



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

ESTUDO DAS VARIAÇÕES DE SAIS TOTAIS
DISSOLVIDOS E RESISTIVIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS EM TRECHOS DOS
MUNICÍPIOS DE CATU E POJUCA-BA, POR MEIO
DE PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇOS.

JOÃO SANTANA DA CUNHA

SALVADOR – BAHIA

JANEIRO – 2008

Estudo das Variações de Sais Totais Dissolvidos e Resistividade das Águas Subterrâneas em Trechos dos Municípios de Catu e Pojuca-Ba, por meio de perfis Geofísicos de Poços.

por

JOÃO SANTANA DA CUNHA

GEO213 – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA APLICADA

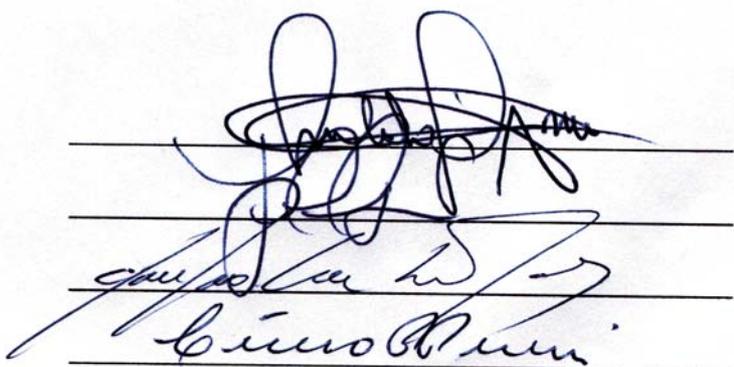
DO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DA

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Comissão Examinadora



MC. Geraldo Girão Nery - Orientador

Dr. Luiz César Corrêa Gomes

MC. Godofrêdo Correia Lima Junior

Geol. Cícero da Paixão Perreira

Data da aprovação: 25/01/2008

Temos horror às situações cujo controle não está nas nossas mãos. A verdade, porém, é esta: as situações que realmente nos fazem crescer são precisamente aquelas que não comandamos.

(Jacques Philippe)

Este trabalho é dedicado a minha
mãe Consuêlo(in memorian) e ao
meu pai João Ribeiro ; a minha
esposa Celma e aos meus filhos
Alex, Izabel e Yasmim.

RESUMO

Este trabalho é o resultado de um estudo geofísico usando uma técnica de perfilagem geofísica e dados hidrogeológico de poços tubulares numa área de 400km^2 , localizados entre os municípios de Catu e Pojuca. O estudo pretende aprofundar informações sobre o comportamento da qualidade das águas subterrâneas, resididas em sedimentos areno-porosos da formação São Sebastião e do Grupo Ilhas, existentes na região. Nesta pesquisa foi aplicado o método teórico proposto por Girão Nery, (1996), que permite determinar a qualidade da água, através de perfilagem geofísica de poços. O método consiste em estabelecer um relacionamento entre a resistividade das águas (R_w) com o seu teor de Sólido Totais Dissolvidos (STD) envolvidos, sendo expresso algebricamente por uma função hiperbólica. Este método analítico, quando aplicado a uma mesma unidade litológica, combinado com interpretações de perfis geofísicos e análises hidroquímicas, permite resultados qualitativos satisfatórios entre o teor de sólidos totais dissolvidos nas soluções.

ABSTRACT

This work is the result of a study using a geophysical technique of geophysical logging and hydrogeological data from tubular wells in an area of $400km^2$, located between Pojuca Catu-BA. The study aims to increase information on the behaviour of groundwater quality, in porous sediments of the São Sebastião formation and Ilhas group in the region. This research has applied to the method proposed by Girão Nery (1996), which determines the quality of the water through , geophysical logging and hydrochemical Analysis. The method establishes a relationship between the resistivity of water (R_w) and the content of total dissolved solids (STD) involved, and it is expressed by a hyperbolic function. This analytical method when applied to the same lithology, combined with geophysical interpretations and analysis hydrochemicals, allows satisfactory results between the content of total dissolved solids in the solutions.

ÍNDICE

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 Caracterização da Área de Estudo	3
1.1 Localização	3
1.2 Geologia	3
1.2.1 Litoestratigrafia	7
1.3 Hidrogeologia	9
CAPÍTULO 2 Teoria - Fundamentos de Perfilagem Geofísica	12
2.1 Propriedades petrofísicas	12
2.1.1 Porosidade (ϕ)	13
2.1.2 Resistividade e Fator de Formação	13
2.1.3 Conteúdo de Argila ou Argilosidade (VSH)	15
2.2 Tipos de Perfis Geofísicos	15
2.2.1 Perfil de Raios Gama	16
2.2.2 Perfil de Resistividade Profunda	16
2.2.3 Perfil Sônico	17
CAPÍTULO 3 Sistemática de trabalho adotada	19
3.1 Escolha da Área de Estudo	19
3.2 Aquisição de Dados	19
3.2.1 Perfis Conjugados	20
3.2.2 Parâmetros Hidroquímicos	24
3.2.3 Metodologia para obtenção de uma equação hiperbólica	26
3.2.4 Representação gráfica das análises	27
3.3 Interpretação Quantitativa dos Perfis Geofísicos	28
3.3.1 Planilhas de Cálculos Interpretativos	28

CAPÍTULO 4	Análise dos Resultados Interpretados e Conclusões	46
4.1	Perfis Conjugados	46
4.2	Interpretações das Planilhas de Cálculos	46
4.3	Interpretações dos Mapas	48
4.4	Conclusões e Recomendações	55
Agradecimentos	57
Referências Bibliográficas	58

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Mapa Plani-altimétrico do IBGE-1969, folha de Alagoinhas-Bahia, com a localização dos poços estudados.	5
1.2	Mapa com as principais unidades tectônicas regionais - CPRM 2005, base Brasil ao milionésimo.	6
1.3	Carta Estratigráfica da Bacia do Recôncavo, modificado de Caixeta et al., 1994.	9
1.4	Mapa Geológico da Área - Adaptado do Mapa de Geológico e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Fonte - CPRM, maio 2003, mostrando a área e a localização dos poços estudados.	10
3.1	Perfil conjugado lito-geofísico do poço PPS - 03; Fonte, CERB / Perfil Master.	21
3.2	Perfil conjugado lito-geofísico poço PPS - 07; Fonte, CERB / Hydrolog.	22
3.3	Tabela com arquivo LAS mostrando trecho da curva de indução profunda (DIR) estabilizada em $100.000\Omega m$, indicativo de água altamente diluída do poço PPS-07; Fonte, CERB / Hydrolog.	29
3.4	Exemplo de gráfico SN x DIR usado para corrigir as escalas estabilizadas em valores altíssimos em zonas de águas altamente diluídas do poço PPS - 07.	30
3.5	Perfil conjugado lito-geofísico do poço PPS - 09; Fonte, NR / Hydrolog.	31
3.6	Perfil conjugado lito-geofísico do poço PPI - 14; Fonte, CERB / Hydrolog.	32
3.7	Perfil conjugado lito-geofísico do poço PPI - 17; Fonte, CERB / Hydrolog.	33
3.8	Laudos Hidroquímicos dos poços PPS - 11 e PPI - 17.	34
3.9	Laudos Hidroquímicos dos poços PPI - 13 e PPS - 12.	34
3.10	Laudos Hidroquímicos dos poços PPS - 07 e PPS - 09.	35
3.11	Gráfico de aquisição dos Parâmetros a e b e tabela mostrando os dados de laboratório dos poços amostrados na Formação São Sebastião.	36
3.12	Gráfico de aquisição dos Parâmetros a e b e tabela mostrando os dados de laboratório dos poços amostrados nos sedimentos do Grupo Ilhas.	37
3.13	Modelo de figura gerada pelo diagrama de Stiff, mostrando a quantificação dos compostos iônicos; Programa Qualigraf/Funceme.	38
3.14	Exemplo de Gráfico Cross Plot para Aquisição de GRmax, GRmin e DTsh, parâmetros úteis na interpretação quantitativa de perfis.	39
3.15	Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço PPS-03.	40
3.16	Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poços do Poço PPS-07.	41
3.17	Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPS-09, com parâmetros a e b da Formação São Sebastião.	42

3.18	Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPS-09, com parâmetros a e b do grupo Ilhas.	43
3.19	Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPI-14, com parâmetros a e b do grupo Ilhas.	44
3.20	Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPI-17, com parâmetros a e b do grupo Ilhas.	45
4.1	Mapa Geológico da Área; Fonte, CPRM - 2003.	48
4.2	Mapa de Isoteor de STD dos poços existentes na formação São Sebastião. . .	49
4.3	Mapa de Isoteor de STD no Grupo Ilhas.	50
4.4	Mapa de Isoteor de STD da area, abrangendo todos os poços.	52
4.5	Mapa de Distribuição das Concentrações Químicas das Águas na Área de Estudo - Segundo Diagrama de STIFF, com indicação de três setores individualizados.	54
4.6	Perfil Conjugado Lito-geofísico e o perfil computado Hydro-log(TM), realizado pela Hydrolog Serviços de Perfilagens Ltda / CERB. Poço PPS - 10.	56

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve um crescente aumento nas preocupações com a questão ambiental e a preservação dos recursos hídricos. No Brasil, a exploração das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada e descontrolada. Conhecer a disponibilidade e a qualidade dos sistemas aquíferos é primordial para o estabelecimento de uma ótima política de gestão ambiental, principalmente para as águas subterrâneas, que se constituem a cada dia, reservas raras e muito vulneráveis à ação antrópica.

A água é o solvente mais abundante na natureza, sendo capaz de incorporar grandes quantidades de constituintes ao entrar em contato com os minerais dos solos e rochas por onde ela circula. Desta forma, a composição química das águas subterrâneas, via de regra, é reflexo da rocha por onde ela percola. Um sistema aquífero contém além da água, fases mineral, gasosa e de microrganismo, cuja interação depende de inúmeras variáveis, como seu ambiente geográfico, composição mineralógica, tipo de cimento, tempo de residência, entre outras (Barrison, 2003).

Neste trabalho a geofísica utiliza-se do método de perfilagem de poços, juntamente com a geologia e a hidroquímica, para avaliar a qualidade da água subterrânea e o teor de sais totais dissolvidos (STD), com base na determinação de um parâmetro petrofísico fundamental: a resistividade da água intersticial ou da formação (R_w). Os dados geraram mapas de contornos de iso-teores que por sua vez foram comparados com a geologia local, laudos hidroquímicos, diagrama de Stiff e planilhas de cálculos para interpretações quantitativa, que permitiram identificar várias suites litológicas com suas respectivas águas características.

A metodologia adotada para a realização deste trabalho foi a seguinte:

1. Acesso intensivo ao banco de dados da CERB (Companhia de Engenharia Rural da Bahia) e da empresa NR Perfurações de Poços Artesianos Ltda, para formulação do banco de dados da pesquisa.
2. Interpretação qualitativa e quantitativa dos dados de 9 perfilagens de poços, contendo Raios Gama, Indução, Potencial Espontâneo, Sônico e Cáliper, realizados pela empresa Hydrolog Serviços de Perfilagens Ltda.
3. Visita ao Campo, para coletas de amostras de águas para análises hidroquímicas de laboratório.

4. Execução e interpretação de planilhas para cálculos e balanceamentos hidroquímicos, e análises de curvas de distribuição.
5. Execução e interpretação de planilhas para cálculos STD, Porosidades, Condutividade e Resistividade.
6. Integração dos resultados e elaboração de mapas, tabelas e perfis conjugados (litológicos e geofísicos).

Os resultados são apresentados em quatro capítulos. No primeiro, um resumo das características fisiográficas e geológicas da área de estudo, apontando seus principais problemas hidrogeológicos. O capítulo 2, contempla uma revisão das bases físicas e dos desenvolvimentos teóricos da metodologia utilizada no trabalho. No capítulo 3 discute-se a metodologia usada e integra-se os resultados obtidos de laboratório com os dados obtidos da perfilagem de poços, enquanto no capítulo 4 são destacadas as principais conclusões extraídas destas análises.

CAPÍTULO 1

Caracterização da Área de Estudo

1.1 Localização

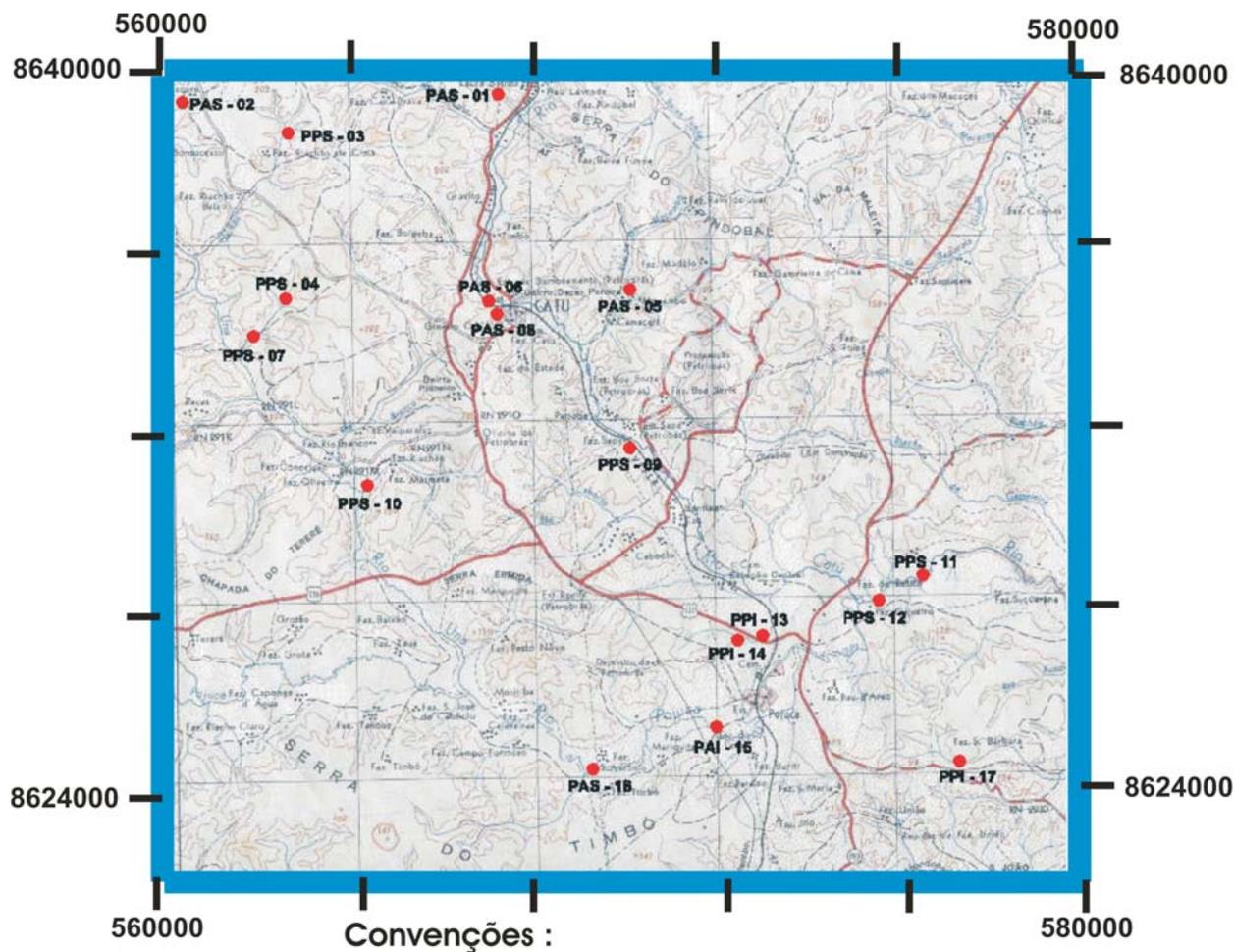
A área de estudo localiza-se na da Bacia Sedimentar do Recôncavo Central, estado da Bahia, abrangendo parcialmente os municípios de Catu e Pojuca, nos domínios da sub-bacia hidrográfica do rio Pojuca, entre as coordenadas 8.620.000m e 8.640.000m de latitude sul, 560.000m e 580.000m de longitude oeste, zona 24 S, datum WGS 84 da projeção UTM , resultando assim, em uma área total de 400km^2 . O acesso à área é feito por via terrestre, partindo de Salvador através das rodovias: BRs 324, 110 e 533 e da BA-093, Fig 1.1

1.2 Geologia

A Bacia Sedimentar do Recôncavo, com área emersa de 10.200km^2 , é uma bacia intracratônica do tipo meio-graben que faz parte de um sistema de rifts assimétricos (Recôncavo-Tucano-Jatobá), alinhados segundo as discontinuidades litoestratigráficas e geotectônicas pré-basilianas do Cráton São Francisco, limitados a oeste pelo Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá e a leste pelo Cinturão Salvador-Ésplanada(Fig 1.2), sendo preenchida com sedimentos do Jurássico, do Cretáceo Inferior e do Terciário-Quaternário, que podem atingir 6.000m de espessura ou mais. Esta bacia está subdividida em compartimentos estruturais cujos limites são: a leste o Alto de Salvador, a oeste e norte os altos de Canabrava, Boa União e Aporá que a separam da sub-bacia Tucano Sul (Sapucaia, 2001). É documentada como sendo constituída por três sequências evolutivas englobadas no Supergrupo Bahia, de acordo com Viana et al.,(1971); Milani e Davisson, (1988); Santos e Estrela Braga, (1990).

- pré-rift continental, caracterizada pelas camadas vermelhas fluviais do grupo Brotas (Formação Aliança e Sergi) e por sedimentos flúvios-lacustres da formação Itaparica, na base do grupo Santo Amaro. Corresponde a um prolongado estágio com pequena taxa de subsidência, condição essa que desenvolveu a depressão Afro-Brasileira.

- sin-rift: (correspondendo à sequência de lago): representada por folhelho com raros turbiditos da formação Candeias e pelos fanglomerados da formação Salvador, seguidos pelos sedimentos de leques deltáicos do grupo Ilhas (subdividido da base para o topo em formação Marfim, Taquipe e Pojuca) e pelos depósitos fluvio-lacustres do grupo Massacará.
- A fase pós-rift, segundo os mesmos autores, é representada por intercalações de folhelhos, arenitos grosseiros e conglomerados da formação Marizal e do grupo Barreiras.



PAS - Poço analisado no Ssb

PPS - Poço perfilado e analisado no Ssb

PAI - Poço analisado no Ilhas

PPI - Poço perfilado e analisado no Ilhas

Figura 1.1: Mapa Plani-altimétrico do IBGE-1969, folha de Alagoinhas-Bahia, com a localização dos poços estudados.

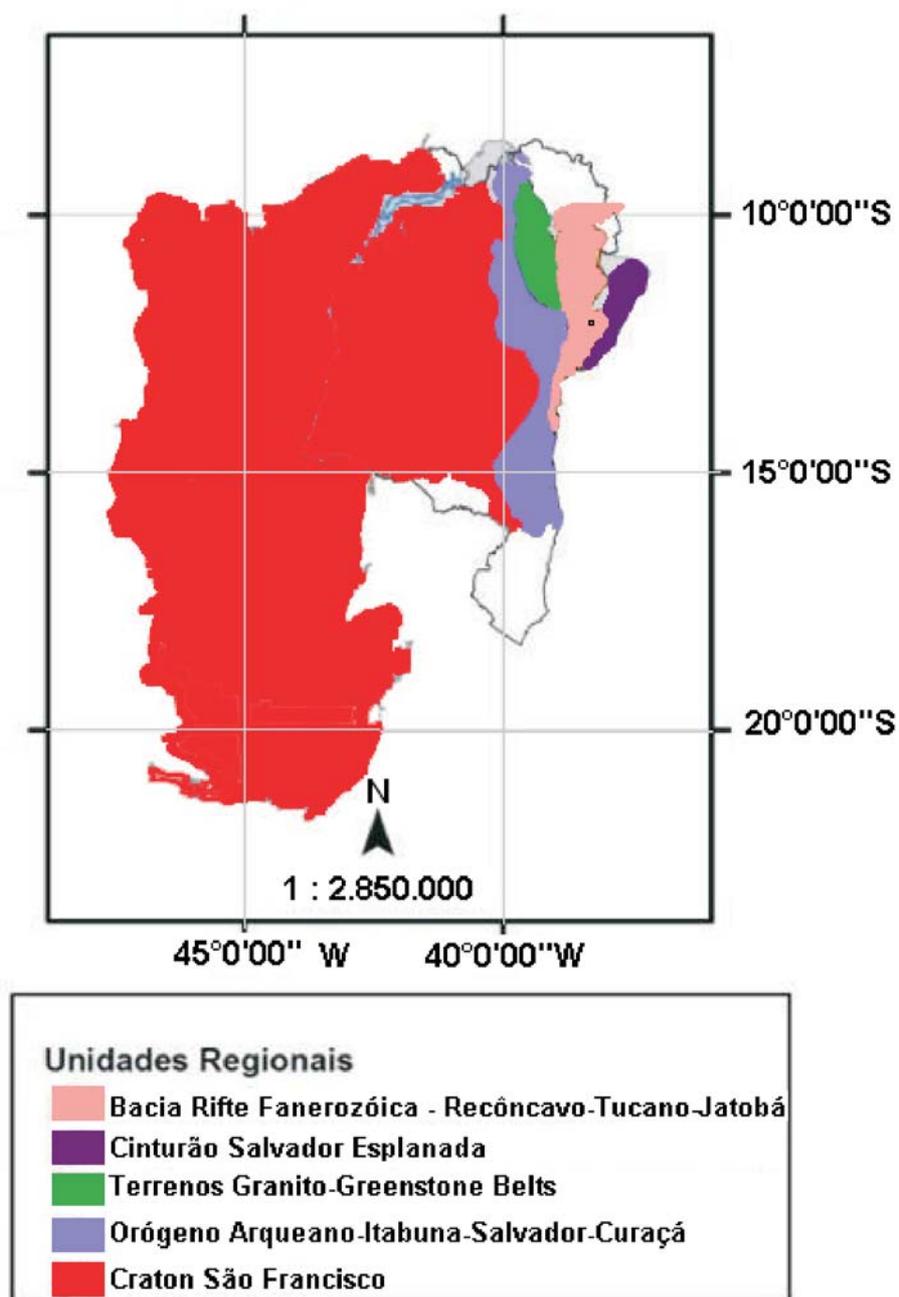


Figura 1.2: Mapa com as principais unidades tectônicas regionais - CPRM 2005, base Brasil ao milionésimo.

1.2.1 Litoestratigrafia

A área de estudo está inserida na sub-bacia Sedimentar do Recôncavo Central e possui as seguintes unidades litológicas, formalmente descritas e designadas por geólogos da PETROBRAS, representadas esquematicamente na carta estratigráfica da bacia do recôncavo pela figura 1.3 e do mapa geológico da área, figura 1.4.

Grupo Ilhas

O Grupo Ilhas é constituído, da base para o topo, pelas formações Marfim, Taquipe e Pojuca.

Formação Marfim: Constitui-se, predominantemente, de arenitos finos a sílticos, raramente grosseiros, cinza-claros a esverdeados, mal selecionados, com abundante matriz argilosa, fragmentos de carvão e de folhelho, caoticamente distribuídos. Apresentam laminações, marca de ondas e estruturas de escorregamento. Intercalados nos arenitos ocorrem siltitos e folhelhos. Os folhelhos são cinza-esverdeados, claros e escuros, localmente acastanhados, micáceos, calcíferos, localmente sílticos. Apresentam partição acicular, podendo ser também maciços (Viana et al.,1971).

Formação Taquipe: Caracterizada por folhelhos, de coloração predominante cinza, apresentando estratificação plano-paralela. Por vezes, apresentam-se piritosos ou com níveis margosos de coloração castanha, além de lente de arenitos muito fino com estratificação horizontal e carapaças de ostracodes (Caixeta et al.,1994).

Formação Pojuca: É descrita por (a) arenitos de coloração variada (cinza esbranquiçada, cinza esverdeada, amarelo avermelhado), granulometria fina a media, calcíferos e estratificados; (b) folhelhos, com coloração cinza esverdeado a verde claro, estratificados, calcíferos, micáceos, carbonosos, fossilíferos; e (d) calcários de coloração castanha, criptocristalinos, ostracodais, arenosos, argilosos e por vezes, oolíticos (Sapucaia, 2001; Viana et al.,1971).

GRUPO MASSACARÁ

Formação São Sebastião:

O Grupo Massacará, representado na área unicamente pela formação São Sebastião, é constituído por uma espessa sequência de arenitos amarelo-avermelhados, esses com granulometria fina a media, friáveis, feldspáticos, intercalados com argilas sílticas, que cedem lugar, na parte mediana, para um numero maior de intercalações arenosas em espessos bancos, finalizada por clásticos mais grosseiros, por vezes conglomeráticos (Viana et al.,1971). Essa

formação é composta por três membros importante: Paciência, Passagem dos Teixeiras e Rio Joanes. Esses membros possuem as seguintes características:

- O membro Rio Joanes encontra-se recoberto discordantemente pelos sedimentos da formação Marizal e do grupo Barreiras ou ainda por dunas e aluviões recente, possuindo em subsuperfície 820m de espessura. É descrito por Viana et al.(1971), como sendo composto por arenitos e conglomerados imaturos, de cor branca, amarela e rosa, bem espessos. Sotoposta a essa sequência, ocorrem intercalações de argilas sílticas, folhelhos, siltitos e arenitos.
- O membro Passagem dos Teixeiras, na parte mediana da formação São Sebastião, caracteriza-se por arenitos espessos de coloração diversa, finos a medios, intercalados com finas camadas de argilas sílticas e folhelhos sílticos; sobre esses arenitos, observa-se uma sequência de argilas sílticas, folhelhos e arenitos finos alterados.
- O membro Paciência, na parte basal, e constituído por arenitos finos a grossos, pouco calcíferos, feldspáticos, com nódulos calcáreos amarelados com intercalações de folhelhos pretos e siltitos.

Formação Marizal

A Formação Marizal caracteriza-se por um pacote de arenitos argilosos caulínicos com finas camadas de siltitos e folhelhos e níveis conglomeráticos basais. Os arenitos são mal selecionados, com granulometria que varia de fina a grosseira. Os conglomerados são policompostos com clastos de arenitos, calcários, quartzo e sílex em matriz arenosa (Viana et al., op. cit.).

Grupo Barreiras

Constitui de uma cobertura sedimentar terrígena continental de areias grosseiras, com estratificação cruzadas, argilas cinzas-avermelhadas, roxas e amareladas, bem como de arenitos grosseiros e conglomeráticos, mal consolidados, mal classificados, cinza-esbranquiçados a avermelhados em abundante matriz caulínica (Viana et al. op. cit.).

Coberturas Detríticas

Ocorrem ao longo do rio Pojuca e de seus principais afluentes figura 1.4, Acumulam-se nos leitos e margens como areias, siltes, argilas, cascalhos e matéria orgânica, com estruturas primárias preservadas (CPRM, mapa geológico 2003).

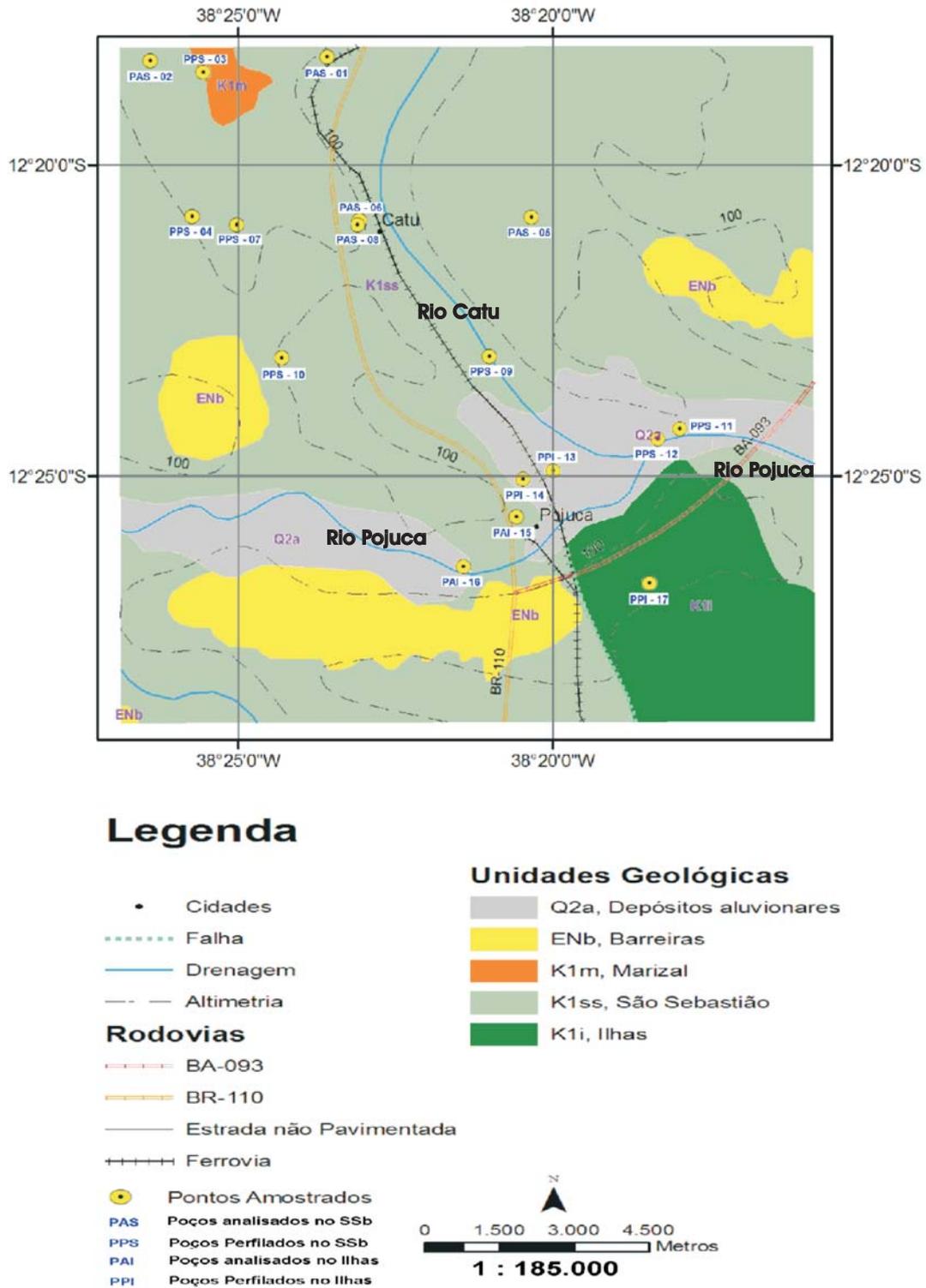


Figura 1.4: Mapa Geológico da Área - Adaptado do Mapa de Geológico e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Fonte - CPRM, maio 2003, mostrando a área e a localização dos poços estudados.

no município de Santa Bárbara, e possui como rio principal o Pojuca seguidos de seus afluentes: Catu, Una, Salgado e Mocambo. Possui uma precipitação anual média em torno de 200mm, com estiagem no mês de setembro a fevereiro. Na bacia sedimentar do Recôncavo se encontra o segundo mais importante sistema aquífero do estado da Bahia (o primeiro é o Sistema Urucuia), o Sistema Recôncavo, composto pelas formações Marizal, São Sebastião e pelos sedimentos do Grupo Barreiras. Este sistema, semi-confinado, com aproximadamente 1.500m de espessura e volume armazenado estimado em $6,0 \times 10^{11}m^3$, é representado por uma intercalação de pacotes de arenitos e folhelhos, tendo as formações Marizal e Barreiras, seu componente freático, a função de controle de recarga do mesmo (Lima, 1995).

O sistema de aquífero é denominado de Sistema Recôncavo, que por sua vez é um sistema semi-confinado em multi-camadas, com 1.500m de espessura saturada de água, constituído basicamente por arenitos da formação São Sebastião, possuindo um volume de água armazenado em $6,0 \times 10^{11}m^3$ (Lima (1995)). A movimentação da água nesse sistema é controlada não só pelas condições paleo-ambientais existentes ao tempo da deposição, como também pela complexa trama de falhamentos gravitacionais, que seccionaram o pacote da formação São Sebastião, delimitando blocos estruturais escalonados. Dessa forma, litofácies distintas são encontradas em contato lateral ao longo desses falhamentos. Essa estrutura de blocos escalonados concorre para uma maior interconexão hidráulica às extensas e sucessivas litofácies da formação São Sebastião, por conta disso, para uma maior homogeneização das águas (Lima, 1999).

O Sistema Recôncavo é formado pelo acoplamento de dois componentes (Lima, 1995):

- O componente livre ou freático: A formação Marizal que é o topo freático do sistema, juntamente com sedimentos do Grupo Barreiras (Lima, 1991), está sobreposta à formação São Sebastião, permitindo dessa maneira um fluxo hidráulico vertical, facilitando assim substancialmente a recarga do sistema artesianos regional.
- Componente semi-confinado ou artesisano, formado pelo confinamento interno dos sedimentos da formação São Sebastião

CAPÍTULO 2

Teoria - Fundamentos de Perfilagem Geofísica

2.1 Propriedades petrofísicas

Geologicamente um agregado sedimentar é composto por três partes:

- arcabouço: Corresponde às frações mais grosseiras que suportam a estrutura granular. No arenito, o arcabouço é formado por grãos de tamanho de areia variando entre 0,062 à 2,0mm.
- matriz: representa a parte que dá consistência à rocha, composta por material clástico mais fino (menor que 0,039mm) que é transportado em suspensão. A depender das condições ambientais ela pode preencher os espaços vazios entre os grãos. É geralmente constituída por um ou mais minerais de argila misturados com outros constituintes terrígenos ou carbonáticos.
- O cimento é o constituinte que é precipitado quimicamente, envolvendo os grãos do arcabouço e da matriz. Pode ser composto por sílica, carbonatos, sulfatos, óxidos de ferro, manganês, etc. O cimento é responsável pela rigidez das rochas sedimentares e tende a fechar os espaços vazios existentes, diminuindo assim a porosidade efetiva.

Na perfilagem de poços, a conceituação geológica acima descrita, sofre uma modificação devido às características de cada sensor de investigação. Os sensores utilizados nas ferramentas elétricas, acústicas ou radioativas são incapazes de distinguir um grão de sílica de uma massa de cimento, ou um grão carbonático (fóssil ou intraclasto) de um cimento carbonático (Girão Nery,G. 1989; Rosa, 2004). Por isso, para o estudo de perfis geofísicos, adota-se um modelo no qual se considera a rocha ou agregado sedimentar, dividido apenas em duas partes constituintes, conforme Girão Nery,(1989); Thomas et al., (2001):

- matriz, a qual engloba o arcabouço, a matriz propriamente dita e o cimento, ou seja, tudo que é sólido dentro de uma rocha.
- poros, que compreende todo espaço vazio na rocha que pode ser preenchido por flúidos.

2.1.1 Porosidade (ϕ)

Por definição, porosidade total (ϕ_t) é a razão entre o volume de vazios (V_v) e o volume total (V_t) da rocha, expressa em porcentagem. Pode-se dizer que a porosidade é uma das propriedades petrofísicas de maior relevância, pois mede sua capacidade de armazenar fluídos. Nas rochas, destacam-se três grupos de porosidades:

1. A porosidade primária, que é aquela que a rocha herda do processo de sedimentação e que evolui durante sua compactação; como por exemplo tem-se a porosidade intergranular dos arenitos.
2. A porosidade secundária, resultante de algum processo físico-químico que a rocha sofre subsequentemente à sua formação. Exemplificando, tem-se: fraturas nos arenitos, calcários, folhelhos, embasamento, e cavidades causadas pelo ataque químico em calcários, dissolução, Teixeira et al.,(2000).
3. Outro parâmetro a ser observado é a porosidade efetiva (ϕ_e), que é a razão entre o volume dos vazios interconectados e o volume total da rocha, ou seja, os espaços onde é possível a passagem de fluxo de fluido. Em termos de viabilidade econômica para água subterrânea, esta porosidade tem fundamental importância, pois quantifica o volume de água fornecida pelo aquífero.

2.1.2 Resistividade e Fator de Formação

A resistividade elétrica é uma propriedade física que quantifica a maior ou menor dificuldade de um material conduzir corrente elétrica. O movimento ordenado dos íons dissociados dos sais presentes numa solução, sob a ação de um campo elétrico é fator responsável pelo transporte de corrente elétrica. Portanto, quanto mais íons em uma solução, maior será sua condutividade elétrica. Por outro lado, o aumento da temperatura diminui a viscosidade do fluido e, assim, favorece a movimentação dos íons. Conseqüentemente, a temperatura, e a salinidade das soluções, são fatores que influenciam, diretamente, na condutividade das rochas. Em 1942, Archie, baseando-se numa grande quantidade de dados experimentais, obtidos em diversas formações arenosas limpas, propôs uma relação empírica em que expressa o fator (F) correspondente a razão entre a resistividade da rocha completamente saturada com um eletrólito (ρ_o) e a resistividade desse eletrólito (ρ_w), isto é:

$$F = \frac{\rho_o}{\rho_w} \quad (2.1)$$

Verificou ele, posteriormente, que F estava relacionado inversamente com a porosidade, ou seja:

$$F = \phi^{-m} \quad (2.2)$$

As equações (2.1) e (2.2) de Archie foram modificadas por Winsauer et al. (1956), resultando finalmente em:

$$S_w = \frac{aR_w}{\phi^m R_t} \quad (2.3)$$

onde:

- S_w =Saturação de água
- R_w =Resistividade da água da formação
- ϕ = Porosidade da rocha
- R_t =Resistividade verdadeira da formação na zona virgem
- a =Fator de tortuosidade
- m = coeficiente relativo à geometria porosa

No caso específico deste trabalho, onde $S_w = 1$ e $R_t = R_o$, pode-se derivar a equação 2.3 em:

$$R_w = \frac{\phi^m R_o}{a} \quad (2.4)$$

A partir daí, usou-se uma equação hiperbólica Girão Nery,(1996), para quantificar o Sólidos Totais Dissolvidos (STD) expressa por:

$$STD = \frac{a}{R_w^b} \quad (2.5)$$

Onde a e b aqui, são constantes obtidas pelo relacionamento intrínseco entre o STD e a R_w .

Neste trabalho foram encontrados dois valores para a e b , pelo fato de ter sido observado a existência de comportamentos distintos indicativos de duas entidades litológica, sendo apresentados na figura 3.11 e 3.12:

- Para as águas da Formação São Sebastião **$a=2944,8$ e $b=0,8019$** .
- Para as águas do Grupo Ilhas **$a=6476,5$ e $b=0,8019$** .

2.1.3 Conteúdo de Argila ou Argilosidade (VSH)

A argila é classificada texturalmente como uma fração granulométrica fina das rochas sedimentares, menor que 0,004 mm. O conteúdo de argila, ou argilosidade, é um termo empregado para representar a quantidade de minerais de argila presente nas rochas.

Na perfilagem geofísica, o conteúdo de argila é um dos fatores mais importantes que influenciam nas medições das ferramentas de resistividade, bem como no Sônico em virtude da atenuação que as argilas propocionam pelo excesso de água adsorvida, o que vem causar um aumento no DT (Girão Nery, 1990).

A argilosidade pode ser estimada por meio de dois procedimentos em seqüência: O primeiro é através de uma relação linear, representada pelo índice de raios gama (IGR), definida por:

$$IGR = \frac{GR_{obs} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (2.6)$$

onde:

IGR = Índice de raios gama

GR_{obs} = GR lido no perfil ou no arquivo digital (LAS) correspondente

GR_{max} = GR máximo lido ou gráfico cross plot

GR_{min} = GR mínimo lido ou gráfico cross plot

Em seguida, calcula-se a argilosidade propriamente dita (VSH), o qual leva em consideração o IGR e a idade da rocha (A). A é igual 3 quando a rocha é do terciário e a 2 quando mais velha. Em nosso trabalho foi adotado A igual a 2 por se tratar de rochas do cretáceo.

$$VSH = \frac{IGR}{A - (A - 1)IGR} \quad (2.7)$$

2.2 Tipos de Perfis Geofísicos

A perfilagem geofísica de poços são, medições feitas em profundidade das propriedades físicas e/ou dos parâmetros geométricos das rochas por eles atravessadas. Os perfis são obtidos através do deslocamento ascendente e contínuo de ferramentas apropriadas (sondas) no interior dos poços. Nas sondas, sensores especiais são responsáveis pelas medidas e pelo seu envio para superfície, onde são imediatamente registradas. Lembrar que no campo da geologia, o uso de tais ferramentas, auxilia na obtenção de informações bastante detalhadas, no sentido de identificar e compreender as litologias e seus comportamentos estruturais e estratigráficos, em subsuperfície, além de analisar a natureza dos fluídos que preenchem os poros das rochas sedimentares, bem como quantificar e qualificar as saturações de água, óleo e gás.

Desta forma, a técnica de perfilagem geofísica de poços consiste na aquisição de perfis capazes de diferenciar as rochas em função de suas propriedades elétricas (resistividade elétrica ou potencial eletroquímico natural), acústicas (velocidade de propagação ou tempo de trânsito das ondas sonoras) e radioativas (radioatividade natural ou induzida), em uma determinada profundidade.

Neste trabalho, tanto para obtenção dos parâmetros físicos quanto para avaliação do aquífero, foram utilizados os seguintes perfis geofísicos:

- Raios Gama (GR)
- Resistividade Profunda (DIR)
- Resistividade Normal Curta(SN)
- Sônico (DT)
- Por vezes o Cáliper, para avaliar o diâmetro e a geometria interna dos poços.

2.2.1 Perfil de Raios Gama

A radioatividade é o decaimento espontâneo (desintegração) de um núcleo atômico instável acompanhado pela emissão de partículas e/ou radiação eletromagnética. Os perfis de Raios Gama têm como princípio, medir a radioatividade natural das rochas emitida pelos isótopos do Urânio (U^{238}), Tório (Th^{232}) e Potássio (K^{40}), registradas por equipamentos sensíveis a esta propriedade (Cintilômetros), sendo um dos perfis mais utilizados pelos intérpretes, pois permite diferenciar camadas argilosas das demais litologias.

Os folhelhos são rochas ricas naturalmente K-feldspatos, portadores do isótopo do potássio (K^{40}), um dos mais abundante entre os elementos radioativos existentes na crosta. A unidade padrão, de medida dos perfis de Raios Gama é a unidade ou grau API (UAPI ou GAPI), estabelecido pelo *American Petroleum Institute*, que é a representação de 1/200 das medidas da radioatividade em camadas artificialmente radioativadas, com quantidades conhecidas dos elementos U, Th e K^{40} .

2.2.2 Perfil de Resistividade Profunda

Os perfis de indução são úteis para casos em que os perfis elétricos convencionais sejam limitados, uma vez que as ferramentas galvânicas necessitam de meios condutivos para funcionar, segundo seus princípios ferramentais.

Esta ferramenta têm como princípio básico um par de bobinas (transmissora e receptora), onde se emite uma corrente alternada (transmissora) produzindo um campo magnético

primário, que induz uma corrente nas camadas gerando um campo secundário. Este sinal secundário, oriundo das rochas, é captado pela bobina receptora e é proporcional à condutividade de cada formação.

Uma das limitações de seu uso é a aplicação de lamas muito salgadas, pois a salinidade está diretamente relacionada à condutividade do meio, todavia, como na indústria da água o fluido de perfuração mais usado tem por base as águas doces (lagos, rios ou produzidas em poços vizinhos), por si somente de baixa salinidade, esta ferramenta é a mais indicada na exploração de água subterrânea. Por possuir um excelente raio de investigação, teoricamente representado por um toróide regular de 40 polegadas (aproximadamente 1m) de altura e diâmetro. Tradicionalmente acopla-se à curva de resistividade profunda do perfil de indução (DIR) duas outras curvas; uma de investigação rasa, a normal curta (RSN de 16 polegadas) e o potencial espontâneo (SP). Este último serve como indicador da diferença da salinidade entre a lama e a água da formação.

2.2.3 Perfil Sônico

A ferramenta que mede as propriedades acústicas das rochas, num poço, é o Sônico. O som viaja através das rochas com uma velocidade que varia de acordo com o meio. Assim, o registro do menor tempo de trânsito nas rochas, em um espaço fixo e definido na ferramenta, mostra uma correlação entre as várias propriedades mecânicas das mesmas.

Segundo Wyllie (1956), existe uma relação direta entre o tempo de trânsito e a porosidade das rochas, principalmente nas rochas sedimentares, estabelecidos pela seguinte equação ponderada volumetricamente:

$$\Delta t = \phi \Delta t_f + (1 - \phi) \Delta t_m \quad (2.8)$$

ou

$$\phi_s = \frac{\Delta t - \Delta t_m}{\Delta t_f - \Delta t_m} \quad (2.9)$$

onde:

Δt_m = Tempo de Trânsito da matriz ($\mu s/pe$)

Δt_f = Tempo de Trânsito do fluido ($\mu s/pe$)

Δt = Tempo de Trânsito registrado no perfil ou lido no arquivo digitalizado (LAS) correspondente

ϕ_s = Porosidade sônica (adimensional).

Alguns efeitos são capazes de influenciar na medida dos perfis, tais como a argilosidade e a presença de hidrocarboneto, devido atenuação da velocidade do som nas camadas, com um

conseqüente aumento no tempo registrado. Para isto o intérprete deve estar atento quando analisa perfís em área potencialmente favoráveis a ocorrência de petróleo. Na exploração de água subterrânea, tanto o fluido invasor como o interporoso original têm tempo de trânsito aproximados, de sorte que a equação de Wyllie funciona de modo realista.

CAPÍTULO 3

Sistemática de trabalho adotada

Neste capítulo, estão expostas as diversas etapas do trabalho: escolha da área para estudo, coleta e criação de um banco de dados, processamento dos dados, interpretações e conclusões obtidas.

3.1 Escolha da Área de Estudo

Este trabalho foi direcionado ao estudo do comportamento das qualidades das águas, no que diz respeito a distribuição dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e de suas Resistividades (R_w), existente nos aquíferos da Formação São Sebastião e do Grupo Ilhas. Deste modo, optamos pelos trechos dos municípios de Catu e Pojuca, pelos seguintes motivos:

- apresentar uma extensa área aflorante com sedimentos da formação São Sebastião e uma pequena extensão com o grupo Ilhas,
- a área possuir boa população de poços perfilados, e
- há uma ótima distância dos fatores antropogênicos (Pólo Petroquímico).

Esperava-se haver disponibilidade de dados dos poços existentes na área, ou seja, pertencendo a um mesmo compartimento geológico ou formação, regiões filtrantes, níveis estáticos, níveis dinâmicos, vazões específicas e principalmente laudos de análises hidroquímicas. Deste modo, dos 30 poços escolhidos apenas 17 deles possuíam laudos hidroquímicos e, destes, apenas 10 foram efetivamente perfilados. Dos 10 poços selecionados para amostragens, apenas 6 poços foram possíveis de coletar, pois os 4 restantes estavam obstruídos, ou os proprietários dos poços não permitiram a realização das coletas. Desta população, apenas 6 poços foram possíveis ser interpretados por meio de planilhas de cálculos.

3.2 Aquisição de Dados

Para a elaboração deste trabalho foi necessário recorrer ao banco de dados de três empresas:

- Hydrolog Serviços de Perfilagens Ltda.
- Cerb - Companhia de Engenharia Rural da Bahia.
- NR - Perfurações de Poços Artesianos Ltda.

A empresa Hydrolog cedeu, com a permissão de seus clientes (CERB e NR), nove perfis geofísicos de poços no formato .tiff e seus respectivos arquivos digitalizados (LAS), P-04, P-07, P-09, P-10, P-10, P-11, P-12, P-13, P-14 e P-17. A CERB contribuiu com cinco perfis litológicos P-03, P-07, P-10, P-14 e P-17, doze laudos de análises hidroquímicas e um perfil geofísico de poço executado pela empresa Perfil Master - Comércio Serviços Perfilagem Ltda, o poço P-03. Já a empresa NR contribuiu com aquisição de um perfil litológico (P-07).

Além dos dados fornecidos pelas empresas, foi necessário a ida ao campo para efetuar coletas de amostras de água de poço para análises de parâmetros hidroquímicos (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2} , SO_4^{-2} , Condutividade e STD).

3.2.1 Perfis Conjugados

Os perfis litológicos e geofísicos de cada poço foram dispostos em um mesmo padrão de escala vertical para que permitisse uma correlação mútua entre eles, que neste trabalho denominamos de perfil conjugado lito-geofísico. O perfil geofísico do poço PPS - 03, elaborado pela empresa Perfil Master, teve que ser digitalizado com o programa DIDGER para geração do arquivo LAS, arquivo este utilizado na planilha de cálculos e na confecção do perfil feito na planilha Excel exposta na figura 3.1, passível de erros de digitação.

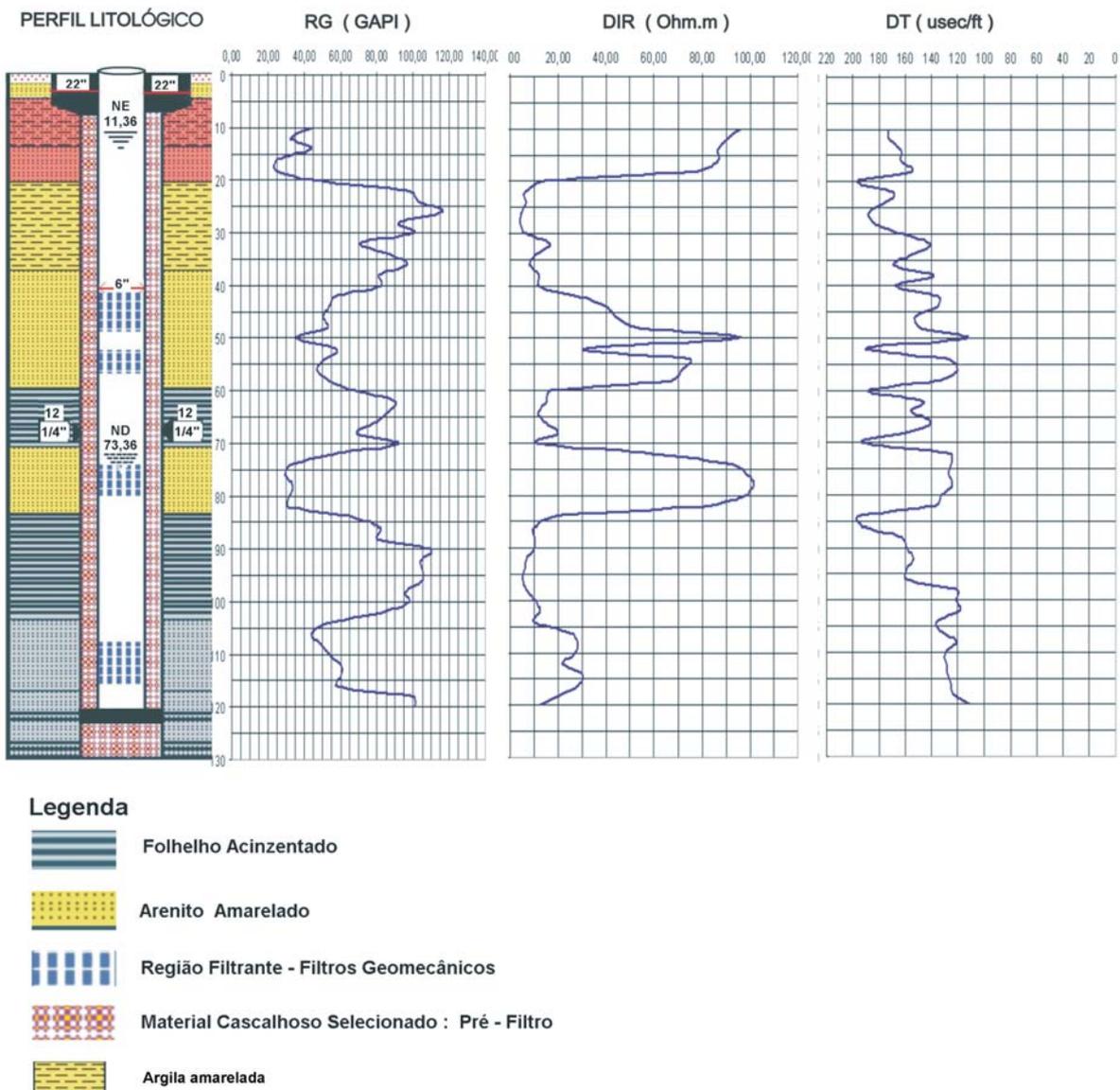
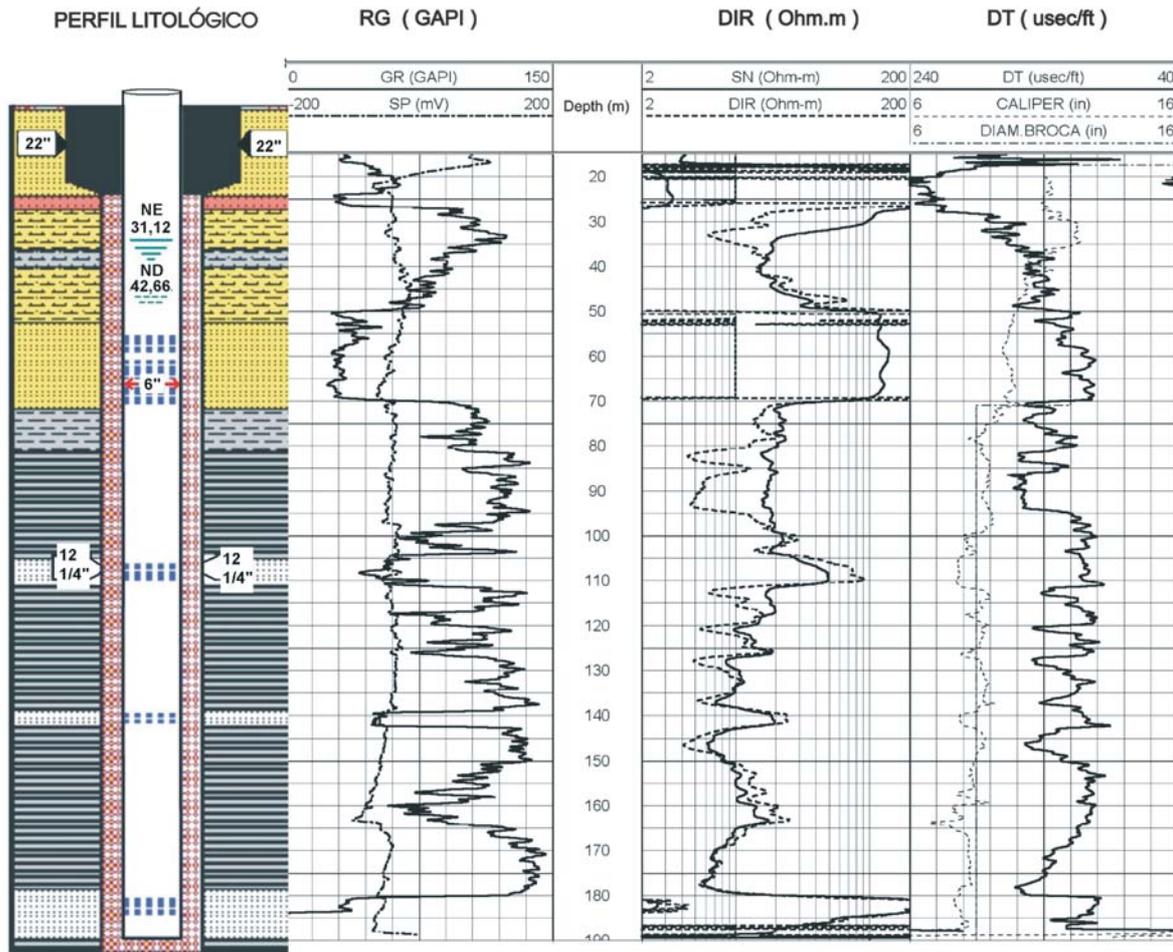


Figura 3.1: Perfil conjugado lito-geofísico do poço PPS - 03; Fonte, CERB / Perfil Master.

A figura 3.2 revela a ocorrência de uma zona saturada entre a profundidade de 50 a 70m, onde a curva de indução ultrapassa a escala adotada ($200\Omega m$), verificada também no arquivo LAS conforme figura 3.3, representando uma zona de altíssima resistividade, ou seja, aquífero contendo água doce. Quando esta escala mostra valores estabilizados em constantes de $100.000\Omega m$ (saturada) dificulta os cálculos quantitativos. Para amenizar este problema, Bastos (1999), onde admite uma linearidade entre a curva de indução e a curva normal curta. Valores medidos nos dois perfis (DIR E SN) em zonas resistivas de mesmas



Legenda

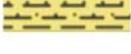
-  Folhelho Acinzentado
-  Arenito Amarelado
-  Região Filtrante - Filtros Geomecânicos
-  Material Cascalhoso Selecionado : Pré - Filtro
-  Arenito amarelado argiloso

Figura 3.2: Perfil conjugado lito-geofísico poço PPS - 07; Fonte, CERB / Hydrolog.

profundidades, foram lançados em gráficos como na figura 3.4, onde o ajuste da reta pelo método dos mínimos quadrados, define a relação a ser usada na estimativa dos valores de

escala saturada. Para a realização deste procedimento usa-se trechos próximos ao intervalo saturado da curva DIR, onde ocorram paralelismo entre ela e a SN, preferentemente em litologias similares, invadidas.

3.2.2 Parâmetros Hidroquímicos

Na área de estudo foram coletadas 6 novas amostras de água de poço, para posterior análises de parâmetros hidroquímicos, entre eles os cations Na^+ , K^+ , Mg^{+2} e Ca^{+2} , os anions Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2} e SO_4^{-2} e também a condutividade e o STD. As análises foram efetuadas no Laboratório de Análise Físico-Química da Escola Politécnica da UFBA. Além das análises de laboratório, foram também utilizados 8 laudos hidroquímicos de análises anteriores, obtidas na CERB. Entre estes laudos foram reamostrados dois poços (PPS - 07 e PPI - 17), poços esses construídos há mais de 10anos. A comparação entre os laudos de mesmo poço, mostrou uma diminuição crescente, ao longo dos anos, da condutividade e do STD. Desta forma, adotamos o laudo mais antigo para os cálculos das planilhas, pois acredita-se representar um dado mais próximo da realidade à época da perfilagem.

A água é uma substância quimicamente ativa, com grande facilidade de dissolver e reagir com outras substâncias, em forma molecular ou iônica, porém em água subterrâneas, as reações iônicas são mais freqüentes. Algumas propriedades físicas e físico-químicas das águas subterrâneas podem ser definidas, dentre elas temos:

Propriedades Iônicas:

- Condutividade Elétrica (σ) é a medida da facilidade de uma água conduzir corrente elétrica e está diretamente ligada à quantidade de íons presentes pelo teor de sais totais dissolvidos. Os valores da condutividade laboratoriais são referidos em micro Siemens por cm ($\mu S/cm$), enquanto que em perfis usa-seo miliSiemens por metro. A condutividade aumenta proporcionalmente com a temperatura, desta forma, adota-se a temperatura de 25 graus como padrão. Os condutívimetros atuais já fazem a correção da temperatura.
- Alcalinidade: é a medida total de substâncias presentes numa solução aquosa, capazes de neutralizar ácidos. Em águas subterrâneas a alcalinidade é devido principalmente aos carbonatos e bicarbonatos, unidade mg/L de $CaCO_3$.
- Sólidos Totais Dissolvidos (STD): é a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na solução aquosa e representa a concentração de todo material dissolvido na água, volátil ou não. Possui unidade em ppm (parte por milhão). Lembrar a existência da relação: 1ppm = 1 mg/L, nas relações em até aproximadamente 5.000ppm.

Elementos Iônicos:

- Sódio(Na^+): Do ponto de vista catiônico o sódio é o principal responsável pelo aumento da constante de salinidade das águas naturais, seus principais minerais fonte

(feldspatos e plagioclásios) são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos. Nas águas subterrâneas possui teor variando de 0,1 a 100 mg/L.

- Potássio (K^+): pertence ao mesmo grupo dos metais alcalinos do sódio, mas seu comportamento em processos de solubilização é muito diferente. É um elemento químico abundante na natureza, mas ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado nas argilas e absorvidos pelos vegetais. Ele é pouco resistente aos intemperismos físicos e químicos. Nas águas subterrâneas seu teor médio é em torno de 10 mg/L.
- Cálcio (Ca^{+2}): É um dos principais constituintes da água e o principal, juntamente com o magnésio, responsável pela dureza da água. Sua solubilidade está em função da quantidade de gás carbônico dissolvidos, o teor varia entre 10 a 100 mg/L.
- Magnésio (Mg^{+2}): Apresenta propriedades similares ao cálcio, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar. Quando em solução, tem a tendência a nela permanecer, daí o enriquecimento de seus sais em águas do oceano. Juntamente com o cálcio contribui para a dureza da água. Ocorre em geral na forma de bicarbonato. Nas águas subterrâneas apresenta-se com teores entre 1 a 40 mg/L.
- Cloretos (Cl^-): São muitos solúveis em solução, logo dificilmente precipitam. Não oxidam e nem se reduzem em águas naturais, são derivados de minerais ferromagnesianos de rochas ígneas. Seus teores devem ser inferiores a 100 mg/L.
- Sulfatos (SO_4^{-2}): São sais moderadamente solúveis, originam-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e nas lixiviação de compostos sulfatados. Nas águas subterrâneas apresentam teores em geral inferiores a 100 mg/L, teores acima de 400 mg/L podem causar efeitos laxativos e na presença de Mg^{+2} e Na^+ podem provocar distúrbios gastrointestinais.
- Bicarbonatos HCO_3^- : Estes íons não se oxidam e nem se reduzem em águas naturais, porém precipitam com muita facilidade como bicarbonato de cálcio ($CaHCO_3$).
- Carbonatos CO_3^{-2} : A quantidade relativa de íons carbonatos é função do pH e do conteúdo de gás carbônico. O carbonato excederá o bicarbonato quando o pH for igual ou superior a 10.

3.2.3 Metodologia para obtenção de uma equação hiperbólica

Depois da elaboração do banco de dados das análises hidroquímicas dos poços em estudo, converte-se a condutividade elétrica de laboratório de cada amostra, expressas em micro-Siemens/cm a 25 graus de temperatura, para resistividades (Rw) à mesma temperatura, conforme a relação:

$$Rw(Ohm.m) = \frac{10.000}{Conductividade} \quad (3.1)$$

A partir dos laudos, foi feito o balanceamento hidroquímicos das análises. Constatou-se que a curva inicial de distribuição obtida pelo gráfico $Rw_{lab} \times STD_{lab}$, mostrava comportamento diferenciado, que posteriormente com o compartilhamento litológico mostrou a possibilidade de se individualizar em duas entidades litológicas distintas (Formação São Sebastião e Grupo Ilhas). Deste modo, ao se pensar que o trabalho abrangeria apenas a Formação São Sebastião (fm SSb), terminou-se estudando o comportamento STD x Rw da Formação São Sebastião bem como do Grupo Ilhas, naquela região.

Com os dados do banco de dados e dos valores respectivos do STD e Rw de cada poço, foram gerados 2 gráficos exponenciais hiperbólicos, com constantes a e b que variam de acordo com as concentrações iônicas das águas (Girão Nery, 1996), apresentados nas figuras 3.11 e 3.12:

3.2.4 Representação gráfica das análises

O manejo e o estudo de análises químicas podem ser simplificado através da utilização de gráficos e diagramas, em especial quando se trata de fazer comparações entre várias análises de água em um mesmo ponto em épocas diferentes ou de diferentes lugares. Estes gráficos ou diagramas podem ressaltar relações entre íons de mesma amostras e variações temporais e espaciais existentes. Existem várias representações gráficas para classificação hidroquímica, neste trabalho adotou-se o Diagrama de Stiff.

O método gráfico proposto por Stiff (1951), baseia-se na representação por linhas horizontais dispostas a esquerda e a direita de uma linha vertical, que representa um valor zero. Os cátions são plotados a esquerda e os ânions plotados a direita. É empregada a unidade química miliequivalente por litro (meq/L), para a quantificação dos compostos iônicos. Após todos os cuidados necessários com uma amostra, transporte e análise, é necessário transformar os resultados analíticos de miligrama por litro (mg/L) para miliequivalente por litro (meq/L), segundo a regra de Stabler:

$$meq/L = \frac{M}{Ma/V} mg/L \quad (3.2)$$

onde:

- M=massa ou concentração do elemento em mg/L
- Ma=massa atômica do elemento
- V=valência do elemento

As variedades de formas dos polígonos e tamanhos dos modelos gerados, correspondem às características de determinadas águas e permitem a classificação e a correlação dos resultados de suas análises químicas (Stiff, 1951).

Desta forma com os resultados dos dados hidroquímicos, utilizou-se o programa Quali-graf disponível, na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - Funceme, para a elaboração do balanceamento hidroquímico e para confecções dos gráficos correspondentes, figura 3.13 .

3.3 Interpretação Quantitativa dos Perfis Geofísicos

Depois de definidas as constantes hiperbólicas a e b de cada litologia, elaborou-se planilhas de cálculos, com a finalidade de definir em determinada profundidade, o teor de Sólidos Totais Dissolvidos, e com isso identificar a melhor região produtora, objetivo principal de nosso trabalho. Para isso, precisa-se antes determinar os parâmetros dos GR_{max} (gama máximo) e o GR_{min} (gama mínimo), através de gráficos Cross Plots, figura 3.14.

3.3.1 Planilhas de Cálculos Interpretativos

Com os dados dos perfis geofísicos registrados em arquivo “LAS”, os laudos hidroquímicos e do cross plot, foi elaborada uma planilha de cálculos que segundo o modelo hiperbólico usado por Girão Nery(1996), ajuda estimar o teor do STD em cada profundidade. Entre as figuras 3.15 a 3.20, mostra alguns resultados obtidos com o uso de tais planilhas, para isso, adotou-se a condição em que o VSH (volume de folhelho) fosse menor ou igual a 25%, pois as litologias em estudo já são por vezes areno-argilosas. Exemplo marcante do uso das constantes hiperbólicas a e b , pode ser observado nas figuras 3.17 e a figura 3.18, Na figura 3.17 a água possui comportamento de água da Formação São Sebastião, onde o valor de STD_{lab} tende a se comparar com o STD_{perf} (213 x 247 ppm). Já na planilha 3.18 quando foi aplicado as constantes a e b do grupo Ilhas, aparece um STD_{lab} muito diferente do STD_{perf} , indicando que este poço deve ter água do tipo São Sebastião. Esta foi a razão inicial de se ter tido a necessidade da separação em dois tipos de águas ocorrentes na área estudada.

Prof	DIR	GR	SN	DT
50,75	100000	26,9982	117,9025	117,5576
51	100000	29,3055	121,0947	120,1952
51,25	100000	31,6842	121,7689	119,6398
51,5	100000	33,7936	120,7913	119,8203
51,75	68678,43	38,0907	118,4971	129,2583
52	100000	38,7403	116,757	141,2282
52,25	4188,306	44,5844	115,268	146,2735
52,5	100000	44,4684	114,793	141,3807
52,75	100000	33,0556	117,5029	132,5995
53	1433,469	28,9778	120,791	131,2743
53,25	100000	34,9826	122,6123	129,9657
53,5	100000	52,5189	122,4181	124,9702
53,75	100000	50,5393	121,644	120,1011
54	100000	39,6752	120,6131	117,9258
54,25	100000	33,0738	119,159	118,025
54,5	100000	32,232	117,2766	122,7087
54,75	100000	38,7099	116,5847	125,857
55	100000	39,6579	116,4458	126,4202
55,25	100000	37,3999	116,4956	126,715
55,5	100000	37,4086	116,4648	125,9912
55,75	100000	39,3435	116,1471	123,8362
56	100000	45,1763	115,7699	124,0325
56,25	100000	43,2711	116,9123	128,7428
56,5	100000	38,151	119,3291	129,4309
56,75	100000	38,9831	121,8456	128,147
57	100000	40,4545	124,1458	125,9085
57,25	100000	38,6411	125,579	126,9716
57,5	100000	36,0916	127,3501	128,4265
57,75	100000	33,3017	129,6951	125,2957
58	100000	32,9231	133,4307	117,0427
58,25	100000	30,1069	136,0376	111,833
58,5	100000	32,6798	138,1215	109,4074
58,75	100000	30,2659	139,59	107,527
59	100000	26,8452	140,4933	107,185
59,25	100000	27,7052	140,4948	108,4792
59,5	100000	26,1638	140,0783	111,33
59,75	100000	31,0183	139,3049	111,8027
60	100000	33,0233	138,8593	110,3289
60,25	100000	30,6897	138,5271	108,1452
60,5	100000	30,8168	138,3418	105,7093
60,75	100000	28,8844	138,2642	102,3557
61	100000	27,8187	137,9332	101,4541
61,25	100000	30,2841	136,9981	102,5993
61,5	100000	30,4314	134,8774	104,1391
61,75	100000	28,6085	133,3096	106,0965
62	100000	28,8065	131,9617	106,2351
62,25	100000	28,251	130,3621	105,1517
62,5	100000	27,7257	127,6474	106,8236
62,75	100000	30,2281	126,0102	107,8524
63	100000	30,8596	125,0421	109,6362
63,25	100000	32,9861	123,7707	115,3523
63,5	100000	32,3268	122,5231	121,4938
63,75	100000	32,515	121,4458	125,1274

Figura 3.3: Tabela com arquivo LAS mostrando trecho da curva de indução profunda (DIR) estabilizada em 100.000 Ωm , indicativo de água altamente diluída do poço PPS-07; Fonte, CERB / Hydrolog.

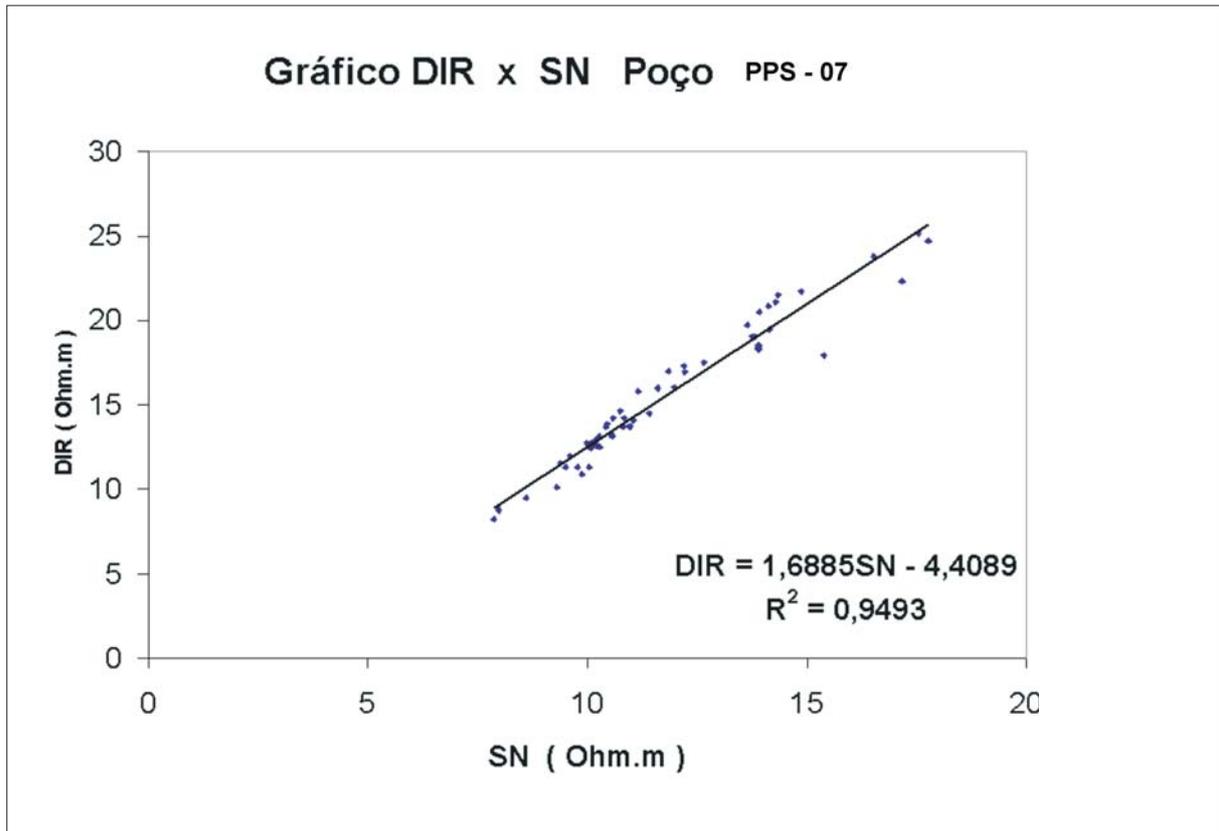
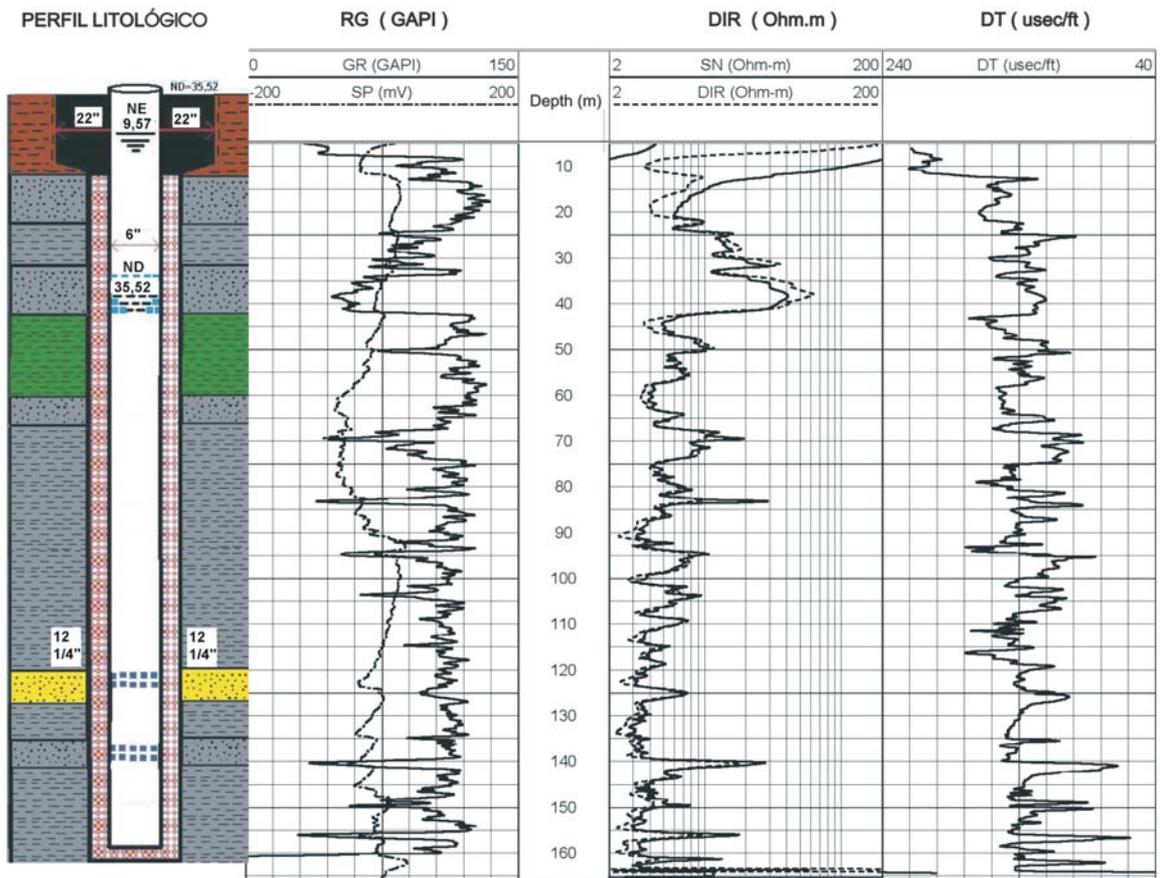


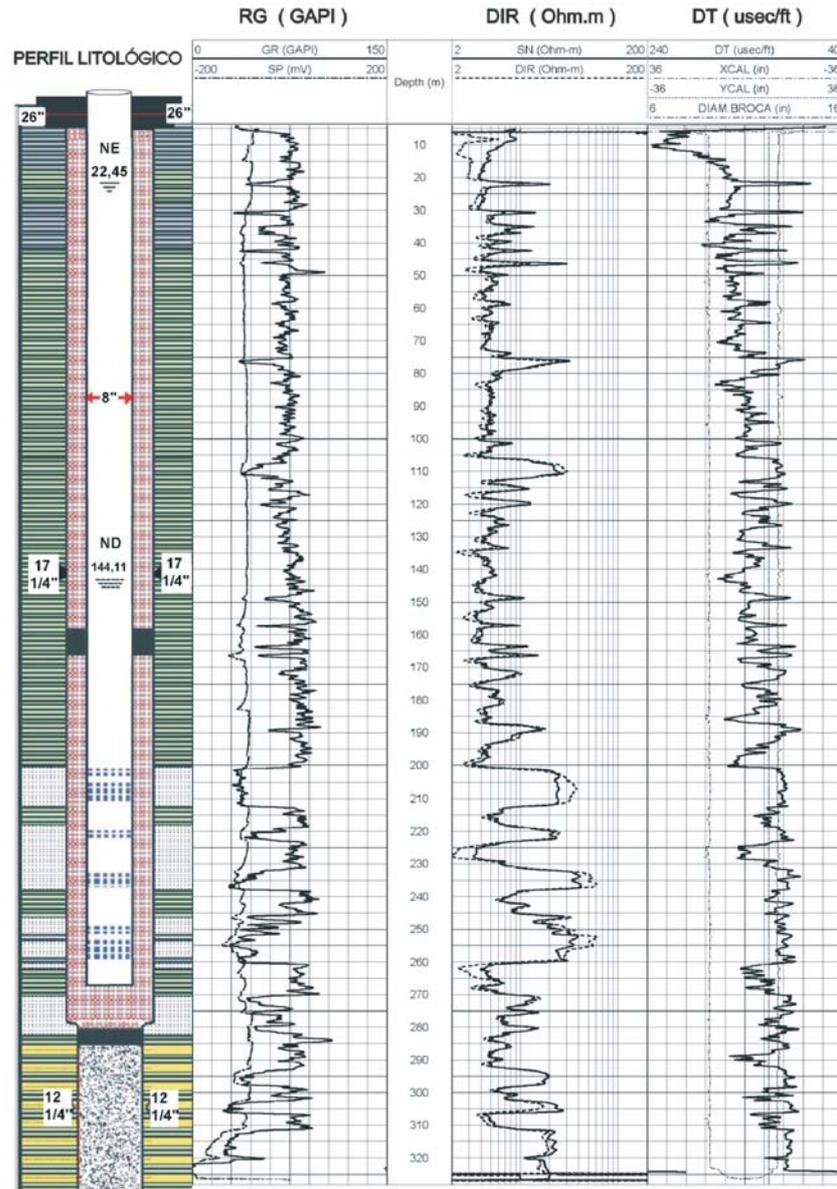
Figura 3.4: Exemplo de gráfico SN x DIR usado para corrigir as escalas estabilizadas em valores altíssimos em zonas de águas altamente diluídas do poço PPS - 07.



Legenda

-  Folhelho Acinzentado
-  Arenito Amarelado
-  Região Filtrante - Filtros Geomecânicos
-  Material Cascalhoso Selecionado : Pré - Filtro
-  Arenito acinzentado
-  Argila amarronzada
-  Argila esverdeada

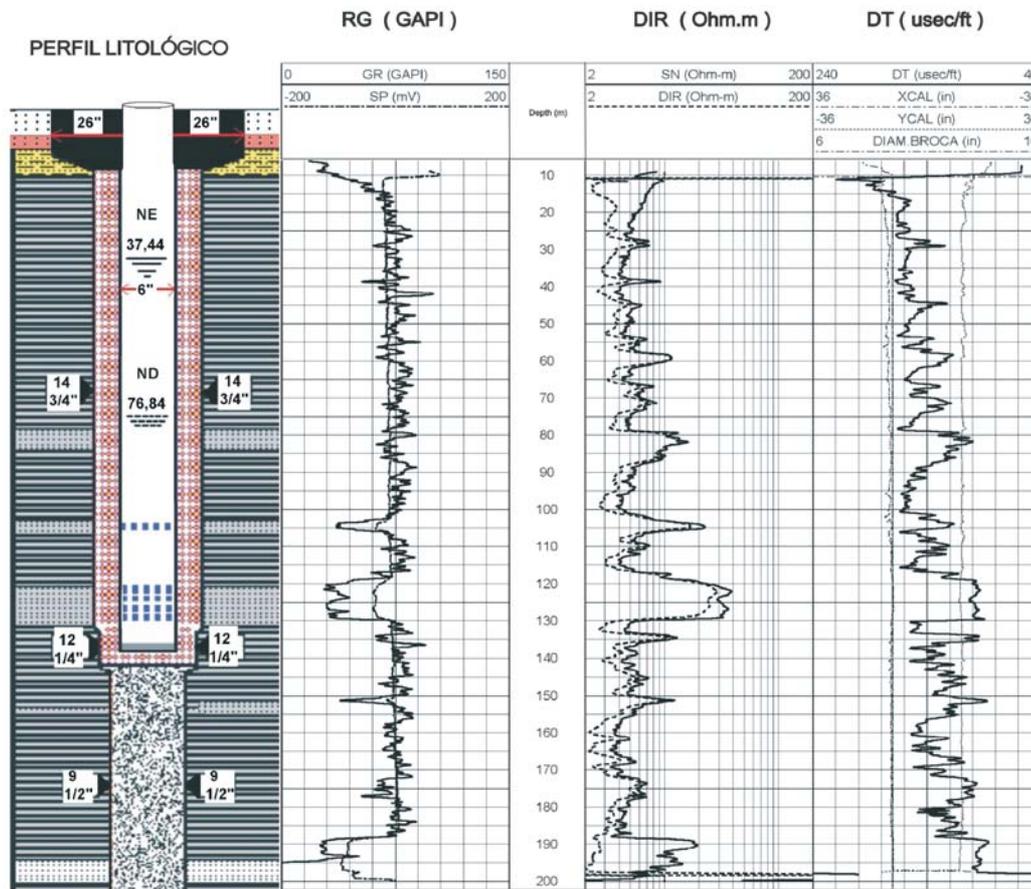
Figura 3.5: Perfil conjugado lito-geofísico do poço PPS - 09; Fonte, NR / Hydrolog.



Legenda

- Folhelho Acinzentado
- Arenito Amarelado
- Arenito esbranquiçado
- Região Filtrante - Filtros Geomecânicos
- Material Cascalhoso Selecionado : Pré - Filtro

Figura 3.6: Perfil conjugado lito-geofísico do poço PPI - 14; Fonte, CERB / Hydrolog.



Legenda

- Folhelho Acinzentado
- Arenito Amarelado
- Arenito esbranquiado
- Região Filtrante - Filtros Geomecânicos
- Material Cascalhoso Selecionado : Pré - Filtro

Figura 3.7: Perfil conjugado lito-geofísico do poço PPI - 17; Fonte, CERB / Hydrolog.

Código UFBA	0187/07-05	Amostra	PPS - 11		Coleta em:	21/09/07 14:00
Ensaio	Resultado	Unidade	LDM	Método	Data do Ensaio	
Alcalinidade Bicarbonato	0,00	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07	
Alcalinidade Carbonato	23,4	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07	
Cálcio	6,97	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 3500-Ca B	01/10/07	
Cloretos	36,6	mg/L Cl	3,0	SM 4500-Cl B	01/10/07	
Condutividade Elétrica	262	µSiemen	--	SM 2510B	01/10/07	
Magnésio	1,68	mg/L Mg	0,3	SM 3500-Mg B	01/10/07	
Potássio	5	mg/L	1	SM 3500B	01/10/07	
Sódio	32	mg/L	1,0	SM 3500-Na B	01/10/07	
Sulfatos	7,08	mg/L SO ₄	1,5	SM 4500-SO ₄ E	01/10/07	
Sólidos Dissolvidos	132	mg/L	10	SM 2540C	02/10/07	

Código UFBA	0187/07-06	Amostra	PPI - 17		Coleta em:	21/09/07 14:30
Ensaio	Resultado	Unidade	LDM	Método	Data do Ensaio	
Alcalinidade Bicarbonato	221	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07	
Alcalinidade Carbonato	0,00	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07	
Cálcio	165	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 3500-Ca B	01/10/07	
Cloretos	248	mg/L Cl	3,0	SM 4500-Cl B	01/10/07	
Condutividade Elétrica	1281	µSiemen	--	SM 2510B	01/10/07	
Magnésio	30,6	mg/L Mg	0,3	SM 3500-Mg B	01/10/07	
Potássio	6	mg/L	1	SM 3500B	01/10/07	
Sódio	150	mg/L	1,0	SM 3500-Na B	01/10/07	
Sulfatos	71,7	mg/L SO ₄	1,5	SM 4500-SO ₄ E	01/10/07	
Sólidos Dissolvidos	774	mg/L	10	SM 2540C	02/10/07	

Legenda

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th. Edition, 1998.

LDM: Limite de Detecção do Método.

Figura 3.8: Laudos Hidroquímicos dos poços PPS - 11 e PPI - 17.

Código UFBA	0187/07-03	Amostra	PPI - 13		Coleta em:	21/09/07 10:00
Ensaio	Resultado	Unidade	LDM	Método	Data do Ensaio	
Alcalinidade Bicarbonato	405	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07	
Alcalinidade Carbonato	0,00	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07	
Cálcio	488	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 3500-Ca B	01/10/07	
Cloretos	942	mg/L Cl	3,0	SM 4500-Cl B	01/10/07	
Condutividade Elétrica	3890	µSiemen	--	SM 2510B	01/10/07	
Magnésio	186	mg/L Mg	0,3	SM 3500-Mg B	01/10/07	
Potássio	9	mg/L	1	SM 3500B	01/10/07	
Sódio	350	mg/L	1,0	SM 3500-Na B	01/10/07	
Sulfatos	329	mg/L SO ₄	1,5	SM 4500-SO ₄ E	01/10/07	
Sólidos Dissolvidos	2562	mg/L	10	SM 2540C	02/10/07	

Código UFBA	0187/07-04	Amostra	PPS - 12 PQ		Coleta em:	21/09/07 09:40
Ensaio	Resultado	Unidade	LDM	Método	Data do Ensaio	
Alcalinidade Bicarbonato	74,4	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07	
Alcalinidade Carbonato	0,00	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07	
Cálcio	10,9	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 3500-Ca B	01/10/07	
Cloretos	32,6	mg/L Cl	3,0	SM 4500-Cl B	01/10/07	
Condutividade Elétrica	248	µSiemen	--	SM 2510B	01/10/07	
Magnésio	3,40	mg/L Mg	0,3	SM 3500-Mg B	01/10/07	
Potássio	6	mg/L	1	SM 3500B	01/10/07	
Sódio	42	mg/L	1,0	SM 3500-Na B	01/10/07	
Sulfatos	8,58	mg/L SO ₄	1,5	SM 4500-SO ₄ E	01/10/07	
Sólidos Dissolvidos	113	mg/L	10	SM 2540C	02/10/07	

Legenda

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th. Edition, 1998.

LDM: Limite de Detecção do Método.

Figura 3.9: Laudos Hidroquímicos dos poços PPI - 13 e PPS - 12.

Código UFBA	0187/07-01	Amostra	PPS - 07			Coleta em:	21/09/07 13:00
Ensaio	Resultado	Unidade	LDM	Método	Data do Ensaio		
Alcalinidade Bicarbonato	7,44	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07		
Alcalinidade Carbonato	0,00	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07		
Cálcio	<LDM	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 3500-Ca B	01/10/07		
Cloretos	20,5	mg/L Cl	3,0	SM 4500-Cl B	01/10/07		
Condutividade Elétrica	100	µSiemen	--	SM 2510B	01/10/07		
Magnésio	1,69	mg/L Mg	0,3	SM 3500-Mg B	01/10/07		
Potássio	2	mg/L	1	SM 3500B	01/10/07		
Sódio	14	mg/L	1,0	SM 3500-Na B	01/10/07		
Sulfatos	2,14	mg/L SO ₄	1,5	SM 4500-SO ₄ E	01/10/07		
Sólidos Dissolvidos	32,0	mg/L	10	SM 2540C	02/10/07		

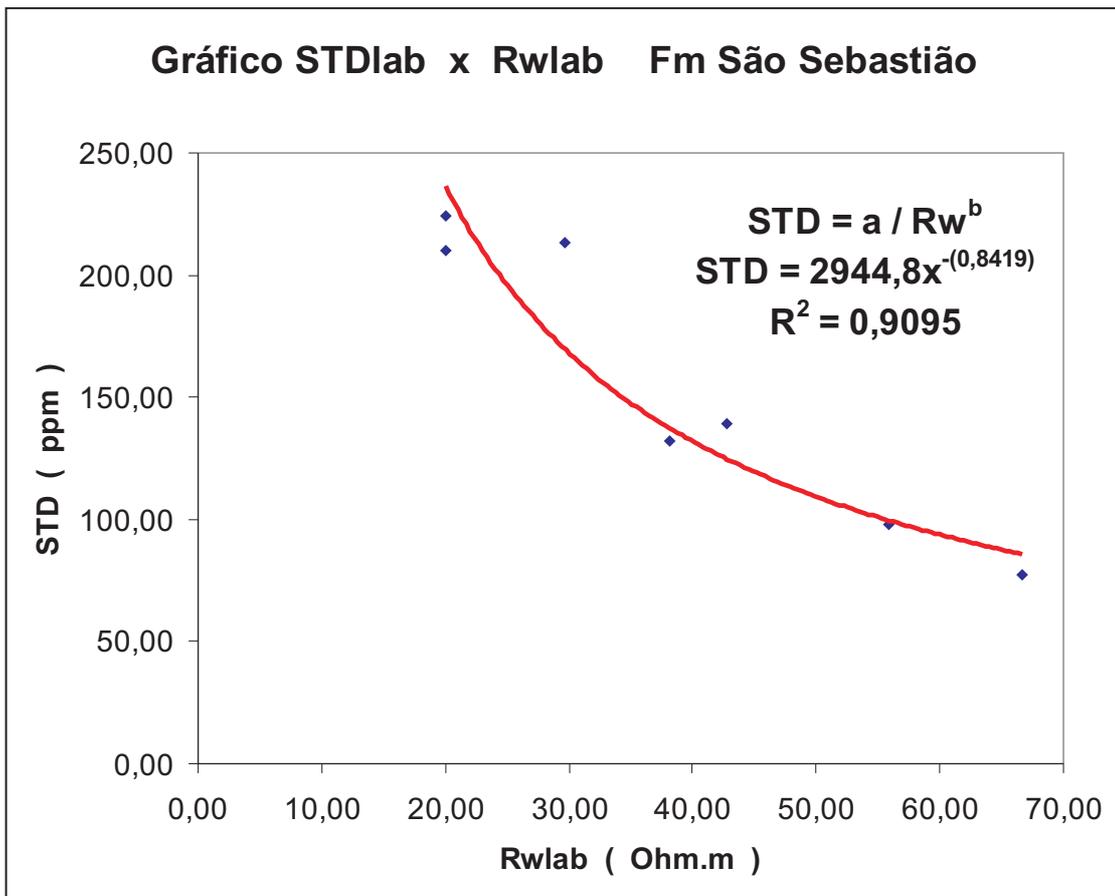
Código UFBA	0187/07-02	Amostra	PPS - 09			Coleta em:	21/09/07 11:25
Ensaio	Resultado	Unidade	LDM	Método	Data do Ensaio		
Alcalinidade Bicarbonato	136	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07		
Alcalinidade Carbonato	0,00	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 2320B	28/09/07		
Cálcio	45,8	mg/L CaCO ₃	3,0	SM 3500-Ca B	01/10/07		
Cloretos	33,0	mg/L Cl	3,0	SM 4500-Cl B	01/10/07		
Condutividade Elétrica	337	µSiemen	--	SM 2510B	01/10/07		
Magnésio	15,8	mg/L Mg	0,3	SM 3500-Mg B	01/10/07		
Potássio	4	mg/L	1	SM 3500B	01/10/07		
Sódio	40	mg/L	1,0	SM 3500-Na B	01/10/07		
Sulfatos	23,9	mg/L SO ₄	1,5	SM 4500-SO ₄ E	01/10/07		
Sólidos Dissolvidos	213	mg/L	10	SM 2540C	02/10/07		

Legenda

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th. Edition, 1998.

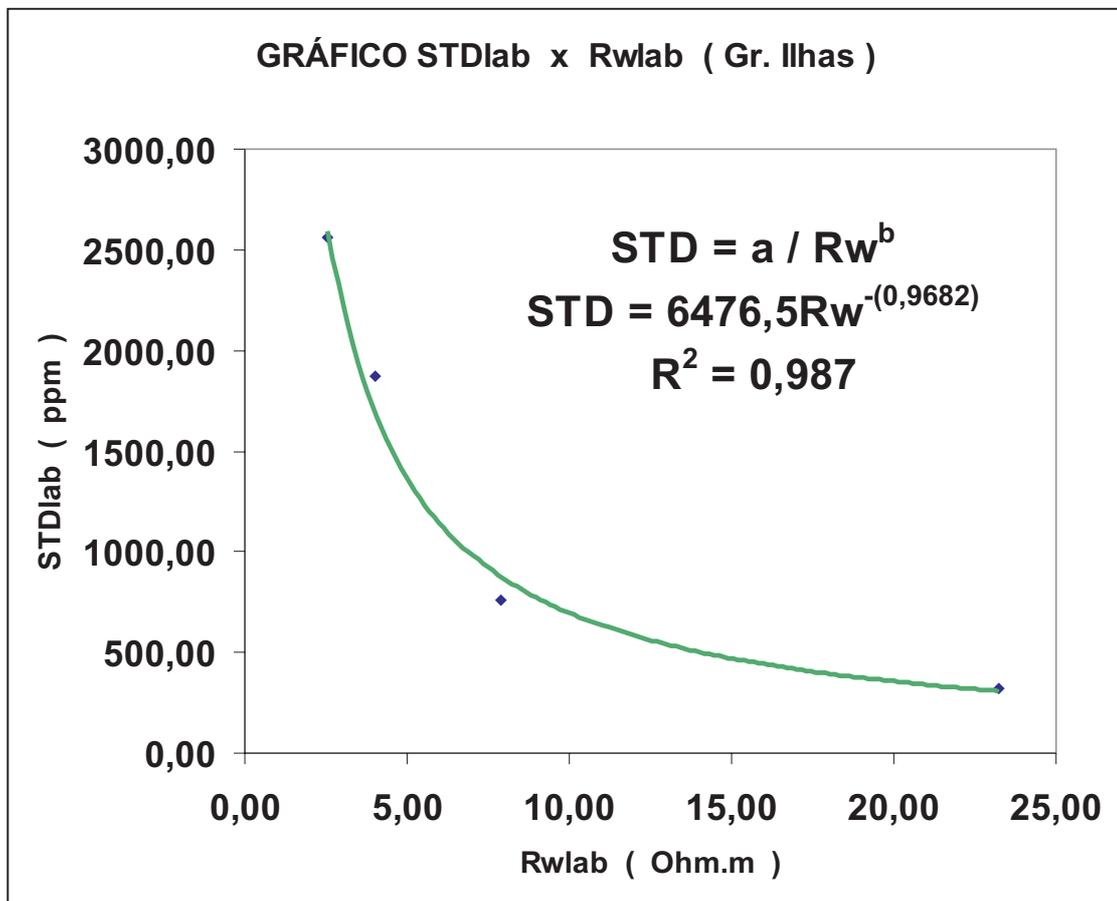
LDM: Limite de Detecção do Método.

Figura 3.10: Laudos Hidroquímicos dos poços PPS - 07 e PPS - 09.



POÇO	Rwlab	STDlab
PPS - 03	42,74	139,00
PPS - 07	55,87	98,00
PPS - 11	38,17	132,00
PAS - 01	20,00	224,00
PAS - 02	66,67	77,00
PAS - 06	20,00	210,00
PPS - 09	29,67	213,00

Figura 3.11: Gráfico de aquisição dos Parâmetros a e b e tabela mostrando os dados de laboratório dos poços amostrados na Formação São Sebastião.



POÇO	Rwlab	STDlab
PPI - 13	2,57	2562,00
PPI - 14	7,87	762,00
PAI - 15	23,26	324,00
PPI - 17	4,01	1874,00

Figura 3.12: Gráfico de aquisição dos Parâmetros a e b e tabela mostrando os dados de laboratório dos poços amostrados nos sedimentos do Grupo Ilhas.

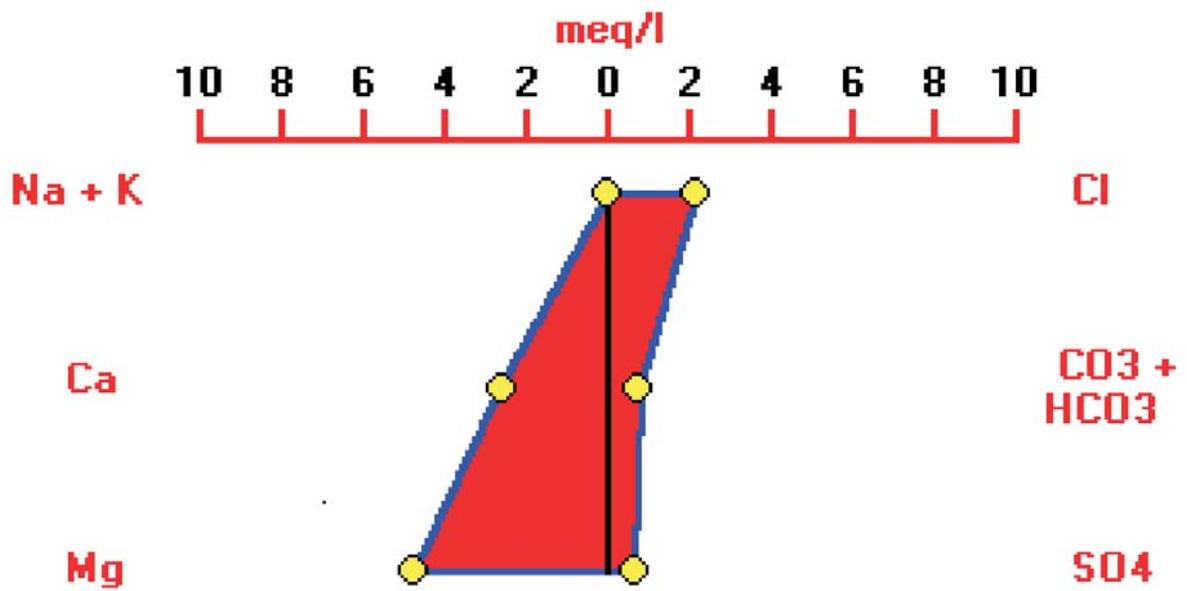
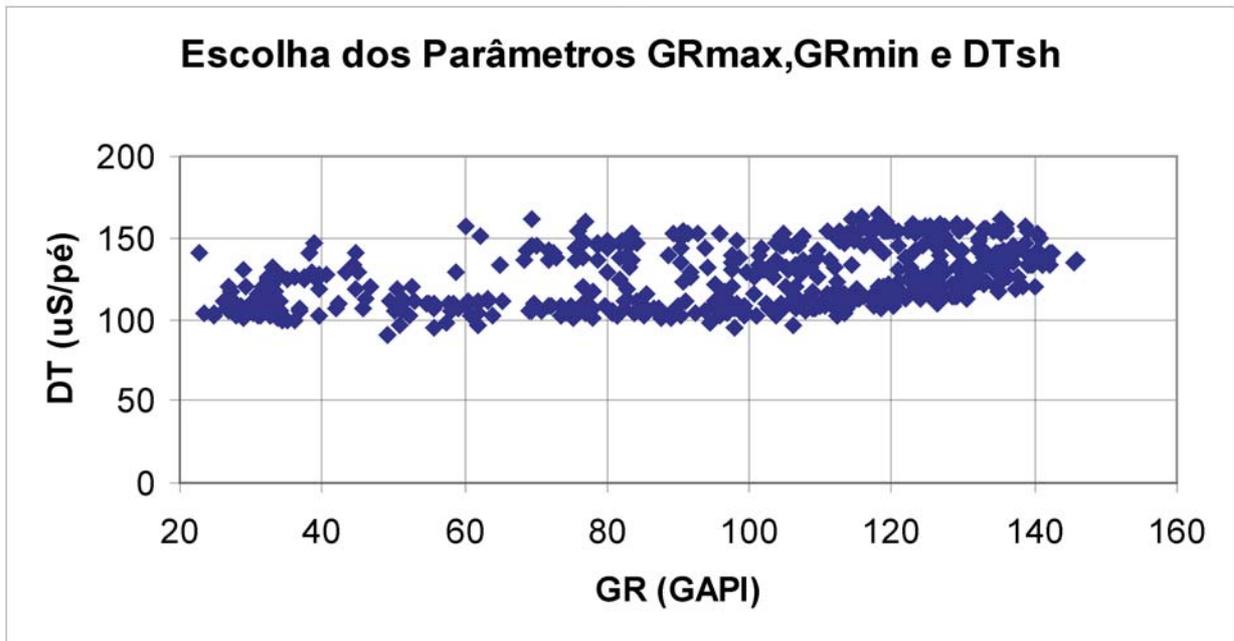


Figura 3.13: Modelo de figura gerada pelo diagrama de Stiff, mostrando a quantificação dos compostos iônicos; Programa Qualigraf/Funceme.



Resultados: GR min = 23
 GR max = 142
 DTsh = 152

Figura 3.14: Exemplo de Gráfico Cross Plot para Aquisição de GRmax, GRmin e DTsh, parâmetros úteis na interpretação quantitativa de perfis.

PARÂMETROS		INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DOS PERFIS							
GRmáx	110	POÇO : PPS - 03 Filtros: 46 - 50 ; 54 - 58 ; 76 - 82m STDlab=139,00 STDperf =178,00 NE=11,36 ND=73,36 Q = 6,37							
GRmín	23								
AGR	2								
m	1,5								
DTm	56								
aSTD	2944,8								
bSTD	0,8419								
PROF	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STDperfil
m	Ωm	UAPI	μs/pé	-	-	(Wyllie)	Ωm	mS/m	ppm
46	44,38	50,36	153,27	0,31	0,19	0,675	24,64	40,59	198
48	53,47	52,61	147,94	0,34	0,21	0,638	27,28	36,66	182
50	95,93	35,49	113,42	0,14	0,08	0,399	24,15	41,40	202
52	30,64	57,77	190,02	0,40	0,25	0,931	27,51	36,35	181
54	74,86	51,48	126,29	0,33	0,20	0,488	25,53	39,17	192
56	71,78	47,17	119,84	0,28	0,16	0,443	21,19	47,20	225
58	67,54	53,36	132,65	0,35	0,21	0,532	26,23	38,12	188
76	99,21	29,62	126,95	0,08	0,04	0,493	34,31	29,15	150
78	101,50	33,83	124,17	0,12	0,07	0,473	33,06	30,25	155
80	97,62	31,82	132,45	0,10	0,05	0,531	37,76	26,48	138
82	80,96	30,79	137,04	0,09	0,05	0,563	34,18	29,26	151
ESTADÍSTICA	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STD
MAXIMO	101,50	57,77	190,02	0,40	0,25	0,93	37,76	47,20	225
MÍNIMO	30,64	29,62	113,42	0,08	0,04	0,40	21,19	26,48	138
MEDIA	74,35	43,12	136,73	0,23	0,14	0,56	28,71	35,88	178
DESVIO	23,88	10,75	21,13	0,12	0,08	0,15	5,25	6,38	27

Figura 3.15: Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço PPS-03.

PARAMETROS		INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DOS PERFIS									
GRmáx	142	POÇO : PPS - 07									
GRmín	23										
AGR	2										
m	1,5										
DTm	56										
aSTD	2944,8										
bSTD	0,8419										
Filtros: 54 - 58 ; 63 - 67 e 181 - 183											
STDlab=98,00		STDperf =101,00		NE=31,12		ND=42,66		Q = 21,40			
PROF	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STDperfil	STD médio	
m	Ωm	UAPI	μs/pé	-	-	-	Ωm	mS/m	ppm	mg/L	
54	199,25	39,6752	118,025	0,14	0,08	0,431	56,32	17,75	99		
54,25	196,79	33,0738	122,7087	0,08	0,04	0,463	62,05	16,12	91		
54,5	193,61	32,232	125,857	0,08	0,04	0,485	65,42	15,29	87		
54,75	192,44	38,7099	126,4202	0,13	0,07	0,489	65,81	15,19	87		
55	192,21	39,6579	126,715	0,14	0,08	0,491	66,15	15,12	86		
55,25	192,29	37,3999	125,9912	0,12	0,06	0,486	65,16	15,35	87		
55,5	192,24	37,4086	123,8362	0,12	0,06	0,471	62,16	16,09	91		
55,75	191,71	39,3435	124,0325	0,14	0,07	0,472	62,25	16,06	91		
56	191,07	45,1763	128,7428	0,19	0,10	0,505	68,60	14,58	84		
56,25	193,00	43,2711	129,4309	0,17	0,09	0,510	70,28	14,23	82		
56,5	197,08	38,151	128,147	0,13	0,07	0,501	69,89	14,31	82		
56,75	201,33	38,9831	125,9085	0,13	0,07	0,485	68,10	14,68	84		
57	205,21	40,4545	126,9716	0,15	0,08	0,493	71,00	14,08	81		
57,25	207,63	38,6411	128,4265	0,13	0,07	0,503	74,06	13,50	79		
57,5	210,62	36,0916	125,2957	0,11	0,06	0,481	70,31	14,22	82		
57,75	214,58	33,3017	117,0427	0,09	0,05	0,424	59,22	16,89	95		
58	220,89	32,9231	111,833	0,08	0,04	0,388	53,33	18,75	104	88	
63	206,72	30,8596	115,3523	0,07	0,03	0,412	54,70	18,28	101		
63,25	204,58	32,9861	121,4938	0,08	0,04	0,455	62,75	15,94	90		
63,5	202,47	32,3268	125,1274	0,08	0,04	0,480	67,34	14,85	85		
63,75	200,65	32,515	124,4683	0,08	0,04	0,475	65,79	15,20	87		
64	199,32	31,2795	116,4844	0,07	0,04	0,420	54,26	18,43	102		
64,25	197,99	31,1699	112,0012	0,07	0,04	0,389	48,02	20,83	113		
64,5	197,84	31,9239	111,8965	0,07	0,04	0,388	47,85	20,90	113		
64,75	198,92	32,5476	112,9824	0,08	0,04	0,396	49,52	20,20	110		
65	201,62	34,1633	110,5704	0,09	0,05	0,379	47,04	21,26	115		
65,25	203,60	31,8056	106,9345	0,07	0,04	0,354	42,83	23,35	125		
65,5	205,32	28,1795	105,6888	0,04	0,02	0,345	41,62	24,03	128		
65,75	207,60	26,6929	104,927	0,03	0,02	0,340	41,12	24,32	129		
66	211,91	24,8857	103,1027	0,02	0,01	0,327	39,64	25,22	133		
66,25	214,14	24,7261	102,265	0,01	0,01	0,321	39,00	25,64	135		
66,5	214,42	23,508	103,1626	0,00	0,00	0,328	40,19	24,88	131		
66,75	213,40	26,4436	106,2681	0,03	0,01	0,349	44,01	22,72	122		
67	210,34	27,2656	108,6364	0,04	0,02	0,366	46,48	21,51	116	114	
ESTADÍSTICA	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STDperfil	STDmédio	
MÁXIMO	220,89	45,176	129,431	0,186	0,103	0,510	74,062	25,643	135	114	
MÍNIMO	191,07	23,508	102,265	0,004	0,002	0,321	38,997	13,502	79	88	
MEDIA	202,44	33,758	117,845	0,090	0,048	0,429	57,126	18,228	101	101	
DESVIO	8,10	5,432	9,020	0,046	0,025	0,063	11,130	3,868	18	18	

Figura 3.16: Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPS-07.

PARAMETROS		INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DOS PERFIS							
GRmáx	135	POÇO : PPS - 09 Filtros: 32 - 38 ; 122 - 126 e 138 - 142m STDlab=213,00 STDperf =247,00 NE=09,57 ND=35,52 Q = 2,56 m3/h							
GRmín	40,0								
AGR	2								
m	1,5								
Dtm	56								
aSTD	2944,8								
bSTD	0,8419								
PROF	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STD
m	Ωm	UAPI	μs/pé	-	-	(Wyllie)	Ωm	mS/m	ppm
34,25	23,9445	65,7701	156,433	0,27	0,16	0,697	13,95	71,70	320
34,5	28,4924	68,0243	148,615	0,29	0,17	0,643	14,70	68,04	306
34,75	32,5665	73,8474	129,861	0,36	0,22	0,513	11,96	83,59	364
35	34,721	77,5142	127,1	0,39	0,25	0,494	12,05	83,01	362
35,25	37,6712	71,6553	133,539	0,33	0,20	0,538	14,89	67,18	303
35,5	41,38	62,31	138,2625	0,23	0,13	0,571	17,87	55,97	260
35,75	43,75	60,51	140,9341	0,22	0,12	0,590	19,82	50,46	238
36	43,83	63,35	136,9575	0,25	0,14	0,562	18,48	54,12	253
36,25	42,47	63,20	131,5134	0,24	0,14	0,524	16,13	62,00	283
36,5	43,49	68,80	129,076	0,30	0,18	0,507	15,72	63,60	290
36,75	46,90	70,09	132,7263	0,32	0,19	0,533	18,24	54,82	256
37	48,56	65,14	135,0815	0,26	0,15	0,549	19,76	50,60	239
37,25	51,28	60,11	134,6158	0,21	0,12	0,546	20,68	48,34	230
37,5	56,19	61,52	131,6818	0,23	0,13	0,526	21,41	46,71	223
37,75	58,94	58,07	129,1149	0,19	0,11	0,508	21,32	46,90	224
38	62,52	52,83	126,8785	0,14	0,07	0,492	21,59	46,32	222
ESTATÍSTICA	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STD
MÁXIMO	62,52	70,09	140,93	0,32	0,19	0,590	21,59	63,60	290
MÍNIMO	41,38	52,83	126,88	0,14	0,07	0,492	15,72	46,32	222
MEDIA	49,03	62,36	133,35	0,24	0,13	0,537	19,18	52,71	247
DESVIO	7,27	4,79	4,29	0,05	0,03	0,030	2,07	6,01	24

Figura 3.17: Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPS-09, com parâmetros a e b da Formação São Sebastião.

PARÂMETROS		INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DOS PERFIS							
GRmáx	135,00	POÇO : PPI - 09							
GRmín	40,00								
AGR	2,00								
m	1,50								
Dtm	56,00								
aSTD	6476,50								
bSTD	0,9682	Filtros: 32 - 38 e 138 - 142m							
		STDlab=213,00	STDperf =422,00	NE=09,57	ND=35,52	Q = 2,56 m3/h			
PROF	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STD
m	Ωm	UAPI	μs/pé	-	-	(Wyllie)	Ωm	mS/m	ppm
34,25	23,94	65,77	156,4334	0,27	0,16	0,697	13,95	71,70	505
34,5	28,49	68,02	148,6153	0,29	0,17	0,643	14,70	68,04	480
34,75	32,57	73,85	129,8606	0,36	0,22	0,513	11,96	83,59	586
35	34,72	77,51	127,1004	0,39	0,25	0,494	12,05	83,01	582
35,25	37,67	71,66	133,5394	0,33	0,20	0,538	14,89	67,18	474
35,5	41,38	62,31	138,2625	0,23	0,13	0,571	17,87	55,97	397
35,75	43,75	60,51	140,9341	0,22	0,12	0,590	19,82	50,46	359
36	43,83	63,35	136,9575	0,25	0,14	0,562	18,48	54,12	385
36,25	42,47	63,20	131,5134	0,24	0,14	0,524	16,13	62,00	439
36,5	43,49	68,80	129,076	0,30	0,18	0,507	15,72	63,60	450
36,75	46,90	70,09	132,7263	0,32	0,19	0,533	18,24	54,82	389
37	48,56	65,14	135,0815	0,26	0,15	0,549	19,76	50,60	360
37,25	51,28	60,11	134,6158	0,21	0,12	0,546	20,68	48,34	345
37,5	56,19	61,52	131,6818	0,23	0,13	0,526	21,41	46,71	333
37,75	58,94	58,07	129,1149	0,19	0,11	0,508	21,32	46,90	335
38	62,52	52,83	126,8785	0,14	0,07	0,492	21,59	46,32	331
ESTATÍSTICA	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STD
MÁXIMO	62,52	77,51	156,43	0,39	0,25	0,70	21,59	83,59	586
MÍNIMO	23,94	52,83	126,88	0,14	0,07	0,49	11,96	46,32	331
MEDIA	43,54	65,17	135,15	0,26	0,15	0,55	17,41	59,59	422
DESVIO	10,65	6,30	7,95	0,07	0,04	0,06	3,28	12,33	84

Figura 3.18: Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPS-09, com parâmetros a e b do grupo Ilhas.

Indicativa de que este poço tem águas mais correlacionáveis com as da Formação São Sebastião que as do Grupo Ilhas.

PARÂMETROS		INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DOS PERFIS							
GRmáx	90	POÇO : PPI - 14 Possíveis regiões filtrantes: 202 - 210; 220,5 - 222,5; 233 - 237 e 253 - 259m STDIab=762,00 STDperf =821,00 NE=22,45 ND=144,11 Q =43,99 m3/h							
GRmin	25								
AGR	2								
m	1,5								
Dtm	56								
aSTD	6476,50								
bSTD	0,9682								
PROF	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STD
m	Ωm	UAPI	μs	-	-	(Wyllie)	Ωm	mS/m	ppm
206,25	36,18	34,51	99,70	0,15	0,08	0,304	7,47	133,91	924
206,5	36,31	38,11	99,50	0,20	0,11	0,302	7,44	134,38	928
206,75	37,34	39,12	97,41	0,22	0,12	0,288	7,11	140,68	970
207	37,56	37,44	96,41	0,19	0,11	0,281	6,89	145,10	999
207,25	37,90	35,51	97,16	0,16	0,09	0,286	7,15	139,88	964
207,5	37,60	35,51	99,05	0,16	0,09	0,299	7,59	131,80	910
207,75	36,50	38,15	101,77	0,20	0,11	0,318	8,07	123,84	857
208	35,79	39,75	104,78	0,23	0,13	0,339	8,71	114,79	796
208,25	35,37	40,94	105,15	0,25	0,14	0,341	8,71	114,84	797
208,5	34,63	42,79	103,36	0,27	0,16	0,329	8,06	124,03	858
208,75	34,38	40,68	102,54	0,24	0,14	0,323	7,80	128,23	887
209	34,23	39,21	101,80	0,22	0,12	0,318	7,58	131,93	911
209,25	33,54	37,11	100,85	0,19	0,10	0,311	7,20	138,96	958
209,5	32,98	38,39	100,72	0,21	0,11	0,311	7,05	141,91	978
209,75	32,55	38,64	102,14	0,21	0,12	0,320	7,29	137,22	947
210	32,45	38,34	101,52	0,21	0,11	0,316	7,12	140,41	968
233,5	52,21	43,99	93,16	0,29	0,17	0,258	8,45	118,33	820
233,75	53,19	48,68	86,24	0,36	0,22	0,210	6,32	158,22	1087
234	55,12	44,87	82,59	0,31	0,18	0,185	5,40	185,25	1266
234,25	55,13	45,60	90,98	0,32	0,19	0,243	8,15	122,75	850
234,5	54,42	49,63	96,58	0,38	0,23	0,282	10,05	99,50	693
234,75	51,38	46,07	100,74	0,32	0,19	0,311	10,98	91,04	636
235	51,04	39,94	104,62	0,23	0,13	0,338	12,36	80,89	567
235,25	49,99	40,96	103,87	0,25	0,14	0,332	11,83	84,55	592
235,5	52,54	39,79	99,22	0,23	0,13	0,300	10,66	93,77	655
235,75	54,67	37,05	95,94	0,19	0,10	0,277	9,86	101,42	706
236	58,03	34,59	95,50	0,15	0,08	0,274	10,29	97,15	678
236,25	61,29	33,84	96,18	0,14	0,07	0,279	11,15	89,67	627
236,5	60,79	30,92	95,73	0,09	0,05	0,276	10,87	91,96	643
236,75	60,30	28,66	96,42	0,06	0,03	0,281	11,07	90,31	631
237	57,34	32,84	96,44	0,12	0,06	0,281	10,54	94,91	662
255	55,33	29,97	96,65	0,08	0,04	0,282	10,24	97,61	681
255,25	54,08	32,44	95,64	0,11	0,06	0,275	9,64	103,70	722
255,5	48,05	35,92	97,76	0,17	0,09	0,290	9,26	107,94	750
255,75	43,11	37,57	101,58	0,19	0,11	0,317	9,48	105,50	734
256	38,22	41,83	103,53	0,26	0,15	0,330	8,95	111,78	776
256,25	34,39	44,35	104,61	0,30	0,17	0,338	8,33	120,10	832
256,5	32,20	44,83	107,15	0,31	0,18	0,355	8,42	118,83	824
256,75	31,29	48,62	107,28	0,36	0,22	0,356	8,21	121,81	844
257	30,22	49,28	105,20	0,37	0,23	0,342	7,45	134,25	927
ESTATÍSTICA	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	Rw	CwA	STD
MAXIMO	61,29	49,63	107,28	0,38	0,23	0,356	12,36	185,25	1266
MÍNIMO	30,22	28,66	82,59	0,06	0,03	0,185	5,40	80,89	567
MEDIA	43,99	39,41	99,19	0,22	0,13	0,300	8,73	118,58	821
DESVIO	10,35	5,31	5,19	0,08	0,05	0,036	1,65	22,48	151

Figura 3.19: Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPI-14, com parâmetros a e b do grupo Ilhas.

PARÂMETROS		INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DOS PERFIS							
GRmáx	93	POÇO : PPI - 17 Perfurado 1996 Filtros: 103,5 - 105,5 e 120 - 128m STDlab=1874,00 STDperf =1734,00 NE= 37,44m ND=76,84m Q = 7,52 m3/h							
GRmin	26								
AGR	2								
m	1,5								
Dtm	56								
aSTD	6476,50								
bSTD	0,9682								
PROF	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STD
m	Ωm	UAPI	μs/pé	-	-	-	Ωm	mS/m	ppm
103,5	12,03	52,78	130,31	0,40	0,25	0,516	4,46	224	1523
103,75	13,20	40,39	123,04	0,21	0,12	0,466	4,19	238	1617
104	14,70	37,69	115,84	0,17	0,10	0,416	3,94	254	1719
104,25	16,15	38,07	119,34	0,18	0,10	0,440	4,71	212	1444
104,5	16,74	36,46	120,64	0,16	0,08	0,449	5,03	199	1354
104,75	16,88	38,69	121,02	0,19	0,10	0,452	5,12	195	1332
105	16,63	36,55	123,09	0,16	0,09	0,466	5,29	189	1291
105,25	14,18	42,31	132,96	0,24	0,14	0,534	5,54	180	1234
105,5	11,50	48,30	143,82	0,33	0,20	0,610	5,48	183	1248
120	20,28	43,67	99,96	0,26	0,15	0,305	3,42	292	1969
120,25	22,21	35,31	98,60	0,14	0,07	0,296	3,57	280	1887
120,5	23,61	29,57	96,53	0,05	0,03	0,281	3,53	284	1912
120,75	24,88	30,93	95,28	0,07	0,04	0,273	3,54	282	1903
121	25,79	33,44	96,24	0,11	0,06	0,279	3,81	263	1774
121,25	26,44	34,50	96,40	0,13	0,07	0,281	3,93	254	1721
121,5	27,13	29,23	94,78	0,05	0,02	0,269	3,79	264	1782
121,75	27,95	29,00	93,42	0,04	0,02	0,260	3,70	270	1824
122	28,43	34,55	93,53	0,13	0,07	0,261	3,78	264	1786
125	24,35	32,12	100,37	0,09	0,05	0,308	4,16	240	1627
125,25	24,52	32,79	98,55	0,10	0,05	0,295	3,94	254	1718
125,5	24,61	30,63	97,47	0,07	0,04	0,288	3,80	263	1777
125,75	24,46	30,12	97,59	0,06	0,03	0,289	3,80	263	1779
126	24,93	29,90	97,51	0,06	0,03	0,288	3,86	259	1753
126,25	24,82	30,26	96,74	0,06	0,03	0,283	3,74	268	1808
126,5	24,54	29,84	97,33	0,06	0,03	0,287	3,77	265	1790
126,75	24,03	31,05	96,66	0,08	0,04	0,282	3,61	277	1871
127	23,31	31,25	95,22	0,08	0,04	0,272	3,31	302	2030
127,25	22,83	34,61	94,28	0,13	0,07	0,266	3,13	320	2147
127,5	22,40	44,45	95,70	0,28	0,16	0,276	3,24	308	2073
127,75	22,22	41,81	96,64	0,24	0,13	0,282	3,33	300	2020
128	21,61	36,41	96,92	0,16	0,08	0,284	3,27	305	2054
ESTATÍSTICA	DIR	GR	DT	IGR	VSH	PHIs	RwA	CwA	STD
MAXIMO	28,43	52,78	143,82	0,40	0,25	0,610	5,54	319,69	2147
MINIMO	11,50	29,00	93,42	0,04	0,02	0,260	3,13	180,50	1234
MEDIA	21,53	35,70	105,02	0,14	0,08	0,340	3,99	256,56	1734
DESVIO	4,89	6,02	14,17	0,09	0,06	0,098	0,68	38,23	251

Figura 3.20: Trecho da Planilha de cálculos interpretativos do Poço do Poço PPI-17, com parâmetros a e b do grupo Ilhas.

CAPÍTULO 4

Análise dos Resultados Interpretados e Conclusões

4.1 Perfis Conjugados

O perfil geofísico original do poço PPS-03, não possuiu o arquivo “LAS”, recurso importantíssimo nas planilhas de cálculos. Desta forma, o gráfico do perfil teve que ser digitalizado por meio do programa “Didger”, obtendo-se assim o arquivo “LAS” correspondente. Esta operação possibilitou a existencia de erros, resultando em um perfil de qualidade inferior aos demais. Mesmo assim, a curvas dos perfis RG e o litológico se correlacionam de modo harmônico entre as litologias correspondentes, Fig. 3.1.

Os poços perfilados PPS-03, PPS-04, PPS-07, PPS-10, PPS-11 e PPS-12, mostram um comportamento típico, comum e característico entre eles, através das curvas dos perfis RG's. Tal comportamento é descrito litologicamente, como uma sequência areno-pororosa, pertencentes a ambientes flúvio-deltáicos, de boa espessura, característico da formação São Sebastião. Propriedade esta, também confirmada através das planilhas de cálculos, admitindo que tais poços pertençam a mesma formação.

Os perfis geofísicos PPI-13, PPI-14 e PPI-17 mostram o comportamento da curva dos perfis RG's bem acentuada, com linha base do folhelho bastante definida, interpretados por descrições litológicas como pacotes espessos de folhelhos acinzentados, característico de ambientes calmo, lagunar, representados aqui na área de estudo, como sedimentos do Grupo Ilhas. Esta afirmativa é confirmada no mapa geológico da área e nas planilhas de cálculos correspondentes.

4.2 Interpretações das Planilhas de Cálculos

As constantes $a = 2944,8$ e $b = 0,8419$ adquiridas pelo método analítico de Girão Nery (1996), quando aplicada na planilha de cálculos para poços pertencentes a formação São Sebastião,

figura 3.11, ofereceu resultados satisfatórios quando se compara o STDlab (STD de laboratório) com o STDperf (STD calculado pelo perfil).

AQÜÍFERO DA FORMAÇÃO SÃO SEBASTIAO

- Poço PPS-03, figura 3.15 : STDlab = 139,00 e STDperf = 178,00 (ppm) Este poço teve uma discrepância dos valores, devido a possíveis erros obtidos no momento de digitação do perfil.
- Poço PPS-07, figura 3.16 : STDlab = 98,00 e STDperf = 101,00 (ppm) Poço com água de excelente qualidade, resultados próximos aos esperados.
- Poço PPS-09 : STDlab = 213,00 e STDperf = 247,00 (ppm).

O poço PPS-09 merece uma atenção especial, pois o perfil RG sugere dois tipos de comportamentos litológicos, até aos 42,00m com tendência para a Formação São Sebastião. Abaixo deste, o comportamento da curva tende para sedimentos do Grupo Ilha. Além da geofísica observar este tipo de comportamento, na hidroquímica também foi constatado que quando colocado os valores das constantes $a = 6476,5$ e $b = 0,9682$ para o Grupo Ilhas figura 3.12, obteve-se valores STDlab = 213,00 e STDperf = 442,00 (ppm), confirmando assim a primeira opção, ou seja, trata-se de água do São Sebastião. Além disso, o poço possui uma idade superior a 5 anos, logo STDlab tenderá ser menor que o STDperf, observar figuras 3.17 e 3.18.

As constantes $a = 6476,5$ e $b = 0,9682$ do Grupo Ilhas, figura 3.12, mostrou os seguintes resultados:

AQÜÍFERO DO GRUPO ILHAS

- Poço PPI-14, figura 3.19 : STDlab = 762,00 e STDperf = 821,00 (ppm). Este poço possui idade superior a 5 anos, (figura 3.19).
- Poço PPI-17, figura 3.20 : STDlab = 1874,00 e STDperf = 1734,00 (ppm), poço possui idade superior a 5 anos, (figura 3.20).

Concluimos então, como já era esperado, tanto na hidroquímica como na geofísica, que o aquífero Ilhas nesta área de estudo, possui águas medianamente salinas.

4.3 Interpretações dos Mapas

O mapa geológico da área é bastante importante para interpretações dos resultados obtidos dos mapas de isotores, podendo assim ser comparados simultaneamente, dados analíticos com a geologia local. O mapa da figura 4.1, mostra claramente o domínio predominante da Formação São Sebastião na área de estudo. Mostra, também o afloramento de sedimentos do Grupo Ilhas na região sudeste da área. Este afloramento é de vital importância para as interpretações analíticas. Os depósitos aluvionares, sedimentos Barreiras e Marizal, não apresentaram particularidades, dignas de estudo de melhor detalhe.

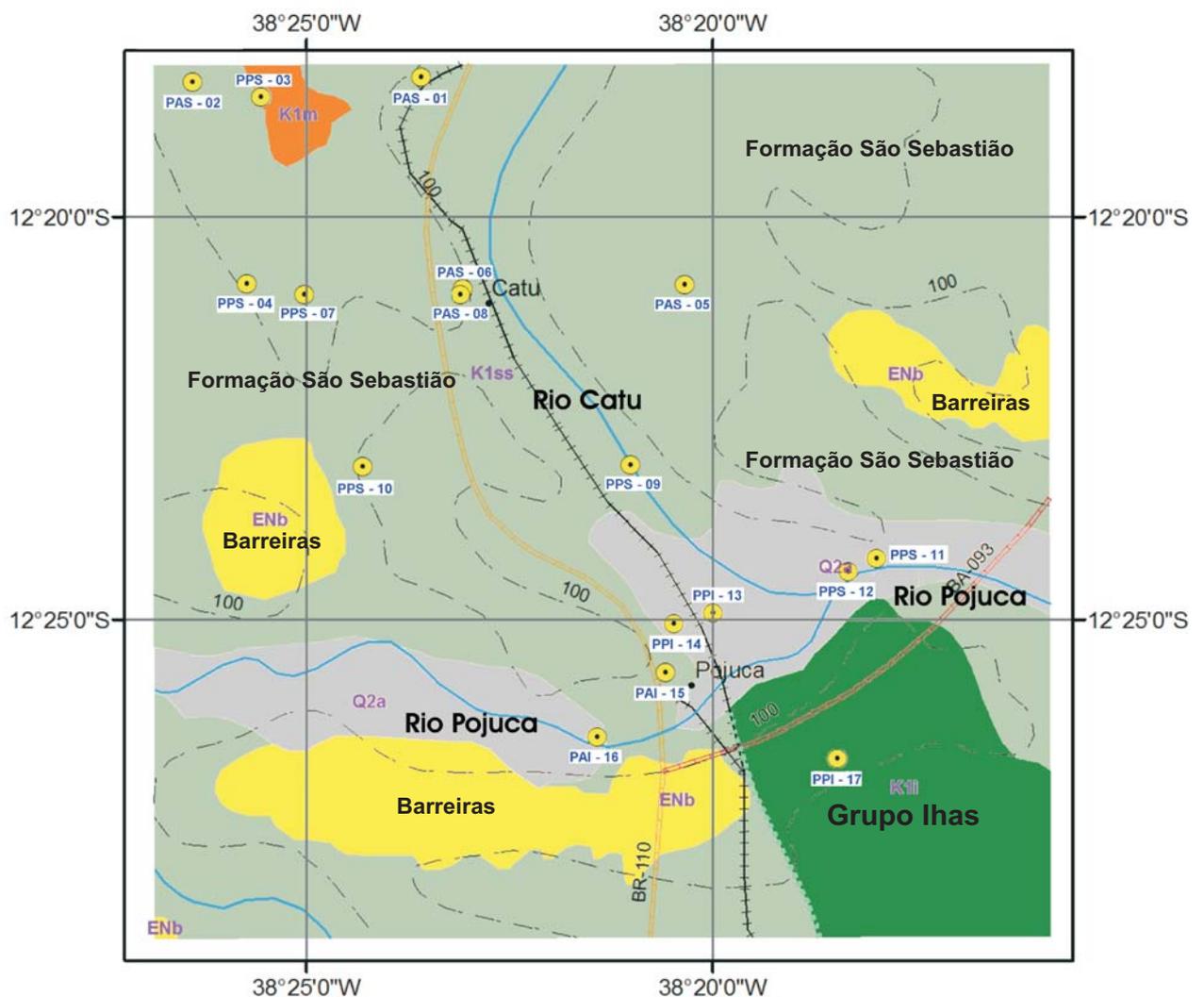
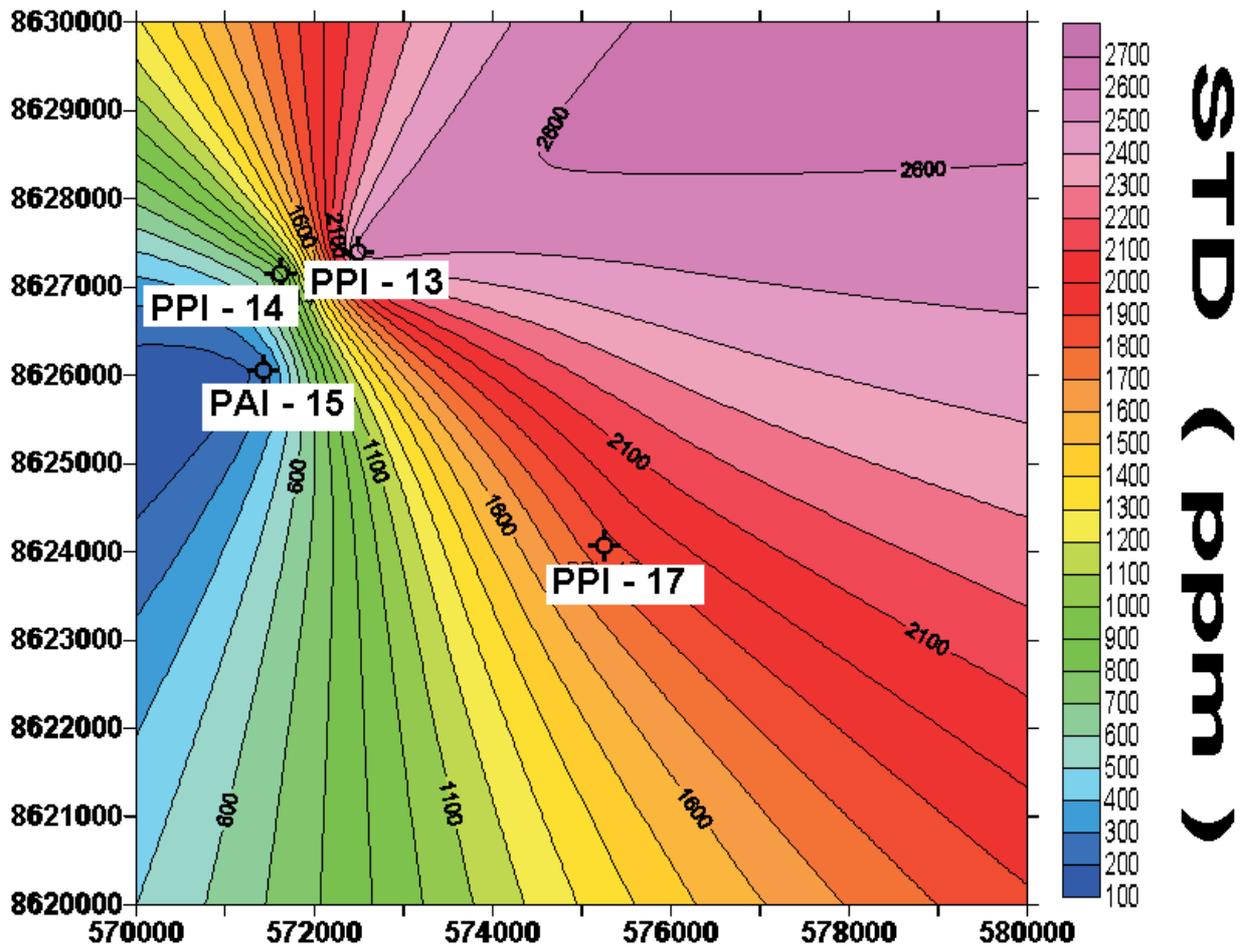


Figura 4.1: Mapa Geológico da Área; Fonte, CPRM - 2003.

O mapa da figura 4.3, representa um mapa de distribuição de isoteor de STD em uma área onde os poços sejam perfurados no Grupo Ilha, notar que o poço PAI-15 possui um teor de STD relativamente baixo(300-400ppm) comparados com os demais, por estarem bem próximos, a existência de uma falha geológica entre eles é bastante provável.



LEGENDA

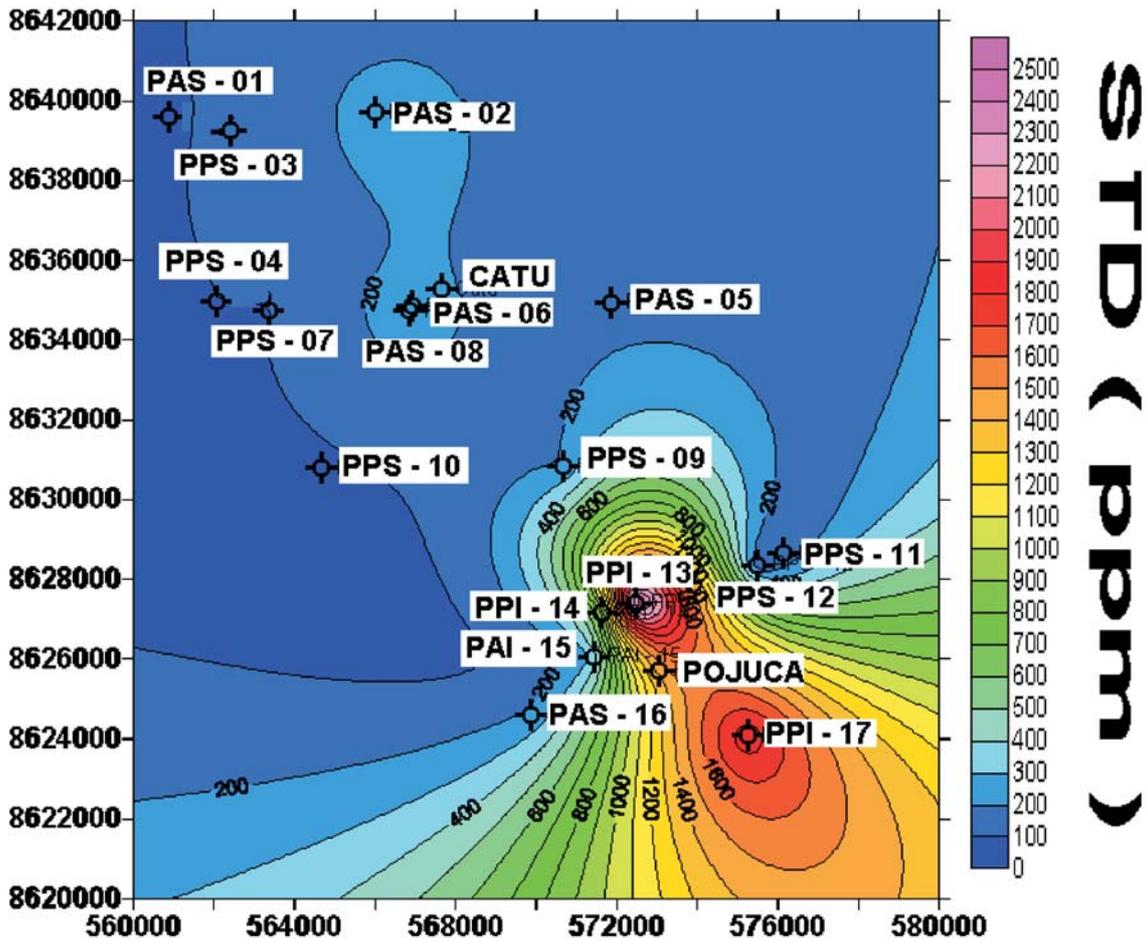
PAI Poço analisado no Gr ilhas

PPI Poço perfurado e analisado
no Gr ilhas

Figura 4.3: Mapa de Isoteor de STD no Grupo Ilhas.

A soma das distribuições de isoteor de STD das figuras 4.2 e 4.3 resultou a figura 4.4,

onde estão distribuídos todos os poços perfurados, perfilados e analisados existente na área de estudo. Esta figura mostra a distribuição de isoteor de STD em toda área, verificá-se uma anomalia existente na região sudeste, representando um corpo de forma tabular, de direção sudeste-noroeste o mesmo corpo representado no mapa geológico como pacote sedimentar do Grupo Ilhas, no mapa geológico este corpo não se estende tanto, devido a existência de uma cobertura sedimentar detrítica recente, sobreposta a este. Notamos também neste mapa, o predomínio maior das distribuições das águas doce (águas de baixo teor de STD), confirmando assim a geologia local, figura 4.1.



LEGENDA

PAS - 02 Poço analisado na fm São Sebastião

PPS - 03 Poço perfilado na fm São Sebastião

PAI - 15 Poço analisado no Gr Ilhas

PPI - 17 Poço perfilado no Gr ilhas

Figura 4.4: Mapa de Isocontorno de STD da área, abrangendo todos os poços.

O mapa de distribuições das concentrações químicas (figura 4.5), segundo os diagramas de Stiff, mostra a área dividida em quatro setores, onde cada setor possui característica própria na qualidade da água, o quarto setor é devido a falta de dados, deste modo a área possui três tipos de águas. O setor 1 domina mais que 50% da área estudada e está localizado no nordeste e noroeste, possui uma água de ótima qualidade, de dureza baixa, excelente potabilidade. O setor 2 no norte da área, possui uma água carbonatada e magnésiana, de dureza forte. O setor 3, a sudoeste, sugere um estudo mais sistemático, pois existe uma configuração não regular. Notar que estão neste setor os poços perfurados no Grupo Ilhas, cujo comportamento segue aproximadamente o contorno do afloramento da geologia presente. A existência da bacia hidrográfica do rio Pojuca, representada pelos rios principais Pojuca, Una e Catu, exercem fortes influência na variação hidroquímica da área. Os rios são orientados estruturalmente pelos falhamentos, e os basculamentos entre os blocos permitem conexão direta entre aquíferos distintos, permitindo assim mistura de águas.

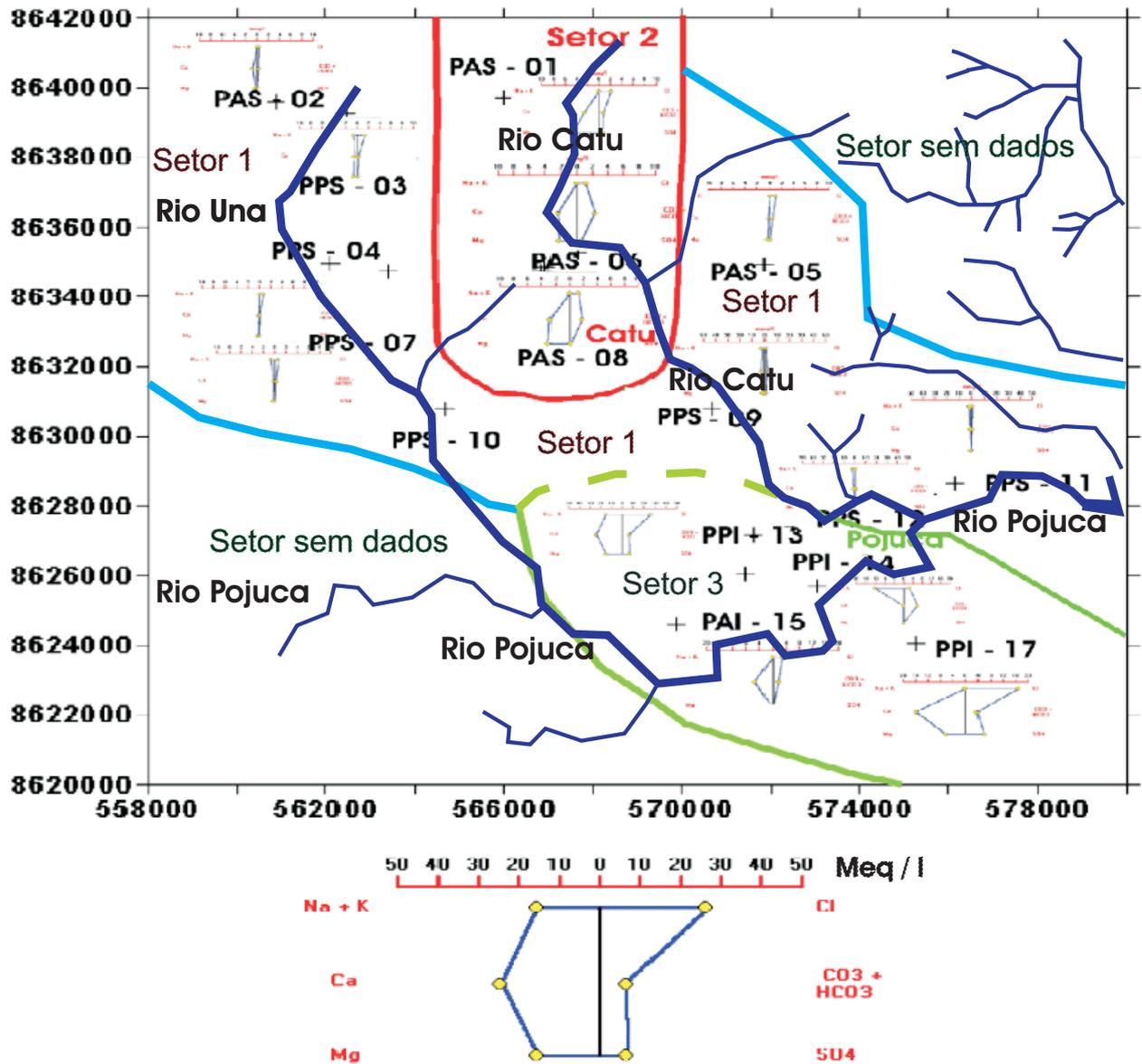


Figura 4.5: Mapa de Distribuição das Concentrações Químicas das Águas na Área de Estudo - Segundo Diagrama de STIFF, com indicação de três setores individualizados.

4.4 Conclusões e Recomendações

No presente estudo, que teve como base um método analítico proposto por Girão Nery (1996), a perfilagem geofísica por meio das curvas de raios gama natural, potencial espontâneo, resistividade profunda e acústica, foi usada na interpretação lito-estratigráfica dos sistemas aquíferos clásticos do recôncavo baiano, para a avaliação da qualidade da água em termos de sais totais dissolvidos (STD) e resistividade da água interporosa (R_w). O método mostrou-se eficiente e prático, revelando o poder da ferramenta de perfilagem geofísica em identificar aquíferos potencialmente viáveis para exploração. Com tais resultados, mapas de distribuição espacial do STD foram confeccionados, para uso futuro na exploração da qualidade da água subterrânea na área estudada.

O perfil conjugado da figura 4.6 é exemplo fundamental de todo objetivo deste trabalho. Por meio deste perfil, podemos obter parâmetros qualitativos e também quantitativos para definições de mananciais. O poço, devidamente nela interpretado e mostrado, foi perfurado pela CERB e perfilado pela Hydrolog em dezembro/2007, não possuía, até a época da edição deste trabalho, análise hidroquímica completa para confirmação dos resultados. Se todas as empresas de perfuração unissem todos seus bancos de dados, para estimativas como aqui realizadas, melhor e mais realistas seriam os dados analíticos e estimativos. Preconiza-se, deste modo, o uso dos perfis juntamente com os dados laboratoriais (correlação Rocha x Perfil).

O estudo revelou ainda, que o espaço entre o ano de perfuração do poço e ano que foi realizada a coleta da água para análise, tem importância fundamental na realização deste tipo de pesquisa. Quando estes são contemporâneos, os resultados tendem a se aproximar; quando realizados em épocas diferentes, a tendência é STD da perfilagem ser maior que o STD do laboratório, devido a limpeza natural do aquífero no decorrer de sua produção.

A associação da perfilagem geofísica, geologia e hidroquímica, permite estimar qualitativamente reservatórios promissores, descartando por meios interpretativos e analíticos, a captação de aquíferos salinos que comprometam a qualidade final da água, diminuindo assim custos operacionais na construção do poço tubular.

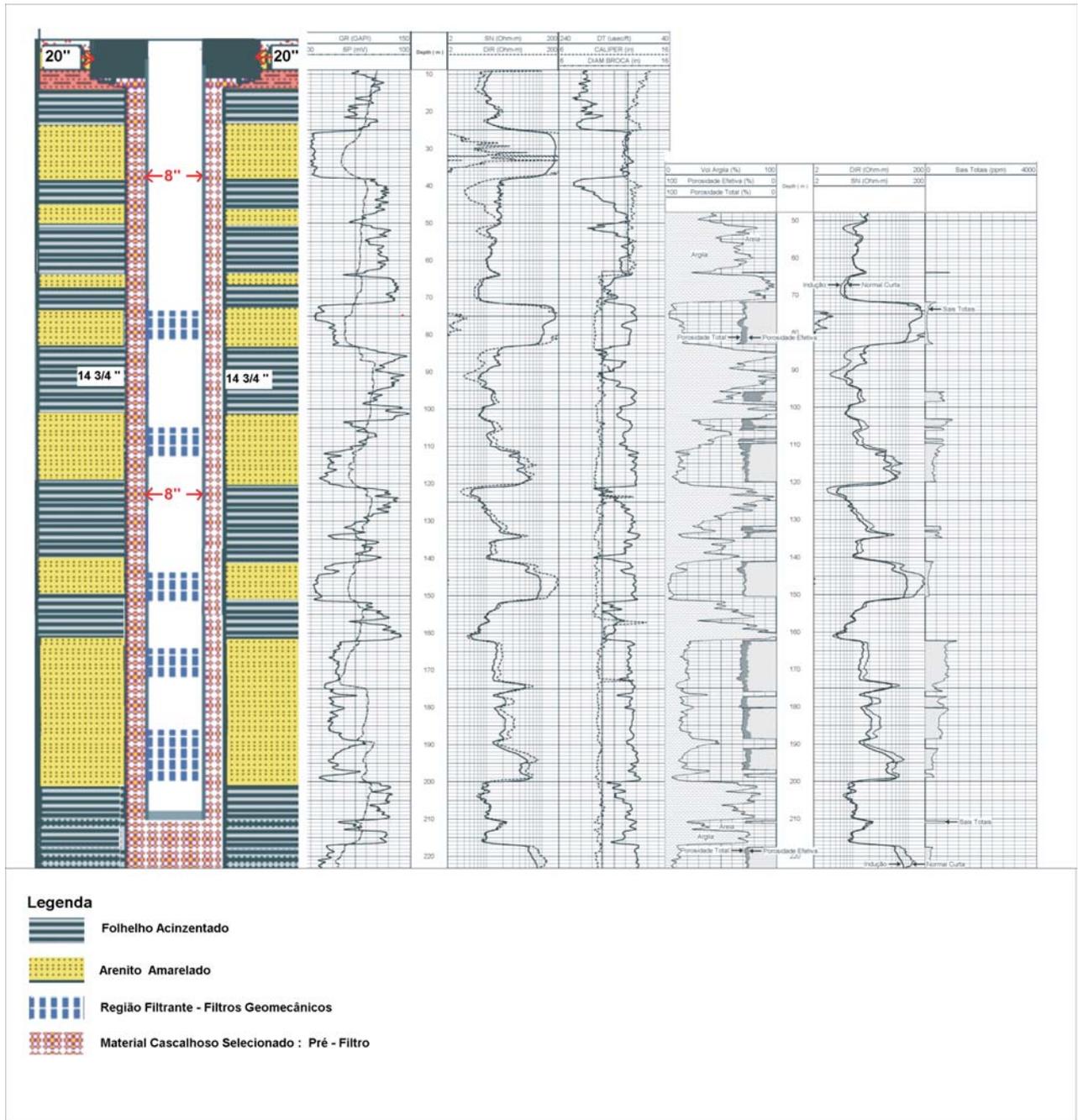


Figura 4.6: Perfil Conjugado Lito-geofísico e o perfil computado Hydro-log(TM), realizado pela Hydrolog Serviços de Perfilagens Ltda / CERB. Poço PPS - 10.

Agradecimentos

Primeiramente expresso minha profunda gratidão a DEUS por ter concedido a oportunidade de concluir a etapa mais importante de minha vida. Agradeço também a todo grupo de colegas de geofísica que me acolheram com respeito e dedicação. A minha esposa Celma, pela paciência, incentivo, compreensão e dedicação durante toda minha jornada acadêmica. Ao meu orientador professor Geraldo Girão Nery, pela paciência, boa vontade e incentivo. Aos meus amigos-irmãos Martonny Bonfim, Tiago Torres, Anderson Nogueira que ao longo desta caminhada difícil, tive sorte de contar com verdadeiros amigos nos momentos tristes e alegres.

Aos professores Godofredo Correa Lima Jr, Cícero da Paixão Pereira, Luiz César C. Gomes, Telésforo Marques e a Félix.

Aos Funcionários da UFBA Joaquim Bonfim Lago, Tiago e dona Ana D'o, pela ajuda na edição deste trabalho.

As empresas CERB, NR e Principalmente a Hydrolog pelo auxílio de dados.

Referências Bibliográficas

- Archie, G. E. (1942) The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Am. Inst. Mining metall. Engineers*, **1**(146):54–62.
- Barrison, M. R. (2003) Estudo Hidrogeoquímico da Porção Meridional do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo, Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Brasil.
- Bastos, F. R. (1999) Caracterização petrofísica e hidrológica de Aquíferos areno-argilosos usando perfilagem elétrica de poços, Monografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Caixeta, J. M.; Magnavita, L. e Feijó, F. (1994) Bacias do recôncavo, Tucano e Jatobá, In: *Boletim de Geociências da PETROBRAS.*, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo A Miguez de Mello, Rio de Janeiro, Brasil.
- Lima, O. A. L. (1991) Avaliação hidrogeofísica de arenitos aquíferos na bacia recôncavo-tucano(ba), In: *2º Cong. Internat. Soc. Bras. Geof.*, Anais, SBGf, Salvador, Brasil.
- Lima, O. A. L. (1995) Water saturation and permeability from resistivity, dielectric, and porosity logs, geophysics, *Revista Brasileira de Geociências*, **06**(60):43–49.
- Lima, O. A. L. (1999) Determinação das resistividades verdadeiras de águas subterrâneas usando perfilagens de potencial espontâneo, In: *Cong. Int. of the Brazilian Geophy. Soc.*, Anais, SBGf, Rio de Janeiro, Brasil.
- Lima, O. A. L. e Miranda, T. A. D. (1988) Condições hidrogeológicas dos aquíferos artesianos do complexo petroquímico de camaçari-ba, *Revista Brasileira de Geociências*, **1**(18):43–49.
- Milani, E. J. e Davisson, I. (1987) Aspectos da evolução tectônica das bacias do recôncavo e tucano sul: folhas de cipó e olindina, In: *Boletim Téc. PETROBRAS.*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Nery, G. G. (1989) Perfilagem em poço aberto, Publicação interna PETROBRAS, Bahia, Brasil.
- Nery, G. G. (1996) Equações hiperbólicas relacionando R_w com STD: Determinação da qualidade da água através dos perfis geofísicos, In: *Cong. Bras. Águas Subt.*, Anais, ABAS, Salvador, Brasil.
- Nery, G. G. (2000) Perfilagem geofísica aplicada à água subterrânea, In: CPRM, ed., *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*, vol. 1, cap. 4, pp. 227–240, Serviço Geológico do Brasil

- CPRM, Rio de Janeiro, Brasil.
- Rosa, E. S. (2004) Avaliação hidrogeológica do aquífero São Sebastião na falha de Olindina utilizando geofísica de poço e de superfície, Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Santos, C. F. e Estrela Braga, J. A. (1990) O estado da arte da bacia do (r)ecôncavo, vol. 4 pp. 35-43, In: *Boletim Téc.PETROBRAS.*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Sapucaia, N. S. (2001) Integração geológica entre a bacia do Recôncavo e seu embasamento: estudo através de algumas áreas - alvo, Monografia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil.
- Stiff, H. A. J. (1951) The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. in: Chemical hydrogeology, p. 60-62, 1983., In: *Chemical Hydrogeology*, William Back and R. Allan Freze, Hutchinson Ross Publishing Company. Reprinted from Jour. Petroleum Technology 3, n 10, Section 2, 3 1951.
- Teixeira, W.; Toledo, M. M.; Fairchild, T. R. e Taioli, F. (2000) Decifrando a Terra, Oficina de Textos, Rio de Janeiro, Brasil.
- Thomas, J. E.; Triggia, A. A.; Correia, C. A. e Verotti Filho, C. (2001) Fundamentos de engenharia do Petróleo, Editora Interciência, Rio de Janeiro, Brasil.
- Viana, C. F.; Jr., G.; Simões, I. A.; Moura, J. A.; Fonseca, J. R. e Alves, R. J. (1971) Revisão estratigráfica da bacia do recôncavo/tucano, vol. 14 pp. 157-192, In: *Boletim Téc.PETROBRAS.*, Rio de Janeiro, Brasil.
- Wyllie, A. A.; Gregory, A. R. e Gardner, L. W. (1956) Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media, *Geophysics*, **21**(1):41-70.