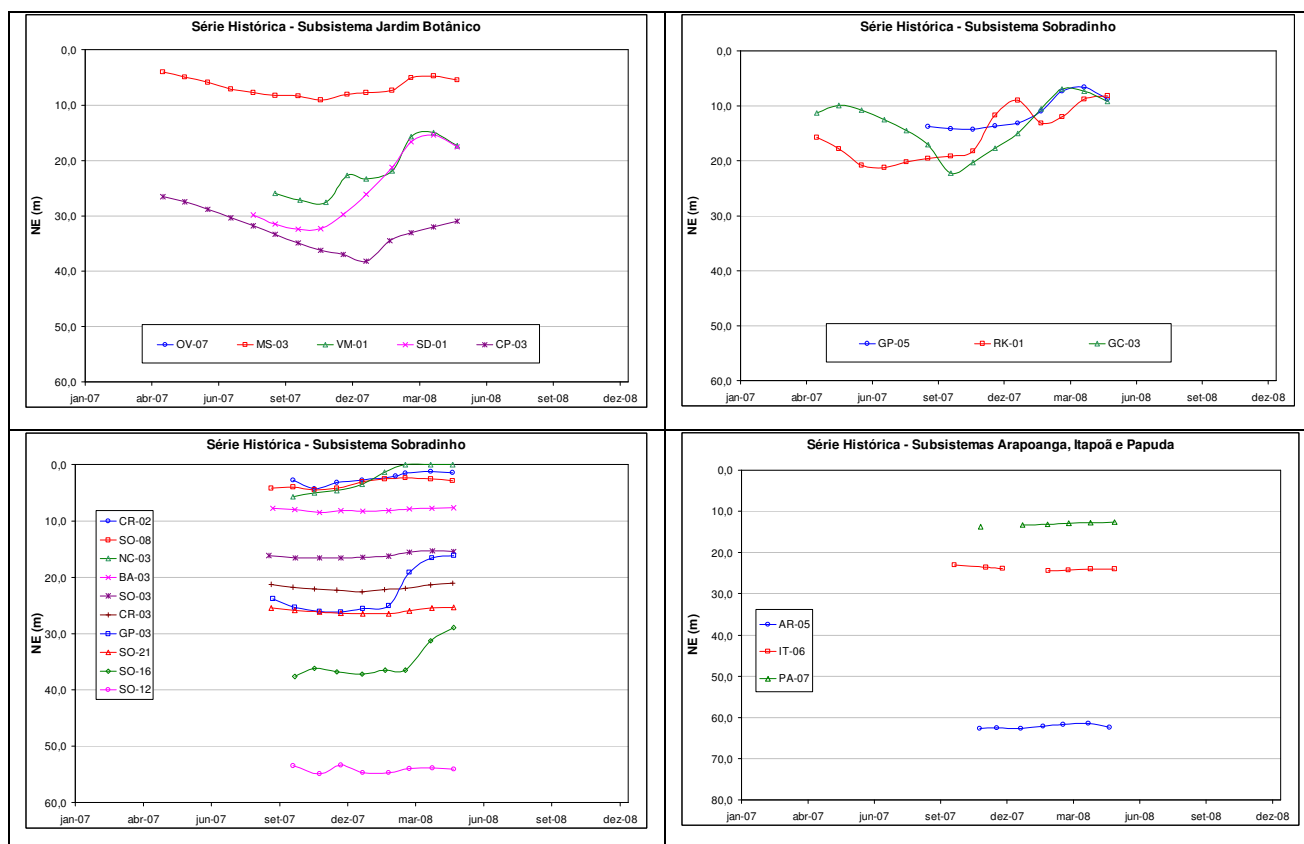


Figura 5 – Variação dos níveis estáticos dos poços monitorados

## 5.2 – Monitoramento Qualitativo

Segundo Fetter (1994), há quatro razões para se monitorar a qualidade da água subterrânea: determinar a qualidade da água de uma região, determinar a qualidade da água de um poço específico ou campo de poços de abastecimento, determinar a extensão de contaminação de uma fonte conhecida e monitorar uma fonte potencial de contaminação. O autor enfatiza que, se o propósito é avaliar o comportamento hidroquímico de uma região, faz-se necessário conhecer os detalhes construtivos dos poços e de que aquífero a água está sendo captada. Uma vez que esses estudos são normalmente desenvolvidos para mapear a distribuição de íons em um aquífero específico, poços que captam água de mais de um aquífero não devem ser utilizados.

No caso da CAESB, o monitoramento qualitativo da água subterrânea tem como objetivos: a supervisão da qualidade da água destinada ao abastecimento público, o conhecimento da qualidade natural da água dos aquíferos e a avaliação do perigo de contaminação da água (Santos & Matos, 2006). Ressalta-se que o monitoramento é realizado em poços de produção e que muitas vezes os perfis geológicos e construtivos dos poços não são conhecidos, o que traz limitações em relação à interpretação dos dados.



O atual programa de monitoramento sistemático da qualidade da água desses poços da CAESB começou a ser realizado a partir da criação, no ano de 2006, da Coordenadoria de Águas Subterrâneas, a qual tem entre suas atribuições, programar e concretizar o monitoramento hidrogeológico dos aquíferos de interesse da Companhia, bem como analisar e interpretar os dados levantados. Inicialmente a amostragem tem sido realizada com periodicidade semestral, buscando-se caracterizar a resposta dos aquíferos nos períodos seco e chuvoso. Até o momento, três campanhas de amostragem foram realizadas, a primeira no período de seca de 2006, a segunda no período de chuvas de 2007 e a terceira na seca de 2007. Os parâmetros monitorados são: pH, turbidez, sólidos em suspensão, condutividade, sólidos totais dissolvidos, dureza, alcalinidade, CO<sub>2</sub> livre, Demanda Química de Oxigênio (DQO), ferro total, manganês, alumínio, flúor, cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, nitrogênio total, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, coliformes totais e coliformes termo-tolerantes (*E.coli*).

Até o final de 2007, já haviam sido realizadas 9.706 análises físico-químicas e biológicas. A interpretação destas análises deflagraram-se ações mais eficientes de manutenção dos poços e promoveu-se readequações das rotinas operacionais, o que resultou em comprovada melhoria da qualidade da água distribuída.

### 5.2.1 – Classificação Hidroquímica

A classificação hidroquímica dos aquíferos foi feita pela plotagem dos resultados das análises em diagramas de Piper (Figura 6). Amostras com indícios de alteração antrópica e amostras que não apresentaram balanço iônico satisfatório foram eliminadas da análise.

Os resultados apresentaram-se bastante homogêneos para os aquíferos F e F/QM. Já nos demais aquíferos houve uma maior dispersão das amostras no diagrama. O aquífero F/Q/M apresenta águas bem caracterizadas como bicarbonatadas cálcicas, refletindo a geologia formada por calcifilitos e mármore. O aquífero F apresenta águas bem homogêneas no campo dos ânions, mas apresenta variação no campo dos cátions, com amostras cálcicas a magnesianas, coerente com a geologia formada por clorita filitos e clorita carbonato filitos. O aquífero F/Q/M não apresentou variações sazonais, já o aquífero F apresentou maior quantidade de amostras magnesianas no período chuvoso. O Aquífero R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> apresenta águas magnesianas, mistas e sódicas no campo dos cátions e bicarbonatadas, mistas ou cloretadas no campo dos ânions, sendo predominantes as bicarbonatadas magnesianas. O aquífero R<sub>4</sub> apresenta amostras dispersas no campo dos cátions, mas há ampla predominância das águas bicarbonatadas no campo dos ânions. O aquífero PPC apresenta águas bicarbonatadas magnesianas a sódicas, sendo as primeiras predominantes no período chuvoso. O aquífero Araxá apresenta águas predominantemente bicarbonatadas cálcicas a magnesianas.



### 5.2.2 – Análise de Correlações

O estudo de correlação é feito para avaliar a relação entre duas medidas e tem como propósito verificar se os valores em questão estão associados e/ou predizer o valor de uma variável a partir de um valor conhecido da outra.

A elaboração da análise de correlações nos poços da CAESB teve como objetivo buscar as relações entre condutividade elétrica e as alterações de origem antrópica verificadas nos poços. Tal análise parte da constatação preliminar de que os principais indicadores químicos destas alterações são os íons cloreto e nitrato e que o aumento de suas concentrações provoca um aumento correspondente na condutividade elétrica, especialmente nos aquíferos cuja concentração natural de íons dissolvidos é muito baixa. Uma vez estabelecidas estas correlações, é possível detectar eventuais alterações antrópicas nos aquíferos por meio de medidas *in situ* da condutividade elétrica, dispondo de um modo mais rápido e econômico para a avaliação prévia da qualidade da água dos poços.

A análise das correlações envolveu a elaboração de matrizes de correlação e de diagramas de dispersão, ambos feitos individualmente para cada aquífero da região. Os índices entre os íons principais e condutividade elétrica são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Índices de correlação entre a condutividade elétrica e os principais íons analisados em amostras de água dos poços da Caesb.

	Aquífero R3/Q3	Aquífero PPC	Aquífero R4	Aquífero F	Aquífero F/Q/M	Aquífero Araxá
Parâmetro	C.E.	C.E.	C.E.	C.E.	C.E.	C.E.
SDT	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ca <sup>+2</sup>	0,62	0,48	0,73	0,98	0,40	0,72
Mg <sup>+2</sup>	0,39	0,24	0,40	0,64	0,46	0,10
Na <sup>+</sup>	0,86	0,94	0,21	0,10	0,32	0,72
K <sup>+</sup>	0,82	0,95	0,11	0,57	0,27	0,63
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,27	0,20	0,89	0,96	0,61	0,59
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	0,03	-0,10	0,13	0,29	0,04	
Cl <sup>-</sup>	0,93	0,96	0,18	-0,07	0,49	0,74
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0,68	0,22	0,23	0,15	-0,03	0,45
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	0,74	0,37	-0,02	0,08	0,21	0,03
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,96	0,94	-0,05	-0,19	0,31	0,66
C.E. - Condutividade Elétrica; SDT – Sólidos Totais Dissolvidos.						
Índice de correlação: 1,00 a 0,9 – correlação muito forte; 0,89 a 0,7 – correlação forte						

Pela Tabela 3 vê-se que a correlação entre os diversos íons e a condutividade elétrica é bastante distinta de um aquífero para outro. Nos subsistemas aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC, a condutividade elétrica apresentou correlação forte a muito forte com os íons Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Nos aquíferos F e R<sub>4</sub>, com os íons Ca<sup>+2</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e no aquífero Araxá com os íons Ca<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>.

No aquífero F/Q/M, apesar dos índices não serem muito elevados, destaca-se a correlação com o íon  $\text{HCO}_3^-$ , seguido dos íons  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Cl}^-$ . Os diagramas de dispersão apresentados na Figura 7 fornecem uma melhor visualização e entendimento dos graus de relacionamento entre esses parâmetros.

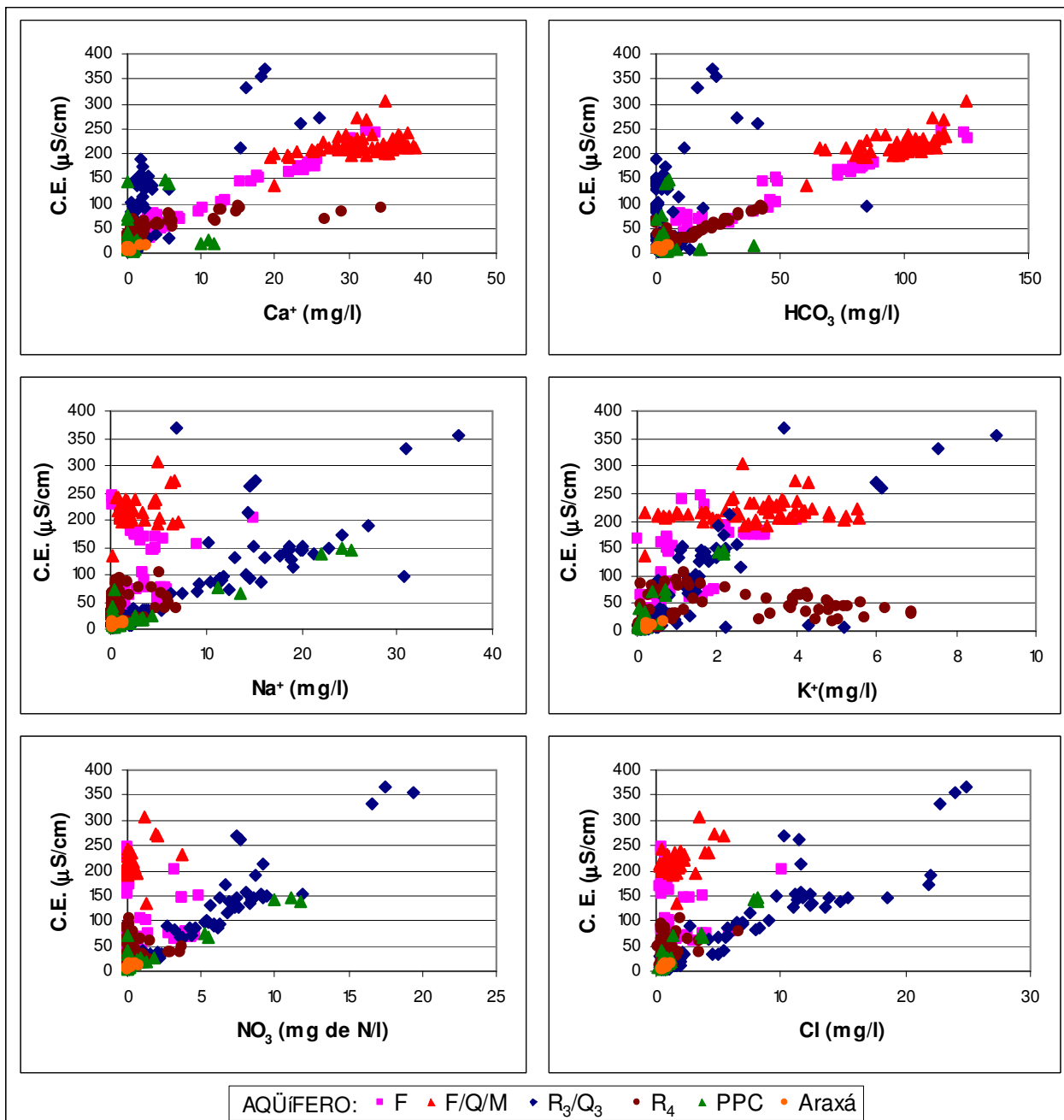


Figura 7- Diagramas de correlação entre condutividade elétrica e principais íons analisados.

Os diagramas mostram que, nos subsistemas aquíferos F, F/Q/M e R<sub>4</sub>, a condutividade elétrica apresenta tendência linear crescente com os íons  $\text{Ca}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  e, nos aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC, com os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{NO}_3^-$ . O aquífero Araxá não mostra relação evidente entre a condutividade elétrica e os íons devido ao baixo número de poços.

Do que foi observado, destaca-se a importância da correlação entre a condutividade elétrica e os íons cloreto e nitrato nos subsistemas aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC. Nesses aquíferos, os altos valores de condutividade elétrica são indicativos da presença de cloreto e nitrato de origem antrópica. Os gráficos de dispersão entre os aquíferos e íons citados estão individualizados na Figura 8.

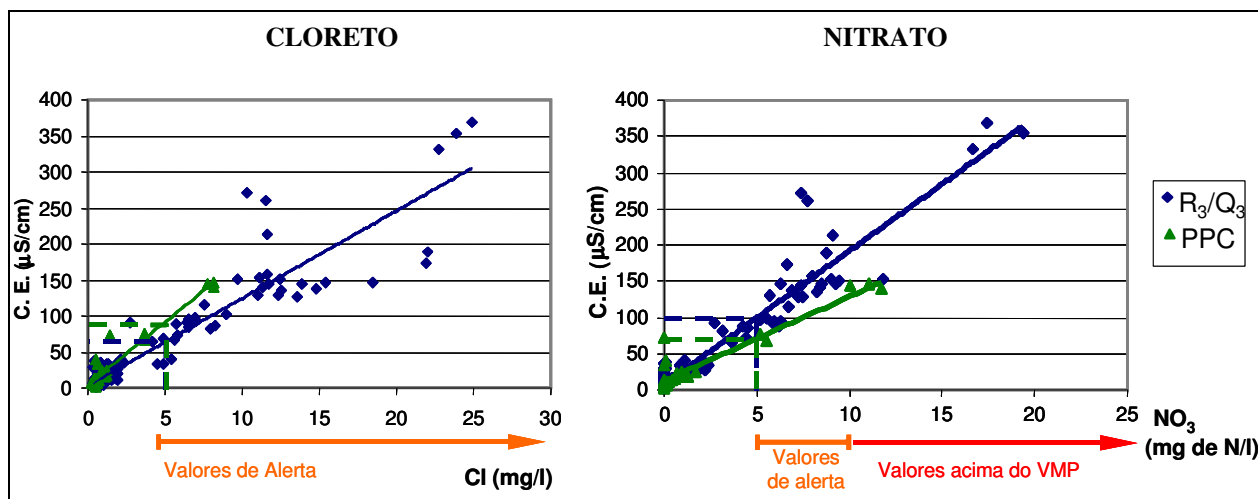


Figura 8- Diagramas de dispersão entre condutividade elétrica e os íons cloreto e nitrato para os aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC.

Os diagramas da Figura 8 mostram que a maioria das amostras possuem valores de condutividade muito baixos (< 50 µS/cm), os quais podem ser associados à condição natural dos aquíferos. Em contrapartida, valores de condutividade acima de 100 µS/cm correspondem a concentrações de cloreto e nitrato acima dos valores definidos como de alerta pela CAESB, os quais são indicativos da ação antrópica e são, respectivamente, 5 mg/L e 5 mg de N/L. No caso do aquífero R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>, 65 µS/cm de condutividade corresponde ao valor de alerta para cloreto (5 mg/L) e 100 µS/cm ao valor de alerta para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (5 mg de N/L). Para o aquífero PPC, 90 e 70 µS/cm são os valores correspondentes às concentrações de alerta para cloreto e nitrato, respectivamente.

É importante salientar que, no caso do aquífero PPC, as condutividades elétricas mais altas podem ocorrer devido à contribuição natural de carbonatos. Porém, para grande parte dos poços incorporados dos sistemas condominiais, não existem relatórios com informações sobre o perfil geológico dos poços, o que poderia confirmar tal suposição.

Além da correlação entre condutividade elétrica e íons, nos subsistemas aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC também se destacam as fortes correlações dos íons Cl<sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entre si e também com Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, conforme apresentado na Tabela 4. Essas correlações podem estar associadas a uma fonte comum para esses elementos.

Tabela 4 – Índices de correlação entre os íons sódio, potássio, cloreto e nitrato nos aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e F/Q/M.

Subsistema aquífero R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>				Subsistema aquífero PPC				
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Na <sup>+</sup>	1,00				1,00			
K <sup>+</sup>	0,69	1,00			0,96	1,00		
Cl <sup>-</sup>	0,90	0,71	1,00		0,99	0,98	1,00	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,82	0,76	0,93	1,00	0,99	0,97	0,99	1,00
Índice de correlação: 1,00 a 0,9 – correlação muito forte; 0,89 a 0,7 – correlação forte								

Por fim, uma vez que a correlação entre duas variáveis não implica necessariamente uma relação de causa e efeito, fez-se uma análise de quais seriam os principais íons causadores de condutividade elevada nos poços. Tal estimativa foi feita multiplicando-se a concentração do íon pelo fator de condutividade apresentado na Tabela 5, segundo a equação abaixo.

$$CE \cong \sum_i (C_i \times f_i) \quad (1)$$

Onde: CE= condutividade elétrica (µS/cm)

C<sub>i</sub>= concentração do íon *i* em solução, meq/L ou mg/L

f<sub>i</sub>= fator de condutividade para o íon *i* (ver Tabela 5).

Tabela 5 – Fator de condutividade para os íons comumente encontrados na água.

ION	Fator de Condutividade f <sub>i</sub> µS/cm	
	Per meq/L	Per mg/L
Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	52,0	2,6
Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	46,6	3,82
Potássio (K <sup>+</sup> )	72,0	1,84
Sódio (Na <sup>+</sup> )	48,9	2,13
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	43,6	0,715
Carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> )	84,6	2,86
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )	75,9	2,14
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	71,0	1,15
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	73,9	1,54
Fonte: Tchobanoglous & Schroeder, 1985		

Os resultados, bem como a comparação com o resultado de condutividade medido em laboratório, estão apresentados graficamente na Figura 9. Os gráficos dos subsistemas aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC representam apenas os poços com condutividade elétrica superior a 50 µS/cm.

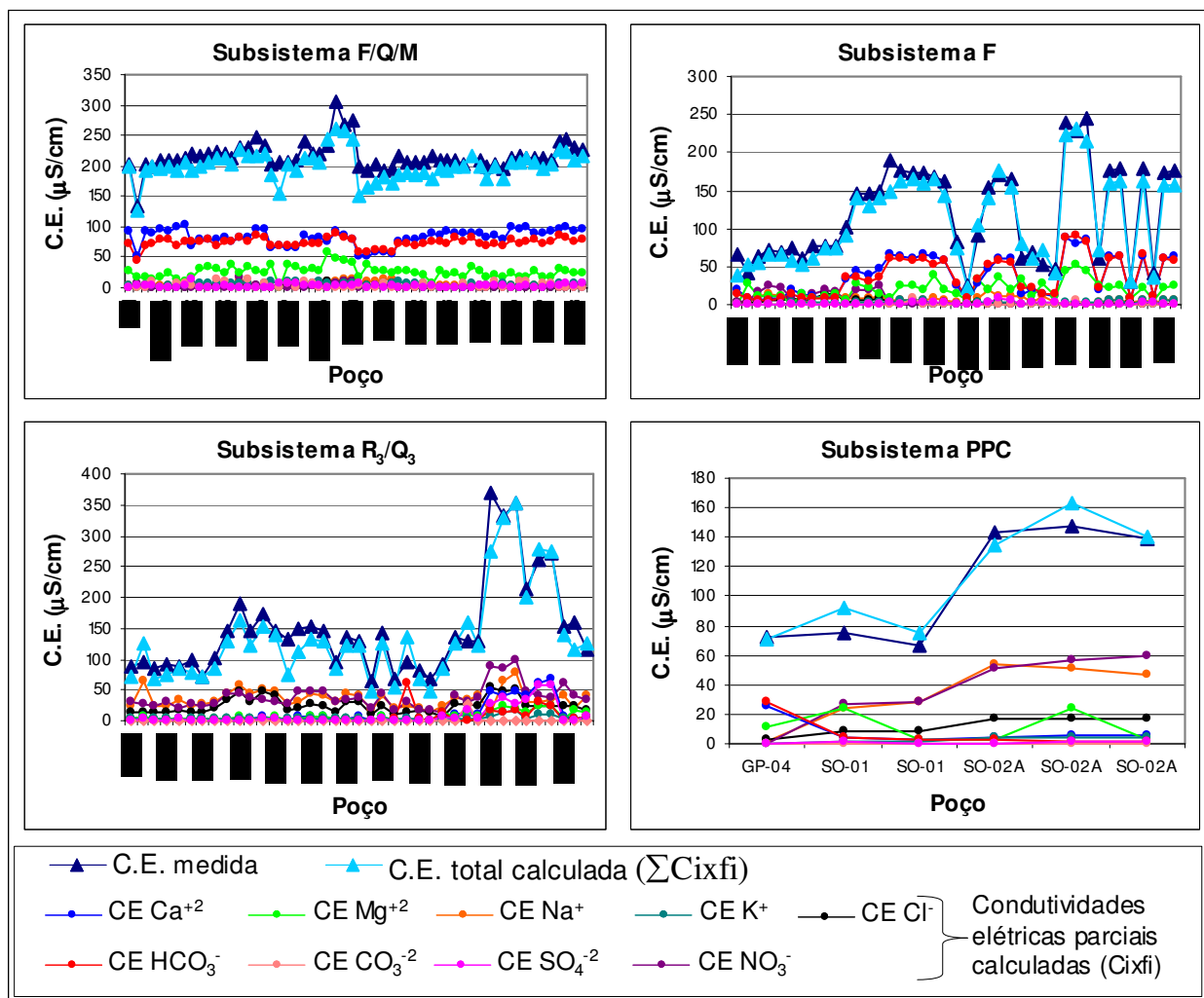


Figura 9- Condutividades parciais x condutividades totais medida e calculada.

Os diagramas da Figura 9 mostram que os principais íons causadores de condutividade mais alta nos poços dos aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC são o Na<sup>+</sup>, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e o Cl<sup>-</sup>. No aquífero PPC, ocorre exceção para o poço GP-04, cuja condutividade mais alta é causada pelos íons Ca<sup>+</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Já nos aquíferos F/Q/M e F, que possuem condutividade elétrica naturalmente alta, os principais causadores de condutividade são os íons Ca<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Mg<sup>+</sup>. Os gráficos dos aquíferos Araxá, R<sub>4</sub> e os gráficos dos poços com condutividade inferior a 50  $\mu\text{S/cm}$  dos aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC não foram apresentados, pois não apresentaram íons que se destacassem em relação aos demais como causadores de condutividade.

## 6 – CONCLUSÕES

As informações geradas pelo programa de monitoramento qualitativo e quantitativo dos poços da CAESB em áreas urbanas têm se revelado um importante instrumento de gestão dos sistemas de abastecimento público que utilizam poços tubulares profundos.

A série histórica inicial, gerada a partir do monitoramento sistemático dos níveis já permite identificar as variações sazonais e possibilita as primeiras intervenções para a otimização da produção de água subterrânea. As informações geradas pelo monitoramento qualitativo subsidiaram um processo de melhoria da qualidade da água fornecida, pois orientaram as ações de manutenção dos poços e as readequações da rotina operacional.

A análise de correlações mostrou que a detecção de valores elevados de condutividade elétrica pode ser útil para se determinar a alteração dos valores naturais de certos parâmetros por meio da atividade antrópica. Tais correlações se revelaram com mais intensidade nos resultados das análises dos aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC, nos quais há uma forte correlação da condutividade com as concentrações de cloreto e nitrato. No aquífero R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub>, pode-se diagnosticar essas alterações para valores de condutividade elétrica a partir de 65 µS/cm e no aquífero PPC a partir de 70 µS/cm. A condutividade elétrica dos aquíferos R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> e PPC apresenta correlação forte com Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, íons que também se relacionam entre si, indicando fonte comum. Os íons Na<sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cl<sup>-</sup> destacam-se como os principais causadores de alta condutividade nesses aquíferos.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CADAMURO, A.L.M. 2002. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados Para Condomínios Residenciais do Distrito Federal, Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências - IG, Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF, 126 p.
- CAMPOS J. E. G. & FREITAS-SILVA, F. H. 1998. Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, vol. IV, 1998. Brasília, IEMA/SEMATEC/UnB, 85 p.
- CAMPOS, J. G. C. & TROGÈR, U. 2000. Groundwater occurrence in hard rocks in the Federal District of Brasília. A sustainable supply? Proceedings XXX IAH Congress, Cape Town, 2000, p. 109-113.
- FETTER C.W. 1994. Applied Hydrogeology. 3 ed. New York, Toronto, 691 p.
- SANTOS, R. M. M. & MATOS, P. M. 2006. Monitoramento das Águas Subterrâneas do Distrito Federal – Dados Preliminares. Congresso de Águas Subterrâneas, 14, Curitiba. Anais...CD Room.
- TCHOBANOGLIOUS, G. & SCHROEDER, E. D. 1985. Water Quality: *Characteristics, Modeling and Modification*. New York: Addison-Wesley Publishing Company. 1a Edição.