

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE
EXPLOTAÇÃO EM POÇOS DO SISTEMA AQUÍFERO CRISTALINO
NO CARIRI PARAIBANO.**

FRANCISCO DE ASSIS DA SILVEIRA GONZAGA

Campina Grande
Data: MAIO DE 2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA HIDRÁULICA**

FRANCISCO DE ASSIS DA SILVEIRA GONZAGA

**UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE
EXPLOTAÇÃO EM POÇOS DO SISTEMA AQUÍFERO CRISTALINO NO
CARIRI PARAIBANO.**

Campina Grande

Mai de 2011

FRANCISCO DE ASSIS DA SILVEIRA GONZAGA

**UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE
EXPLOTAÇÃO EM POÇOS DO SISTEMA AQUÍFERO CRISTALINO NO
CARIRI PARAIBANO.**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil e
Ambiental da Universidade Federal de
Campina Grande, como parte dos
requisitos necessários para a obtenção do
grau de Mestre.**

Área de Concentração: Engenharia Hidráulica

**Orientadores: Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão
Prof(a) Dr. Iana Alexandra Alves Rufino**

**Campina Grande
Maio de 2011**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

G642m

Gonzaga, Francisco de Assis da Silveira.

Uma Metodologia para Determinação da Vazão de Exploração em Poços do Sistema Aquífero Cristalino no Cariri Paraibano. / Francisco de Assis da Silveira Gonzaga. - Campina Grande, 2011.

80 f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Prof^o. Dr^o. Carlos de Oliveira Galvão e Prof^a. Dr^a. Iana Alexandra Alves Rufino.

1. Aquífero Fissural.
2. Teste de Bombeamento.
3. Vazão de Exploração. I. Título.

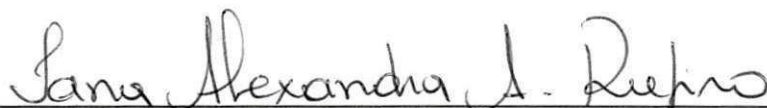
CDU – 556.32'33 (043)

FRANCISCO DE ASSIS DA SILVEIRA GONZAGA

**UMA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE
EXPLOTAÇÃO EM POÇOS DO SISTEMA AQUÍFERO CRISTALINO
NO CARIRI OCIDENTAL PARAIBANO.**

Dissertação aprovada em...

COMISSÃO EXAMINADORA:



Dra. Iana Alexandra Alves Rufino (Orientadora)
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. Dayse Luna Barbosa (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. Marx Prestes Barbosa (Examinador Externo)
Universidade Federal de Campina Grande

Aos meus pais, Mariazinha e Paulo Gonzaga (in
memoriam), a minha esposa Clediana e aos meus filhos
Bruno, Glauco e Marília.

“ A mente que se abre a uma nova ideia,
Jamais volta ao seu tamanho original”.
Albert Einstein.

AGRADECIMENTOS

A execução deste trabalho tornou-se possível graças à colaboração de várias pessoas e entidades, às quais o autor manifesta sua mais profunda gratidão.

À Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, pelo apoio fornecido durante a realização de todas as etapas desse Curso.

À Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba - CDRM, pela liberação de seus arquivos de poços, que constituíram a base para a elaboração deste trabalho.

Ao Professor Dr. Carlos de Oliveira Galvão, pela orientação e ensinamentos constantes e pela confiança na elaboração da dissertação, bem como a paciência de aguardá-la até a fase final.

Ao Professor. Janiro C. Rego, pela sua valiosa colaboração, pois sem a qual este trabalho não teria obtido êxito.

A Professora Dr.(a). Iana Alexandra Alves Rufino, pela sua sensibilidade de transmitir ensinamentos durante as fases do curso.

A todos os professores, pela dedicação e capacidade de transmitir os seus conhecimentos com paciência, com destaque para Márcia Maria Ribeiro Rios, Rosires Catão Curi, Srirangachar Srinivasan e Marx Prestes Barbosa.

A Janato Lacerda Diniz, pela sua paciência e dedicação por selecionar mais de 1000 fichas de poços tubulares.

Aos colegas de turma, por todo o momento de descontração e troca de experiências, da união entre nós. Registro atenção especial a Ronaldo, Ruy, Priscila, Rony, Zacarias, José Guimarães, Allan e Isaias.

Aos alunos do PIBIC, que sempre estavam auxiliando no que fora preciso dentro das suas limitações; com atenção para Douglas Almeida, Ubirajara, Samilly, Renata e Marília

Aos funcionários da UFCG, em especial aos mais próximos como Raulino, Valdomiro, Alrezinha, Josete, Vera, Ismael e Haroldo que sempre colaboraram, quando foi necessário realizar alguma atividade pedagógica.

RESUMO

A região semi-árida do Nordeste do Brasil apresenta sérios problemas de distribuição dos recursos hídricos em face a uma pluviometria espaçada geograficamente, aliada à sua concentração de 3 a 5 meses do ano, além de flutuações acentuadas em relação às médias anuais, o que provoca o flagelo das secas. No presente trabalho, foi feito um estudo estatístico sobre os dados dos parâmetros hidrodinâmicos dos poços tubulares que estão inseridos na microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. O objetivo da pesquisa foi de determinar a vazão de exploração, utilizando dados hidrodinâmicos dos poços tubulares em testes de produção executados pela CDRM. Para esse procedimento, foi usada uma metodologia, partindo da determinação da vazão extrapolada, obedecendo rigorosamente a um período de quatro dias, por meio do gráfico de vazão específica versus tempo. Daí em diante, determinou-se a vazão extrapolada ajustada, o desvio negativo médio e a reta de exploração. Os resultados obtidos que, mostraram que, para certos intervalos de percentual de recuperação, a determinação da vazão de exploração não apresenta consistência, isto é, para qualquer valor do teste de produção, pode-se obter o mesmo valor da vazão de exploração em qualquer dos intervalos. Com o refinamento dos dados, analisando outros intervalos de percentual de recuperação, chegou-se à determinação da vazão de exploração, utilizando apenas três retas, em que, os dois primeiros intervalos condensaram-se em um só, originando uma faixa.

Palavras chave: aquífero fissural; teste de bombeamento; vazão de exploração.

ABSTRACT

The semi-arid Northeast of Brazil presents serious problems of water allocation in the face of a geographically spaced rainfall, combined with its concentration of 3 to 5 months of the year, and sharp fluctuations in relation to annual averages, which causes the scourge of drought. In this study, a statistical analysis was done on the data of hydrodynamic parameters of wells that are inserted into the micro-region of West Cariri Paraiba. The aim was to determine the flow rate of exploitation, using hydrodynamic data of wells in production tests performed by the CDRM. For this procedure, a methodology was used, based on the determination of the extrapolated flow, strictly obeying a period of four days, through the specific flow chart versus time. Thereafter, we determined the extrapolated flow adjusted, the average negative deviation and the line of exploitation. The results that showed that for certain ranges of percentage recovery, determining the flow rate of exploitation does not show consistency, that is, for any value of the production test, you can get the same value as the flow rate of exploitation in any intervals. With the refinement of data, analyzing other ranges of percentage of recovery, it was possible to determine the flow rate of exploitation, using only three lines, where the first two intervals condensed into one, creating a band.

Keywords: fractured aquifer, pumping test, flow rate of exploitation

LISTAS DAS FIGURAS

Figura 3.1	Representação esquemática do ciclo hidrológico	6
Figura 3.2	Tipos de aquífero segundo sua textura	7
Figura 3.3	Afloramento de rocha ígnea, mostrando densidade de fraturas ortogonais	8
Figura 3.4	Bloco diagrama exibindo os elementos que influenciam nas características hidrodinâmicas de um aquífero fissural	9
Figura 3.5	Superfície potenciométrica virtual em aquífero fraturado	11
Figura 3.6	Estruturas que controlam a ocorrência de água subterrânea em rochas cristalinas	12
Figura 3.7	O conceito de riacho fenda	13
Figura 3.8	Arcabouço tectônico da província Borborema.	15
Figura 3.9	Compressor acoplado com motor a diesel, ao seu lado, tubos de PVC de quarenta e vinte milímetros e a frente abaixo da descarga do motor encontram-se as mangueiras de vinte milímetros.	17
Figura 3.10	Injetor acoplado com os tubos de quarenta e vinte milímetros	18
Figura 3.11	Tabela de teste de produção e da recuperação residual	20
Figura 3.12	Representação dos equipamentos usados em teste de produção	25
Figura 3.13	Tabela de teste de produção e de análise físico-química da água	28
Figura 3.14	Curva de vazão específica versus tempo. Sítio	30
Figura 4.1	Mapa de localização da área de estudo	33
Figura 4.2	Mapa geológico da área de estudo	37
Figura 5.1	Ficha do poço com parâmetros hidrodinâmicos e análise físico-química	42
Figura 5.2	Formulário preenchido com os parâmetros hidrodinâmicos de um poço tubular	45
Figura 5.3	Curva de vazão específica versus tempo. Sítio Caluête	46
Figura 5.4	Curva de vazão específica versus tempo. Sítio Roçado do Mato	47
Figura 5.5	Inserção dos poços georreferenciados na área de estudo	48
Figura 5.6	Relação da vazão de teste com a vazão extrapoladas para o intervalo de recuperação 0,0% a 64%	50
Figura 6.1	Histograma de frequência absoluta dos 162 poços	54

Figura 6.2	Relação das vazões extrapoladas com as vazões de exploração para os intervalos 0,0% a 50%;51 % a 79%; 80 % a 93 % e 94% a 100 %.	61
Figura 6.3	Relação das vazões teste com as vazões de exploração para os intervalos 0,0% a 50%, 51% a 79%; 80% a 93% e 94% a 100%.	63
Figura 6.4	Retas de dispersão para cada intervalo das vazões extrapoladas versus vazões de exploração	64
Figura 6.5	Curvas polimomial desorganizadas para as vazões extrapoladas versus vazões de exploração dentro de cada intervalo pré-determinado	65
Figura 6.6	Curvas exponenciais desorganizadas para as vazões extrapoladas versus vazões de exploração dentro de cada intervalo pré-determinado.	66
Figura 6.7	Relação das vazões de teste com as vazões de extrapoladas	68
Figura 6.8	Relação das vazões de teste com as vazões de exploração para os intervalos 0,0% a 50%, 51% a 80%; 81% a 95% e 96% a 100%.	71
Figura 6.9	A reta que representa o intervalo 96% a 100% é consistente com a vazão de exploração obtida.	72
Figura 6.10	Relação das vazões de teste com as vazões de exploração para os intervalos 0,0% a 64%; 65% a 84%; 85% a 94% e 95% a 100%	74
Figura 6.11	Representação das retas que correspondem a cada intervalo de percentual de recuperação	75
Figura 6.12	Representação das retas com apenas três intervalos de percentual de recuperação	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1	Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em laboratório a partir de rochas cristalinas	9
Quadro 5.1	Relações dos intervalos do percentual de recuperação com as respectivas equações da reta	50
Quadro 6.1	Distribuição de frequências do percentual de recuperação	53
Quadro 6.2	Relações das equações da reta com os respectivos intervalos e o desvio negativo médio	69
Quadro 6.3	Novos intervalos com os respectivos desvios negativos médios e os números de poços.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1	Percentual da recuperação para o intervalo 0,0% a 50%.	55
Tabela 6.2	Percentual da recuperação para o intervalo 51 % a 79%.	56
Tabela 6.3	Percentual da recuperação para o intervalo 80 % a 93%.	57
Tabela 6.4	Percentual da recuperação para o intervalo 94 % a 100%.	59

SUMÁRIO

	DEDICATÓRIA	
	AGRADECIMENTOS	
	RESUMO	
	ABSTRACT	
	LISTA DAS FIGURAS	
	LISTAS DE QUADROS E TABELAS	
1.0	INTRODUÇÃO	1
2.0	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo Geral	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3.0	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	Histórico sobre a Hidrogeologia no Brasil	4
3.2	O Ciclo Hidrológico	5
X 3.3	Hidrogeologia dos Aquíferos Fissurais	6
3.4	A Tectônica Regional	15
3.5	Teste de Produção em Poços no Cristalino	16
3.5.1	Poços no cristalino	16
3.5.2	Teste de produção	17
3.5.3	Os testes de bombeamento com vazão contínua e escalonada	21
3.5.4	A metodologia utilizada pela Companhia de Saneamento de Sergipe	22
3.5.5	A metodologia usada por Feitosa e Costa Filho	23
3.5.6	Metodologia empregada pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba	26
3.5.6.1	Determinação da vazão de exploração	29
3.5.6.2	Alteração da vazão de exploração considerando o teste de recuperação	31
4.0	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	32
4.1	Localização e vias de acesso	32
4.2	Geomorfologia	32
4.3	Clima	34
4.4	Vegetação	34

4.5	Solos	35
4.6	Geologia da área	36
4.6.1	Arqueano/Paleoproterozóico	36
4.6.2	Paleoproterozóico	36
4.6.3	Paleo/Mesoproterozóico	38
4.6.4	Mesoproterozóico	38
4.6.5	Neoproterozóico	39
4.6.6	Paleógeno/Neógeno	40
5.0	O MÉTODO DESENVOLVIDO	41
5.1	Desenvolvimento do Método Proposto	41
5.2	Conceitos e Definições do Método	44
5.2.1	O Teste de produção	44
5.2.2	A vazão extrapolada	47
5.2.3	O percentual da recuperação	48
5.2.4	A vazão extrapolada ajustada	50
5.2.5	O desvio negativo médio	51
5.2.6	A reta de exploração	51
6.0	ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	53
6.1	A Distribuição de Frequência do Percentual de Recuperação	53
6.2	Análise da Vazão de Exploração das Fichas de Poços (método CDRM)	54
6.3	Determinação da Reta da Vazão de Exploração	66
7.0	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	78
8.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	ANEXOS	

1.0 - INTRODUÇÃO

O Nordeste é a região do Brasil que apresenta uma divisão político-administrativa muito grande com nove estados, e uma maior diversidade em seu quadro natural, com distorções inter-regionais e intersetoriais apreciáveis, (Oliveira 1997). O polígono das secas é uma das grandes regiões naturais do Brasil e compreende partes consideráveis dos seguintes estados do Nordeste: Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, abrange ainda o norte do estado de Minas Gerais, uma vez que essa região apresenta condições climáticas semelhantes. Sua área tem de, cerca, 858.000 km², e está contida aproximadamente entre as coordenadas geográficas de 1° a 18° de latitude Sul e 34°30' a 49° de longitude Oeste.

A situação de escassez de recursos hídricos no polígono das secas tem levado à exploração dos poucos recursos de água do seu subsolo, de natureza predominantemente cristalina. Para explorar as águas subterrâneas é necessário que o prospectador tenha um conhecimento apurado sobre seu armazenamento e circulação, principalmente quando se trata do sistema aquífero fissural. As zonas de falhas e/ou fraturas são os principais alvos para locação de poços para água neste tipo de terreno, pois, as rochas cristalinas são caracterizadas pela reduzida ou inexistente porosidade intergranular (porosidade primária). Neste caso, a circulação e o armazenamento de água subterrânea irão depender da existência de superfícies e/ou planos de descontinuidades (porosidade secundária), relacionadas às zonas fraturadas. Logo, a determinação precisa de estruturas favoráveis é uma tarefa complexa. No Nordeste do Brasil e em outros terrenos cristalinos similares, os métodos utilizados para locação de poços para água são baseados, essencialmente, no exame de fotografias aéreas e na geologia de superfície, com ênfase para os litotipos aflorantes.

Sabe-se que os aquíferos fissurais são heterogêneos e anisotrópicos, portanto, bastante complexos quando se pretende determinar a vazão de exploração. A metodologia usada em várias empresas de perfuração, tanto privada como públicas do Nordeste, especialmente as dos estados da Paraíba, Pernambuco e Sergipe, utiliza o método conhecido como da vazão específica extrapolada para se obter a vazão de exploração. O método tem por base a observação das vazões, bem como do rebaixamento e do nível estático durante e após um teste de bombeamento, com

procedimentos específicos. Este método, todavia, é muito subjetivo, vez que entre outras discrepâncias, a extrapolação dos tempos de bombeamento nele previsto para quatro dias em média, como é habitual na Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba- CDRM pode variar de um poço para outro assumindo períodos maiores ou menores de dias, conforme decisão tomada durante o processamento e ainda não levar em conta a observância dos dados do teste.

No presente trabalho, foram selecionados 148 poços e respectivos testes de bombeamento realizados pela CDRM, na região do Cariri Ocidental da Paraíba. Através da análise dos parâmetros hidrodinâmicos de teste (níveis estático e dinâmico, rebaixamento e recuperação, etc.) e da introdução e emprego do conceito de rebaixamento residual, foi possível desenvolver um método simples e eficiente para a obtenção das vazões de explorações, cujos procedimentos estão livres de decisões puramente subjetivas, assegurando maior confiabilidade nos resultados.

Os objetivos desta pesquisa são apresentados resumidamente no capítulo que se segue e as etapas do seu desenvolvimento serão detalhadas nos demais capítulos.

Para tanto, se faz necessário determinar as vazões de exploração, usando um método simples, rápido e eficiente. Na região estudada, determinaram-se as vazões de exploração através de teste de produção, usando os parâmetros hidrodinâmicos, tais como o nível estático e dinâmico, o rebaixamento e a capacidade específica ocorridos durante o teste de bombeamento, e o rebaixamento residual da recuperação. Desse modo, avaliou-se ao final, 148 poços tubulares, culminando com a determinação da vazão de exploração com maior segurança e menor erro possível de tais determinações.

2.0 – OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

Determinar a vazão de exploração de poços tubulares, usando os parâmetros hidrodinâmicos, através de teste de produção em aquíferos fissurais na região do Cariri Ocidental do estado da Paraíba.

2.2 – Objetivos Específicos

- Caracterizar a área definida para estudo, ou seja, parte da região do cariri ocidental da Paraíba;
- Analisar, estatisticamente, os parâmetros hidrodinâmicos (nível, estático, nível dinâmico, rebaixamento do teste de produção, capacidade específica e rebaixamento residual da recuperação), utilizando o coeficiente de correlação linear principalmente;
- Desenvolver uma metodologia para determinação da vazão de exploração dos poços tubulares da área de estudo.

3.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Histórico sobre a Hidrogeologia no Brasil

Durante a primeira metade do século passado, as ações desenvolvidas, em termos de hidrologia de águas subterrâneas, concentraram-se na região do Nordeste do Brasil e ficaram praticamente restritas à perfuração e instalação de poços.

Os recursos, oriundos do governo federal, eram repassados para a Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas e em seguida para o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, objetivando a execução das obras hidráulicas subterrâneas, especificamente, no tocante à prospecção de águas subterrâneas e conseqüentemente à perfuração de poços.

Segundo Feitosa (2008), as primeiras pesquisas sobre águas subterrâneas realizadas por geólogos e engenheiros não especializados para a região Nordeste, foram de (WARMING 1913 e SMALL 1914).

Com a criação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), a partir de 1960, iniciou um ciclo de missões de cooperação técnica internacional, para estudo dos recursos naturais da região e formação de recursos humanos, objetivando o desenvolvimento da hidrogeologia brasileira. Dessa maneira, os trabalhos de perfuração de poços passaram a ser conduzidos por técnicos especializados e deram lugar a muitos estudos de caráter exploratório e de semidetalhe. A execução de testes de produção de poços passou a ser conduzida obedecendo a uma metodologia universal. No período de vinte e cinco anos, inúmeros programas de perfuração de poços foram realizados, resultando na construção de milhares de unidades, beneficiando várias comunidades do Nordeste Brasileiro. Esses trabalhos foram realizados, principalmente pela (Sudene), através da Companhia Nordestina de Sondagens e Perfurações (CONESP), e pelos governos estaduais, através das suas respectivas companhias de perfuração de poços, especialmente a Companhia de Engenharia Rural da Bahia; Companhia Integrada de Serviços Agropecuários, em Pernambuco; Secretaria de Obras do Estado do Ceará, hoje Superintendência de Obras Hidráulicas; Casol – Companhia de Águas e Solos, depois Companhia de Desenvolvimento Mineral do Rio Grande do Norte, hoje extinta e a Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba - CDRM.

Um dos trabalhos que se tornou base no que se refere à hidrologia subterrânea foi o Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, na escala 1:500.000, previsto para

cobrir toda a área da jurisdição da Sudene (ALBUQUERQUE 1971). Este trabalho, pioneiro no país e na América Latina, descreve de maneira sistemática os aquíferos da região, avaliando as suas potencialidades e disponibilidades hídricas em termos de quantidade e qualidade para diversos usos (FEITOSA, 2008).

Com o encerramento das atividades concernente à hidrogeologia pela Sudene, houve uma interrupção no desenvolvimento dos projetos e construções de poços, restringindo essa atividade às empresas de perfurações de poços dos estados Nordesteiros.

3.2 - O Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é o conceito central da Hidrologia. Quase toda a água subterrânea, existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e daí para os continentes, Figura 3.1.

A energia proveniente do sol resulta no aquecimento do ar, do solo e da água superficial, na evaporação da água e no movimento das massas de ar. O vapor de água é conduzido pelo ar e pode condensar no ar, desenvolvendo nuvens. Em circunstâncias específicas, o vapor do ar condensado nas nuvens pode voltar à superfície da Terra na forma de precipitação (chuva, neve ou granizo). A evaporação dos oceanos é a maior fonte de vapor para a atmosfera e para a posterior precipitação, mas a evaporação de água dos solos, dos rios e lagos e a evapotranspiração também contribuem. A precipitação que atinge a superfície pode infiltrar no solo ou escoar sobre o solo até atingir um curso d'água. A água que infiltra umedece o solo, alimenta os aquíferos e cria o fluxo de água subterrânea (FEITOSA, 2008).

O ciclo hidrológico é fechado, se considerado em escala global. Em escala regional, podem existir alguns sub-ciclos. Por exemplo, a água precipitada que está escoando em um rio, pode evaporar, condensar e novamente precipitar antes de retornar ao oceano.

A água também sofre alterações de qualidade, ao longo das diferentes fases do ciclo hidrológico. A água salgada do mar é transformada em água doce pelo processo de evaporação. A água doce que infiltra no terreno, dissolve os sais encontrados, no solo, regolito ou na própria rocha e escoar pelos rios, carregando estes sais para os oceanos, bem como um grande número de outras substâncias dissolvidas e em suspensão.

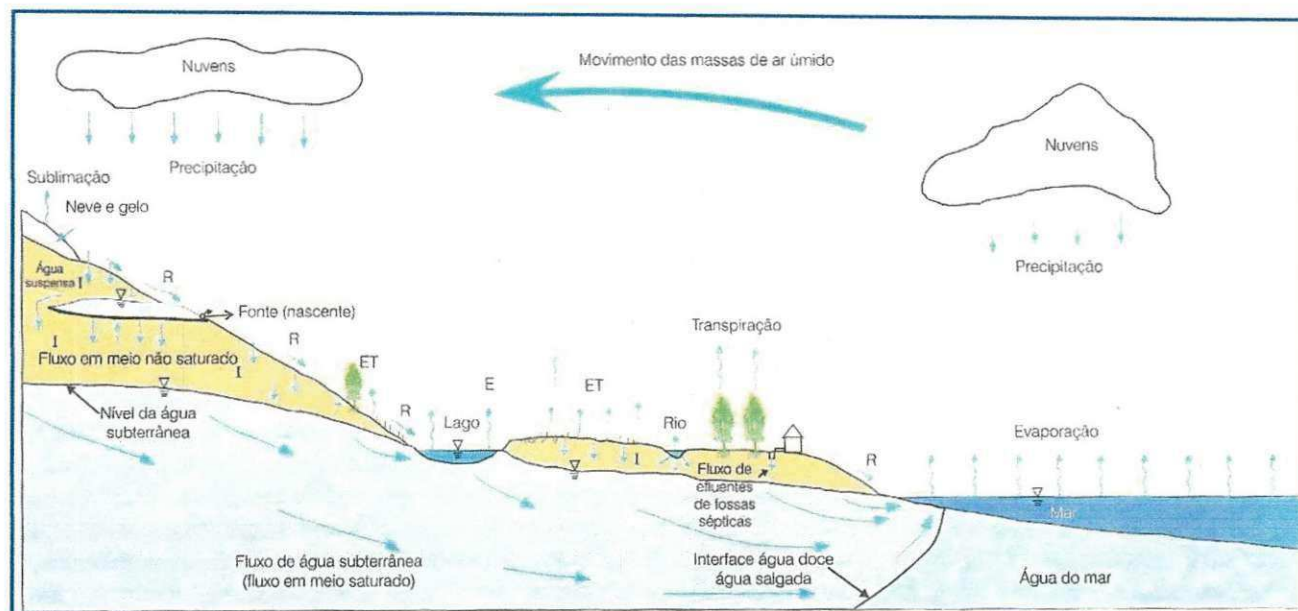


Figura 3.1 – Representação esquemática do ciclo hidrológico. (modificado de BEAR & VERRUIJT, 1987, apud Feitosa, 2008)

3.3 - Hidrogeologia dos Aquíferos Fissurais

Vallejo *et. al.*, (2002) postula que as formações geológicas permeáveis, susceptíveis de armazenar e transmitir água são denominados de aquíferos, que podem ser classificados em três tipos principais Figura 3.2:

- Aquíferos Porosos – São formações geológicas, constituídas por rochas sedimentares clásticas, consolidadas ou não, sendo que a água fica retida nos espaços intergranulares (poros);
- Aquíferos Cársticos – Correspondem às rochas sedimentares e metamórficas carbonáticas, onde a atuação dos processos de dissolução gera feições propícias ao armazenamento de grandes quantidades de água (cavernas, dolinas...). Esses processos podem ter origem por meio de pequenas fissuras, que evoluindo com a dissolução poderá formar cavernas exíguas ou bastante grandes á dependendo do tempo em que a água estiver em contato com a rocha;
- Aquíferos Fissurais – É típico de rochas cristalinas (rochas magmáticas e metamórficas) onde a água se localiza em meio às discontinuidades pertinentes (fraturas, juntas, falhas, vesículas, aberturas de dissolução e foliação).

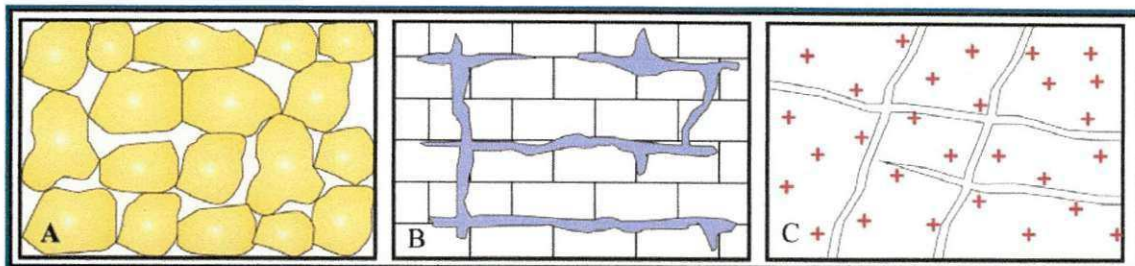


Figura 3.2 – Tipos de aquífero segundo sua textura. A) Aquífero poroso (Arenito); B) Aquífero cárstico (Calcário); C) Aquífero fissural (Granito). (PINÉO, 2005).

Os litotipos geológicos que caracterizam os aquíferos possuem parâmetros hidrodinâmicos, além de outras características hidrogeológicas, que são importantes para a sua classificação em termos de potencial hidrogeológico. Dentre estas características podem destacar:

- Porosidade – Razão entre o volume de espaços vazios e o volume total de uma rocha, podendo ser primária, quando associada aos poros originais de rochas (sedimentares), ou secundária, referente a fissuras e cavidades desenvolvidas após a formação de uma litologia (ígneas, metamórficas ou cárticas);

- Condutividade Hidráulica – É a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. Refere-se à facilidade de um aquífero exercer a função de um condutor hidráulico;

- Transmissividade – Corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. Sendo dada pela expressão:

$$T = Kb$$

$$\text{Eq. 3.1}$$

Sendo:

- T - Transmissividade;
- K - Condutividade hidráulica;
- b - Espessura do aquífero.

- Anisotropia – Ocorre quando a condutividade hidráulica de um aquífero é diferente para cada uma das direções dos eixos coordenados;

- Heterogeneidade – Quando um aquífero é formado por materiais de condutividade hidráulica diferentes.

Várias pesquisas científicas relacionadas aos recursos hídricos subterrâneos, somados ao desenvolvimento de equipamentos diversos como eletroresistivímetro, por exemplo, e *softwares* específicos têm ampliado, substancialmente, o conhecimento em hidrogeologia. Atualmente, como resultado destes estudos, é possível definir áreas propícias à captação de água subterrânea, através do conhecimento da geologia estrutural, com um menor porcentual de erro em termos de produtividade, definir parâmetros hidrodinâmicos de um aquífero em estudo, desenvolver o modelo hidrogeológico característico de um aquífero (PINÉO 2005).

Os aquíferos fissurais caracterizam-se por ser um meio hidráulicamente descontínuo, heterogêneo e anisotrópico Figura 3.3. Desta forma, não apresentam parâmetros hidrodinâmicos constantes, pois a porosidade é meramente função das fissuras, que não se distribuem homogêneoamente por todo sistema aquífero, a condutividade hidráulica dependerá do fraturamento e a transmissividade não se aplica ao caso, uma vez que a condutividade hidráulica não pode ser extrapolada para uma determinada espessura do aquífero onde predominam zonas não fraturadas (COSTA e BRAZ DA SILVA, 1997).



Figura 3.3 – Afloramento de rocha ígnea mostrando, densidade de fraturas ortogonais.

Dados oriundos de ensaios em laboratório e referentes à condutividade hidráulica e porosidade, de rochas ígneas e metamórficas, estão exibidos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em laboratório a partir de rochas cristalinas.

	Rochas Ígneas	Rochas Metamórficas
Porosidade	0,05% - 4%	0,2% - 0,5%
Condutividade Hidráulica	10^{-10} - 10^{-12} m/s	

Fonte: (Costa e Braz da Silva, 1997).

Segundo Costa e Braz da Silva (1997), os fatores que influem nas características hidrodinâmicas do aquífero fissural são Figura 3.4:

- Amplitude das fissuras (L);
- Abertura das fissuras (a);
- Forma e rugosidade das paredes das fissuras (R);
- Frequência ou espalhamento das fissuras;
- Número de famílias ou sistemas de fissuras (n);
- Orientação e posição das fissuras;
- Porosidade e permeabilidade da matriz rochosa;
- Propriedade do material que preenche as fissuras;
- Distribuição da amplitude da fissura no sistema, que determina a heterogeneidade e anisotropia.

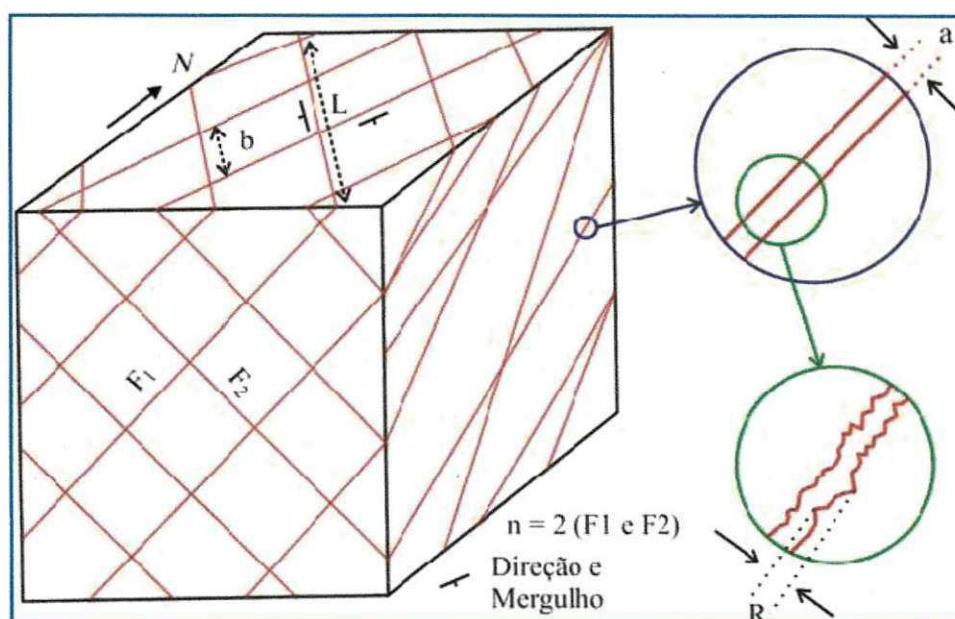


Figura 3.4 – Bloco diagrama, exibindo os elementos que influem nas características hidrodinâmicas de um aquífero fissural. (COSTA E BRAZ DA SILVA 1997).

Porém, se faz necessário acrescentar outros fatores àqueles relacionados por (COSTA E BRAZ DA SILVA 1997):

- Tipos de material que preenchem as fraturas;
- Percentuais desses materiais que estão preenchendo as fraturas.

Com relação aos materiais que constituem o preenchimento das fraturas, o que se pode observar é a grande variabilidade dos constituintes minerais principalmente, pois, na região de estudo, verifica-se tanto a presença de areias grossas, médias e finas, como argilas e até mesmo cascalhos. Desta maneira, preconiza-se que, a depender dos constituintes mineralógicos, que estão dentro das fraturas, estas terão uma maior ou menor condutividade hidráulica.

Do ponto de vista da ocorrência da água subterrânea nas formações geológicas, o termo aquífero está consagrado como designação para um reservatório subterrâneo capaz de "armazenar" e "transmitir" água, independente das suas dimensões, porosidade e/ou continuidade. Porém, Gustafson e Krásny (1994) questionam a aplicação ou extensão do termo aquífero, no caso dos reservatórios de água subterrânea existente como, por exemplo, nas rochas cristalinas ígneas e metamórficas fraturadas e em ambientes cársticos, para os quais consideram ser mais apropriada a denominação condutor hidráulico.

Com relação à hidráulica de poços, pode-se admitir a existência de, pelo menos três tipos de reservatórios subterrâneos:

Primário - com porosidade primária, devido aos interstícios intergranulares criados durante o processo que originou a própria rocha e no qual é sempre possível admitir, na matriz, que forma o esqueleto sólido da rocha, uma velocidade macroscópica média representativa de um meio poroso contínuo.

Secundário - com porosidade exclusivamente secundária, produzida por fraturas ou por processos de dissolução em rochas com porosidade primária desprezível. Neste caso, o meio poroso (criado depois da origem da rocha) é marcado por forte descontinuidade hidráulica e nele não se pode definir uma velocidade macroscópica média, representativa de um meio fraturado contínuo.

Misto - com dupla porosidade, ou seja, com porosidade primária e secundária, constituindo dois meios contínuos superpostos, em cada um dos quais é possível definir uma velocidade média macroscópica. Neste caso, estudam-se dois sistemas de fluxos fictícios, um no domínio dos poros e outro no domínio das fraturas.

Nos reservatórios subterrâneos com porosidade secundária de fraturas, como é o caso das rochas ígneas e metamórficas, ou com porosidade secundária de dissolução, como acontece nas zonas cársticas, o meio poroso assume um comportamento errático. Assim sendo, a aplicação do termo aquífero é aqui considerada imprópria na análise de fluxo para poços perfurados em reservatórios subterrâneos cujas propriedades hidráulicas primárias se afigurem como desprezíveis em relação às secundárias, (MANOEL FILHO 1996).

No caso das rochas cristalinas fraturadas, a capacidade de armazenar e transmitir a água está ligada às estruturas secundárias de quebraimento da rocha e não à própria rocha. As propriedades hidrogeológicas dessas estruturas, no tocante a dimensões e limites, são consideradas imprevisíveis e, no que se refere aos parâmetros hidráulicos, se caracterizam por notável variabilidade de um ponto para outro dentro de uma mesma unidade litológica. A condutividade hidráulica, por exemplo, determinada através de testes clássicos de permeabilidade, pode apresentar ou não diferenças de várias ordens de magnitude entre pontos situados a distâncias relativamente pequenas.

Não obstante, os aquíferos fraturados especialmente em rochas cristalinas, sejam heterogêneos e anisotrópicos por natureza, Custódio e Llamas (1976) consideram possível indicar o sentido geral de movimento da água subterrânea, dentro do sistema aquífero, conforme Figura 3.5.

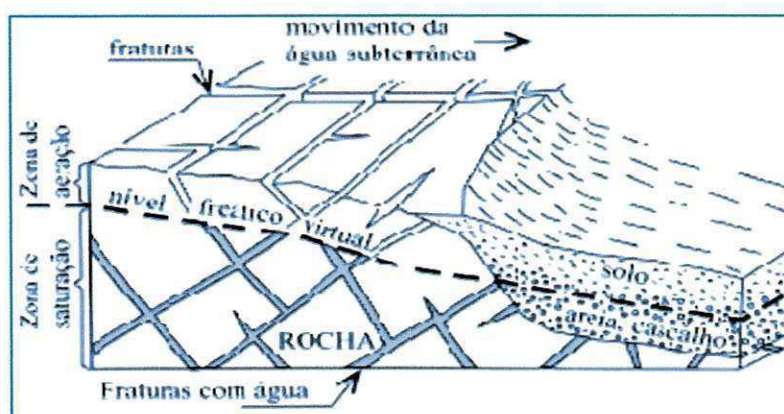


Figura 3.5 – Superfície potenciométrica virtual em um aquífero fraturado. (CUSTÓDIO E LLAMAS 1976).

A abordagem hidrogeológica, usada em rochas cristalinas no Brasil e em outros países refere-se ao termo clássico adotado por (CORIOLANO 2002). Existe um consenso entre os hidrogeólogos sobre a importância das estruturas frágeis na criação de

espaços nas rochas, permitindo a circulação e a acumulação de reservas de água no cristalino.

As fraturas impressas nas rochas, provenientes de tectonismo são estruturas que, de um modo geral, são consideradas como “abertas”, na trama de uma rocha cristalina. Entretanto é factível salientar que existem fraturas que se apresentam “regeladas”, não apresentando condições de armazenamento das águas subterrâneas. De acordo com Coriolano (2002), o termo *fraturas* engloba juntas que são descontinuidades ao longo das quais o movimento relativo entre os blocos é muito pequeno na escala considerada e falhas ou zonas de falhas, cujas dimensões (comprimento) de interesse no caso, variam de alguns metros a dezenas de quilômetros Figura 3.6.

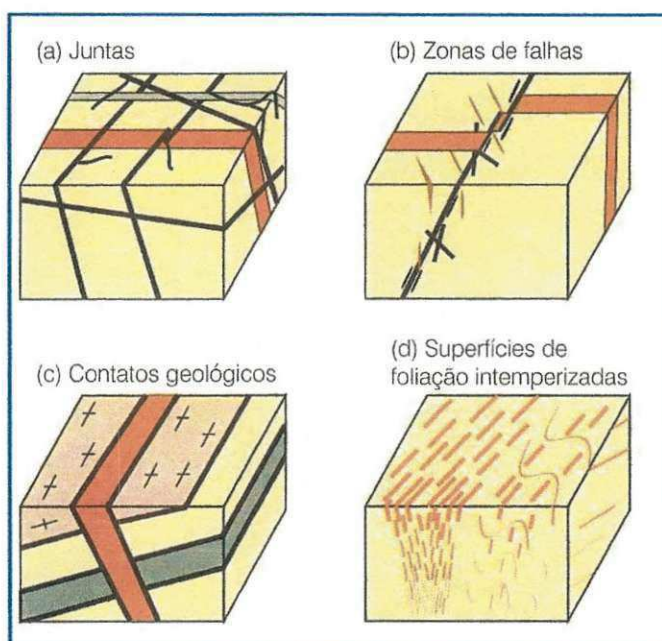


Figura 3.6 – Estruturas que controlam a ocorrência de água subterrânea em rochas cristalinas.

(a) Juntas; (b) Falhas e zonas de falhas; (c) Contatos geológicos; (d) Superfícies de foliação

(JARDIM DE SÁ et. al., 2008).

É importante ressaltar que, quando ocorre uma boa conectividade entre essas estruturas fendilhadas, a probabilidade de se obter água subterrânea em maciços cristalinos é aumentada consideravelmente.

Outros dois tipos de estruturas devem ser considerados, pela possibilidade de proverem espaços abertos nas rochas cristalinas e, conseqüentemente, o armazenamento de águas subterrâneas. É o caso dos contatos entre litologias distintas, mecanicamente contrastantes, com competências litológicas diferentes, a exemplo das paredes de diques e filões, zonas que já são consideradas como favoráveis na prática atual de locação.

Em função de sua dimensão, o reconhecimento de fraturas e outras estruturas podem envolver a análise de imagens de satélites e fotografias aéreas convencionais, e/ou o estudo de afloramentos. A fotointerpretação é direcionada à localização de estruturas favoráveis, tais como fraturas e falhas, além da observação do manto de intemperismo (espessura) e a rede de drenagem que envolve a área que se está prospectando Figura 3.7. O conceito é amplamente utilizado em regiões semi-áridas, condicionando, até mesmo, o processo de fotointerpretação (fraturas são identificadas pelos trechos retilíneos e “cotovelos” ao longo da drenagem). De acordo com Gonzaga (2006), realizando estudo de imagem de satélite, aerofotogrametria e de afloramentos rochosos, objetivando a detecção de zonas favoráveis para perfuração de poços tubulares no município de Parari, microrregião do Cariri Paraibano, o mesmo identificou vários feixes de fraturas. Esses feixes se apresentam em vários locais individualizados, porém verifica-se a ocorrência de feixes que se cruzam formando “cotovelos” nesses cruzamentos, sendo esses locais também favoráveis à captação de águas subterrâneas.

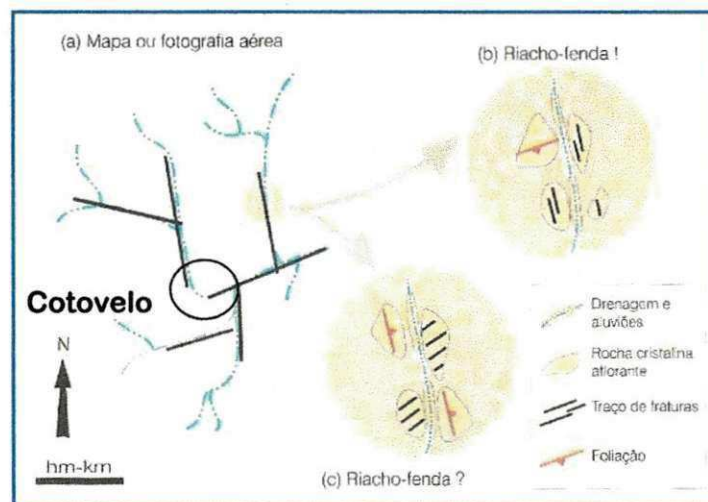


Figura 3.7 – O conceito de *riacho-fenda*. (a) As fraturas são inferidas a partir de trechos retilíneos e cotovelos da drenagem. (b) Direções de fraturamentos concordando com o riacho fenda. (c) Direções de fraturamentos discordando com o riacho fenda. (JARDIM DE SÁ et. al., 2008).

É necessário verificar, em campo, a ocorrência de fraturamento em afloramentos adjacentes aos riachos fendas.

Nas regiões de rochas cristalinas do Nordeste Brasileiro, as perfurações de poços tubulares, são orientadas para se perfurar poços até 50 metros de profundidade havendo, entretanto, algumas poucas exceções. Na África, Bouguet *et al.*, (1981) e Wright e

Burgess (1992) postulam que a profundidade máxima para a ocorrência de fraturas abertas, com água, não ultrapassa a faixa de 60 a 100 m (segundo diferentes avaliações). Para Coriolano (2002), a abordagem clássica demanda uma análise crítica face à evolução tectônica regional, incluindo a cronologia e as condições crustais da deformação, impressas nas estruturas hoje aflorantes ou subaflorantes. Frequentemente, os critérios propostos para selecionar ou priorizar locações estão baseados em feições e estruturas relacionadas a uma etapa antiga e profunda da evolução crustal. No Nordeste brasileiro, a deformação principal do terreno ocorreu, pelo menos, no final do Precambriano quando as estruturas, hoje expostas, estavam sendo desenvolvidas numa faixa entre 8 a 15 km de profundidade. O acúmulo de águas subterrâneas é um processo geológico recente e superficial. Coriolano (2002) postula que esse nível seja entre 0,5 a 1,0 Km no interior da crosta. Quanto às estruturas frágeis, é necessário considerar a ocorrência de sucessivos eventos de deformação, desde o final do Precambriano até os tempos atuais. A rede de fraturas presente nos terrenos cristalinos tem, assim, uma cronologia complexa, pois os eventos se sobrepõem, sendo em sua maior parte herdada dos eventos antigos, que igualmente não possuem relação direta com o campo de tensões atual. Pelas suas implicações, é importante que o hidrogeólogo do cristalino conheça os principais aspectos da evolução tectônica da sua região de trabalho (CORIOLANO, 2002).

Os conceitos sobre a geologia estrutural e da evolução tectônica dos continentes têm como base orientar uma reformulação da metodologia, num esforço conjunto a ser desenvolvido com hidrogeólogos experientes, na pesquisa de água subterrânea em rochas cristalinas.

Dois aspectos são considerados básicos nesta linha de pensamento:

- O enorme progresso ocorrido na compreensão dos processos de deformação, ao longo das quatro últimas décadas, incluindo o contexto tectônico, os parâmetros decorrentes do nível crustal e as relações cronológicas entre diferentes estruturas, o que permite explicar, de modo adequado, situações sugeridas ou constatadas pela prática de locação;
- O papel de controle que deve ser exercido pelos sistemas de tensões neotectônicas, atuando em condições superficiais ou muito rasas na crosta, em consonância com o fato de que a migração e acumulação da água explotável é um processo superficial e geologicamente muito recente, em pleno curso.

Jardim de Sá et. al. (2008) enfatiza os métodos e conceitos simples, de aplicação direta e de baixo custo, tais como interpretação fotogeológica e estudo de afloramentos

localizados. Abordagens sofisticadas e de custo elevado tais como locações de poços através de geofísica terrestre e aérea teriam escassa utilidade para a pesquisa hidrogeológica em regiões semi-áridas e economicamente carentes, (JARDIM DE SÁ et. al., 2008).

3.4 - A Tectônica Regional

Neste tipo de terreno, a percolação e acumulação de água são controladas por fraturas e outras discontinuidades no maciço rochoso, o que requer dos hidrogeólogos uma base de conhecimentos em geologia estrutural, tarefa que foi desempenhada com sucesso, em nosso país, pelas sínteses de SIQUEIRA (1967), COSTA (1965) apud COSTA E BRAZ DA SILVA (1997).

Na Faixa Seridó, que abrange os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, (Figura 3.8) e em outros domínios adjacentes, o fraturamento tardi-brasiliano, predominantemente com forte mergulho, também é reconhecido pela sua relação geométrica (p.ex., as fraturas de distensão são ortogonais ou escalonadas, bissectando falhas e fraturas de cisalhamento) com lineações de estiramento e zonas miloníticas transcorrentes NE/NNE, (JARDIM DE SÁ 1994)

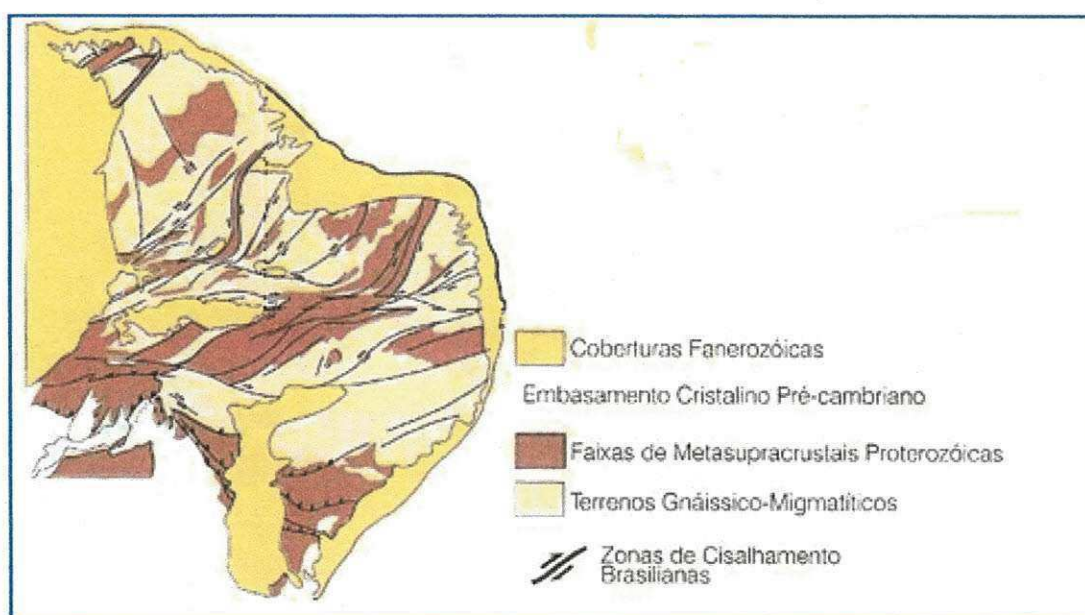


Figura 3.8 – (A) Arcabouço tectônico da Província Borborema e bacias fanerozóicas, Nordeste do Brasil. (Adaptado de JARDIM DE SÁ 1994).

A partir do Cretáceo inferior, o processo de separação continental e criação do Oceano Atlântico imprimiram outros conjuntos de fraturas, numa evolução complexa, polifásica Matos (2000), com feições que em geral refletiram níveis crustais mais rasos. Os eixos de rifteamento no interior e na margem do continente obedeceram inicialmente a uma direção de distensão NW, com eventos precoces que mostraram uma deflexão nessa direção (distensão N-S foi inferida a partir dos enxames de diques Rio Ceará-Mirim).

3.5 – Testes de Produção em Poços no Cristalino

3.5.1 Poços no cristalino

As locações de poços tubulares objetivando a captação de águas subterrâneas são realizadas obedecendo a critérios técnicos como a interpretação de fotografias aéreas em campo para identificar os lineamentos (riacho fenda) e a observação dos afloramentos rochosos para medir os fraturamentos e foliações existentes na rocha, pois com esse discernimento determina-se o exato local marcando-o com um piquete onde ocorrerá a perfuração do poço. Esses critérios são simplistas no tocante a prospecção de poços em aquíferos fissurais, porém essencial na locação de poços, pois os hidrogeólogos que pesquisam águas subterrâneas em aquíferos cristalinos os usam para determinar o local do poço.

Para a realização da perfuração do poço o sondador deve identificar através do croqui feito durante a locação do poço pelo o hidrogeólogo o local onde será executada a perfuração do mesmo. Daí então o sondador nivela a máquina para em seguida dá início a perfuração. A perfuração se inicia com um martelo de seis polegadas acoplado a um bit de oito polegadas, até ultrapassar o solo e o manto de intemperismo e adentrar a na rocha são em torno de um metro de profundidade. A partir desse momento realiza-se uma manobra retirando os equipamentos de perfuração e colocando o tubo de revestimento de seis polegadas para posteriormente cimentar o espaço anelar. Com a cimentação “curada”, troca-se o bit e prossegue a perfuração por dentro do revestimento até a profundidade de cinquenta metros, quando se espera interceptar as fraturas produtoras de águas subterrâneas.

3.5.2 - Teste de Produção

Após a perfuração o sondador anota em ficha específica a vazão de vertedouro e as fraturas produtoras e secas. Com esses dados o técnico inicia o teste de bombeamento medindo o nível estático e a profundidade do poço para ter ciência de que o poço não está obstruído.

Os materiais e equipamentos utilizados nos testes de produção estão relacionados a seguir:

- Veículos, tipo caminhoneta, com capacidade mínima de peso de uma tonelada;
- Compressor acionado por motor a diesel Yanmar de setenta e cinco cavalos de potência, ou similar, Figura 3.9.



Figura 3.9 - Compressor acoplado com motor a diesel, ao seu lado, tubos de PVC de quarenta e vinte milímetros.

-Injetor confeccionado com tubos de PVC de quarenta e vinte milímetros, de acordo com a Figura 3.10.



Figura 3.10 - Injetor acoplado com os tubos de quarenta e vinte milímetros

-Tubos de PVC com diâmetro de quarenta milímetros e na extremidade acoplado um injetor (descarga);

-Tubos de PVC com diâmetro de vinte milímetros conectado ao injetor (injeção de ar);

-Mangueira com diâmetro de vinte milímetros, onde uma extremidade é acoplada ao compressor e a outra no tubo de PVC de vinte milímetros;

-Tubos de PVC com diâmetro de meia polegada, cujo objetivo é permitir a passagem de um sensor (caneta), que detecta o nível da água dentro do poço;

-Cronômetro usado para medir o tempo, na determinação da vazão;

-Recipiente de vinte litros (o mais usual), usado para medir o volume de água, próximo ao tubo de descarga, para determinar a vazão;

-Escala de um metro, graduada de milímetro em milímetro para determinar o nível dinâmico e conseqüentemente o rebaixamento do poço;

-Medidor de nível elétrico e/ou sonoro, para acompanhar o rebaixamento do nível dinâmico;

-Materiais acessórios como abraçadeiras, chaves grife, chaves de boca, luvas nos diâmetros de quarenta e vinte milímetros, etc.

O teste de produção é iniciado efetivamente, quando no primeiro minuto mede-se o nível dinâmico (m) e a vazão (m^3/h). Daí em diante mede-se o nível dinâmico e a vazão até setecentos e vinte minutos, quando no minuto seguinte afere-se o nível dinâmico da recuperação. Com esses dados calcula-se posteriormente o rebaixamento, a vazão ou capacidade específica ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) e o rebaixamento residual da recuperação que Figura 3.11 está represento por (Sw) em metros.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO – ROCHAS CRISTALINAS

Poço Bombeado: Monte Alegre	Prof. (m): 60,0	Raio (m): 0,0508
Local: Monte Alegre (*)	Munic./UF: Santa Maria / CE (*)	Aquífero: Fissural
Executor: HidroGrupo S.A. (*)	Crivo Bomba (m): 55,0	FP (m): 31,0
Altura da Boca (m): 0,50	Q (m³/h): 2,4	Mét. Med. Vazão: Volumétrico
NE (m): 1,50	ND (m): 30,33	Tempo Bomb. (min): 720
Data de Início: 27/07/98	Data de Término: 27/07/98	Rebaix. Total (m): 26,02

HORA	REBAIXAMENTO				RECUPERAÇÃO			
	t (min)	ND (m)	Sw (m)	Q (m³/h)	t' (min)	ND (m)	Sw (m)	tb/t' + 1
7:01	1	5,80	1,30	4,0	1	29,43	24,93	721
7:02	2	6,42	1,92	4,0	2	28,70	24,20	361
7:03	3	7,12	2,62	4,0	3	27,10	22,60	241
7:04	4	7,98	3,48	3,9	4	26,29	21,79	181
7:05	5	8,51	4,01	3,9	5	25,46	20,96	145
7:06	6	9,12	4,62	3,9	6	24,70	20,20	121
7:08	8	10,01	5,51	3,9	8	23,81	19,31	91
7:10	10	10,95	6,45	3,9	10	22,59	18,09	73
7:12	12	11,70	7,20	3,8	12	21,67	17,17	61
7:15	15	12,39	7,89	3,8	15	20,59	16,09	49
7:20	20	13,14	8,64	3,8	20	19,43	14,93	37
7:25	25	14,01	9,51	3,7	25	18,56	14,06	29,8
7:30	30	14,93	10,43	3,7	30	17,79	13,29	25
7:40	40	15,69	11,19	3,7	40	16,99	12,49	19
7:50	50	16,44	11,94	3,6	50	16,05	11,55	15,4
8:00	60	17,22	12,72	3,6	60	15,30	10,00	13
8:10	70	18,12	13,62	3,5	70	14,75	10,25	11,3
8:20	80	19,01	14,51	3,5	80	14,10	9,60	10
8:40	100	19,99	15,49	3,4	100	13,63	9,13	8,2
9:00	120	20,75	16,25	3,3	120	13,01	8,51	7
9:30	150	21,93	17,43	3,3	150	12,71	8,21	5,8
10:00	180	23,40	18,90	3,2	180	12,11	7,61	5
11:00	240	24,45	19,95	3,1	240	11,69	7,19	4
12:00	300	25,40	20,90	3,0	300	11,21	6,71	3,4
13:00	360	26,90	22,40	2,9	360	10,82	6,32	3
14:00	420	27,80	23,30	2,8				
15:00	480	28,75	24,25	2,7				
16:00	540	29,64	25,14	2,5				
17:00	600	30,52	26,02	2,5				
18:00	660	30,52	26,02	2,4				
19:00	720	30,52	26,02	2,4				

OBSERVAÇÕES: (*) Dados hipotéticos

Figura 3.11 – Tabela de teste de produção e da recuperação residual, segundo FEITOSA E COSTA FILHO (1998)

Pode-se conceituar a vazão de exploração como sendo a vazão máxima estabelecida para a operação do poço sem causar perdas de carga excessivas superando a capacidade de recarga.

Para a obtenção das vazões de exploração plota-se, em papel mono-log os valores da vazão específica versus tempo, objetivando definir a curva de vazão específica.

3.5.3 – Os Testes de bombeamento com vazão contínua e escalonada

A determinação da vazão de exploração utilizando o Manual de projeto e construção de poços tubulares profundos (2010) segue uma metodologia galgada em um limite de vazão de bombeamento, ou seja, se a vazão do teste produção for inferior a 20 m³/h, recomenda-se realizar um teste de vazão contínua, caso a vazão do teste de bombeamento indique uma vazão superior a 20 m³/h, usa-se o teste de vazão escalonado.

De acordo com o Manual de projeto e construção de poços tubulares profundos (2010), quando o bombeamento realizado por ocasião do desenvolvimento, apontar uma vazão máxima de exploração inferior a 20 m³/h, o teste deverá ter duração de 24 horas. Caso completadas às 24 horas de teste e o nível dinâmico não esteja estabilizado durante as últimas 6 horas, a vazão deverá ser reduzida de 20%, sem que haja interrupção do bombeamento e o teste terá que se prolongar por mais 12 horas. Em qualquer situação, o teste só poderá ser dado por concluído quando a estabilização do nível dinâmico completar 6 horas. Para poços com vazões inferiores a 5,0 m³/h, a duração do teste poderá ser de 12 horas, desde que o nível do poço se estabilize por, pelo menos 6 horas.

Para poços com vazões superiores a 20 m³/h, recomenda-se o teste de produção em três etapas de bombeamento, 30%, 60% e 100% da vazão de exploração esperada para o poço, obtida no bombeamento realizado durante o desenvolvimento do poço. Cada etapa deverá ter duração tal que permita a estabilização do nível dinâmico durante as últimas 6 horas. A passagem de uma etapa para outra deverá ser executada automaticamente por estrangulamento do registro, sem que o bombeamento seja interrompido. O teste escalonado deverá ser feito com a utilização de bomba submersa.

Concluído o teste de produção, é iniciado imediatamente o teste de recuperação do poço.

O procedimento do teste consiste na medida da velocidade de recuperação do nível estático original do poço.

O teste de recuperação será dado por concluído quando o nível da água retornar à posição original ou próxima do Nível Estático (NE) inicial.

3.5.4 – A metodologia usada pela Companhia de Saneamento de Sergipe

Para a Companhia de Saneamento de Sergipe, DESO (2011), depois dos trabalhos de perfuração concluídos, descem a coluna de tubos lisos, filtros e pré-filtros, para dentro do poço. Em seguida, executa-se o desenvolvimento do poço, durante o período que se fizer necessário, até que o teor limite de areia seja admissível a uma dada vazão, determinada pelo projeto. Essa metodologia, usada para o desenvolvimento do poço, é característica de poços perfurados em aquífero sedimentar (poroso). O desenvolvimento deverá ser efetuado, sempre que possível, através da combinação de métodos escolhidos em conformidade com as características do aquífero. Nos poços perfurados com lama, poderão ser utilizados, durante o desenvolvimento, agentes químicos dispersantes (polifosfatos) a fim de facilitar a remoção das argilas.

O procedimento realizado pela DESO (2011) para a execução do teste de produção deverá ser efetivado na presença da fiscalização, a fim de se determinar a vazão de exploração. A capacidade da bomba de teste deverá ser igual ou superior à vazão prevista no projeto. Só deverá ser empregado sistema de bombeamento com ar comprimido, excepcionalmente, e com aprovação da fiscalização. Na instalação do equipamento de bombeamento no poço, deverá ser colocado uma tubulação auxiliar, destinada a medir os níveis da água. Essa tubulação serve para que o equipamento de medição de nível passe por dentro do conduto e esta deverá ser colocada até um metro acima do crivo da bomba. As medições de nível de água no poço deverão ser feitas com medidor elétrico, com fio numerado de metro em metro e marcado a cada meio metro, ou pneumático, de tal modo que as leituras tenham a precisão de centímetros, (DESO 2011).

De acordo com a DESO (2011), vazões estimadas de até 40 m³/h, deverão ser empregados recipientes de volume aferido, de 200 a 220 litros, não deformados, em bom estado de conservação. Já para vazões acima de 40 m³/h deverão ser determinadas

por meio de sistemas contínuos de medida, tais como vertedores, orifícios calibrados, tubo de Venturi e outros. A tubulação de descarga da água deverá ser dotada de válvula de regulação sensível e de fácil manejo, permitindo controlar e manter constante a vazão em diversos regimes de bombeamento. O diâmetro dessa tubulação poderá variar, dependendo da vazão a ser bombeada.

Para aquíferos livres ou fissurados, quando da execução do teste de produção, o lançamento da água extraída deverá ser feito a uma distância de 25 metros ou mais, a jusante do poço, devendo ser determinada em projeto. Antes de dar início ao bombeamento, o operador deverá certificar-se da posição do nível da água original (nível estático), efetuando pelo menos três medidas de nível a cada meia hora. O teste de produção deverá ser iniciado com o bombeamento à vazão máxima definida no projeto, por um período mínimo de 24 horas. Uma vez terminado o teste de produção à vazão máxima, deverá ser procedido o teste de recuperação do nível. O teste de produção deverá ser efetuado em quatro etapas de mesma duração, com vazões progressivas em regime contínuo de bombeamento, mantendo-se a vazão constante em cada etapa. A passagem de uma etapa para outra deverá ser feita de forma instantânea, sem interrupção do bombeamento. O plano de teste deverá prever um escalonamento de vazões de aproximadamente 50%, 65%, 80% e 100% da vazão máxima.

Segundo a DESO (2011), não poderá haver variação de vazão superior a 10%, durante o bombeamento. Nos casos de vazão do poço inferior a $10 \text{ m}^3/\text{h}$, o teste final de bombeamento poderá ser efetuado a uma só vazão, constante, com a condição de que tenha uma duração total não inferior a 24 horas, assegurando-se uma estabilização do nível dinâmico durante um mínimo de 6 horas.

No teste de recuperação, a frequência dos tempos de medida do nível da água no poço deverá ser idêntica à do teste de bombeamento.

3.5.5 – A metodologia utilizada por Feitosa e Costa Filho 1998.

Segundo Feitosa e Costa Filho (1998), os testes de bombeamento são indispensáveis para se identificar os parâmetros hidrodinâmicos e conseqüentemente determinar as vazões de exploração dos poços, sejam esses construídos em aquífero poroso ou fissural. O manual utilizado por Feitosa e Costa Filho (1998) tem como objetivo orientar, de forma clara, a execução destes testes e propor um método prático para a determinação de uma vazão referencial. Salienta-se, entretanto, que as

metodologias aqui apresentadas, tanto para a execução quanto para a determinação de vazão, são extremamente simplistas, fugindo a um rigor técnico, normalmente utilizado pelos especialistas do setor, e devem ser adotadas apenas para este programa emergencial, com o objetivo bem definido de permitir a sua viabilização, (FEITOSA E COSTA FILHO 1998).

Na execução dos testes de bombeamento serão individualizados dois grandes grupos de rochas, as cristalinas e as sedimentares.

Os testes de produção em rochas cristalinas deverão ser executados através de um bombeamento contínuo por um período de, no mínimo, 12 horas, independente da estabilização dos níveis.

Após o término do bombeamento, deverá ser executado o registro da recuperação dos níveis por um período de 6 horas.

Ao final da perfuração e após a etapa de limpeza/desenvolvimento do poço, determina-se a vazão de vertedouro, pois, esta servirá de parâmetro para proceder ao teste de produção, sem exceder a sua potencialidade e mascarar os resultados do teste.

Normalmente, os testes de produção são realizados em aquíferos cristalinos, usando equipamentos do tipo eletro bombas submersas ou injetores e também compressores de ar acoplado a motor a diesel, Figuras 3.12 e 3.9.

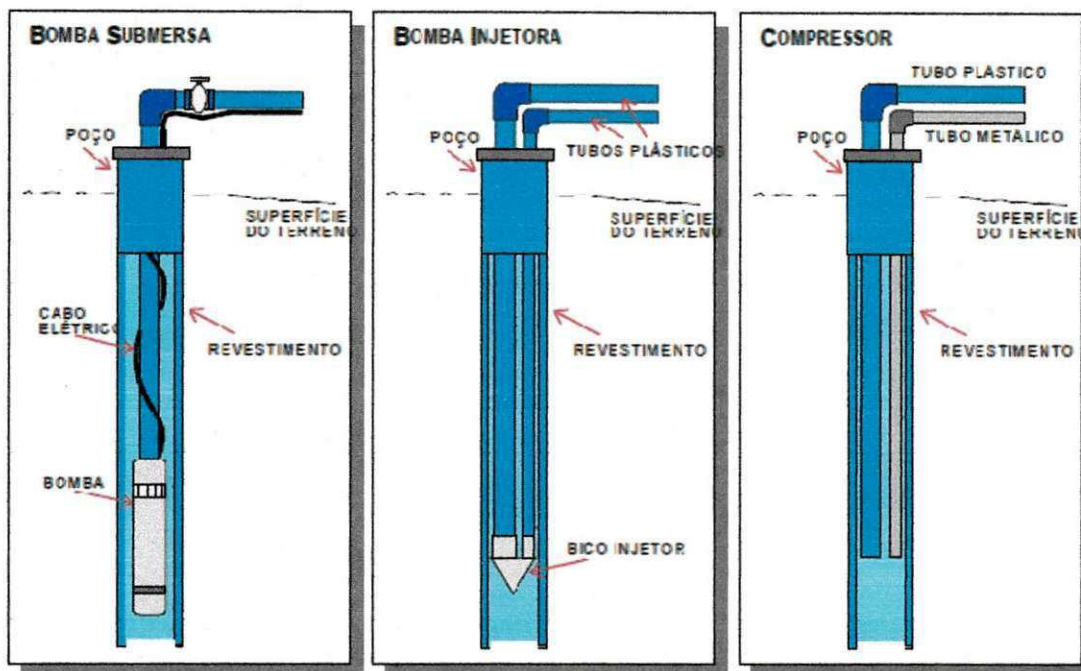


Figura 3.12 – Representação dos equipamentos usados em teste de produção. (FEITOSA E COSTA FILHO, 1998).

O método volumétrico é o mais indicado para determinar as vazões em aquíferos cristalinos por ser um meio prático e rápido, em geral, esses aquíferos apresentam-se com baixas vazões (FEITOSA E COSTA FILHO 1998).

- Vazões até 3,6 m³/h - Volume mínimo do recipiente = 20 litros
- Vazões entre 3,6 e 36,0 m³/h – Volume mínimo do recipiente = 200 litros.

A vazão específica é a razão entre vazão de bombeamento (Q) e o rebaixamento, (S) produzido no poço em função do bombeamento, para um determinado tempo equação 3.2.

$$\text{Vazão específica} = Q/S \text{ (m}^3/\text{h)} \quad \text{Eq.3.2}$$

O rebaixamento disponível (S) é o máximo que se pode rebaixar num poço sem que o mesmo sofra riscos de colapso, ou seja, o nível dinâmico não deve ultrapassar o crivo da bomba, pois se assim ocorrer o poço entrará em processo de esgotamento.

Não existe uma fórmula definitiva para o dimensionamento do rebaixamento disponível, porém, pode-se sugerir como referencial as seguintes formulações (FEITOSA E COSTA FILHO 1998):

$$RD = 0,6 (FP - NE) \quad \text{Eq.3.3}$$

Onde:

RD = rebaixamento disponível

FP = profundidade da fenda mais produtora

NE = nível estático

Segundo Feitosa e Costa Filho (1998), a vazão referencial para instalação de poços em rochas cristalinas neste programa emergencial, será dada pelo produto da vazão específica (Eq. 3.2) para um tempo de 12 horas pelo rebaixamento disponível (Eq. 3.3).

O método sugerido por Feitosa e Costa Filho (1998) para determinação da vazão de exploração dos poços tubulares, que foram alvo do programa emergencial de perfurações de poços realizadas pela CPRM, apresenta-se com certo grau de subjetividade no seu emprego. O empirismo torna-se evidente, no momento em que os autores sugerem que o rebaixamento disponível seja de sessenta por cento. A sugestão, porém, deveria estar amparada em alguma fundamentação, que pudesse indicar esse valor de sessenta por cento, do rebaixamento disponível. Assim, qualquer outro percentual do rebaixamento disponível poderia ter sido adotado para determinar a vazão de exploração.

3.5.6.-. A metodologia empregada pela CDRM

O teste de produção praticado pela CRDM ocorre seguindo um modelo pré-determinado de tabela de teste, conforme Figura 3.13.

Logo após a perfuração e não imediatamente, pois se torna necessário que o poço permaneça em repouso, pelo menos quarenta e oito horas, inicia-se o teste de produção. A primeira providência da equipe de teste de vazão, ao chegar no poço, é medir o nível estático, sabendo das informações da perfuração, qual foi a vazão de vertedouro e em qual profundidade deverá ser colocado o crivo (injetor). O crivo corresponde à profundidade ideal para se colocar o sistema de bombeamento. Esse crivo sempre será instalado a uma profundidade abaixo do nível dinâmico. Na sequência, instalar os equipamentos para executar o referido teste. Efetivamente, o teste inicia-se com medição da vazão e do nível dinâmico, correspondente às colunas $Q(m^3/h)$ e $ND(m)$ na tabela da Figura 3.13.

As observações se processam nos seguintes intervalos:

- De minuto a minuto até o sexto minuto;
- Depois, de dois em dois minutos até o décimo minuto;
- Em seguida, de cinco em cinco minutos até trinta minutos;
- Na sequência, de dez em dez minutos até oitenta minutos;
- Continuando, mede-se agora de vinte em vinte minutos, até completar duas horas do início do teste;

Depois, de trinta em trinta minutos até cento e oitenta minutos;

- Conclui-se o restante do tempo até completar às dez horas de uma e uma hora.

Na última hora, do teste o técnico deverá realizar a coleta da água para posterior análise físico-química ou bacteriológica.

De posse desses dados calculam-se os rebaixamentos mostrados na coluna S(m) da tabela da Figura 3.13.pela equação abaixo:

$$S=ND-NE \quad \text{Eq. 3.4}$$

Onde,

S – refere-se ao rebaixamento no intervalo de observação (m);

ND – nível dinâmico, (m);

NE – nível estático, (m).



DIVISÃO DE HIDROGEOLOGIA
E SONDAgens

TABELA DE TESTE - QUALIDADE DA ÁGUA

POÇO Nº AQ-359

HORA 1	T (min) 2	ND (m) 3	S (m) 4	Q (m³/h) 5	Q (m³/h/m) 6	RECUPERAÇÃO			
						T (min.)	ND(m) 7	S(m) 8	h _p +1
06:31	1	13,885	8,885	7,200	0,810	1	24,670	19,670	721,0
06:32	2	18,650	13,650	6,171	0,452	2	23,670	18,670	361,0
06:33	3	21,245	16,245	4,468	0,275	3	22,670	17,670	241,0
06:34	4	22,535	17,535	3,410	0,194	4	21,480	16,480	181,0
06:35	5	23,210	18,210	2,090	0,114	5	20,710	15,710	145,0
06:36	6	23,545	18,545	1,800	0,097	6	19,770	14,770	121,0
06:38	8	23,595	18,595	1,800	0,096	8	18,145	13,145	91,0
06:40	10	23,725	18,725	1,800	0,096	10	16,595	11,595	73,0
06:45	15	23,805	18,805	1,800	0,095	15	13,030	8,030	49,0
06:50	20	24,150	19,150	1,730	0,090	20	10,580	5,580	37,0
06:55	25	24,320	19,320	1,384	0,071	25	9,010	4,010	29,8
07:00	30	24,415	19,415	1,384	0,071	30	8,055	3,055	25,0
07:10	40	24,440	19,440	1,384	0,071	40	7,345	2,345	19,0
07:20	50	24,665	19,665	1,384	0,070	50	6,950	1,950	15,4
07:30	60	24,850	19,850	1,384	0,069	60	6,710	1,710	13,0
07:40	70	24,910	19,910	1,384	0,069	70	-	-	-
07:50	80	25,000	20,000	1,384	0,069	80	-	-	-
08:10	100	25,065	20,065	1,384	0,068	100	-	-	-
08:30	120	25,190	20,190	1,384	0,068	120	-	-	-
09:00	150	25,255	20,255	1,384	0,068	150	-	-	-
09:30	180	25,255	20,255	1,343	0,066	180	-	-	-
10:30	240	25,255	20,255	1,285	0,063	240	-	-	-
11:30	300	25,255	20,255	1,285	0,063	300	-	-	-
12:30	360	25,385	20,385	1,285	0,063	360	-	-	-
13:30	420	25,530	20,530	1,285	0,062	420	-	-	-
14:30	480	25,610	20,610	1,285	0,062	480	-	-	-
15:30	540	25,675	20,675	1,285	0,062	540	-	-	-
16:30	600	25,680	20,680	1,285	0,062	600	-	-	-
18:30	720	25,690	20,690	1,285	0,062	720	-	-	-
-	840	-	-	-	-	-	-	-	-
-	960	-	-	-	-	-	-	-	-
-	1080	-	-	-	-	-	-	-	-
-	1200	-	-	-	-	-	-	-	-
-	1320	-	-	-	-	-	-	-	-
-	1440	-	-	-	-	-	-	-	-

TESTE EXECUTADO POR: CDRM

DATA: 08.10.87 À 08.10.86

NE: 5,000 m ND: 25,690 m

Q: 1,285 m³/h CRIVO: 33,0 m

EQUIPAMENTO: Compressor

ANÁLISE FÍSICO - QUÍMICA Nº 519/86		LABORATÓRIO: DNOCS		DATA DA COLETA: 08.10.86	
				DATA DA ENTREGA: 13.11.86	
PH	7,90	CÁLCIO (Ca ⁺⁺)	122,24	mg/l	
COR (Pt)	-	MAGNÉSIO (Mg ⁺⁺)	96,06	"	
TURBIDEZ (SiO ₂)	-	SÓDIO (Na ⁺)	379,50	"	
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	-	POTÁSSIO (K ⁺)	13,29	"	
OXIGÊNIO CONSUMIDO	-	FERRO (Fe ⁺⁺⁺)	ausência	"	
ALCAL. EM CARBONATOS (TA) CaCO ₃	24,00	AMÔNIA LIVRE (NH ₃)	-	"	
ALCAL. BICARBONATOS (TAC) CaCO ₃	173,00	CLORETOS (Cl ⁻)	868,52	"	
ALCAL. TOTAL (CaCO ₃)	-	SULFATOS (SO ₄)	60,05	"	
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	700,00	BICARBONATOS (HCO ₃)	-	"	
COND. ELÉTRICA	2.900,00	CARBONATOS (CO ₃)	-	"	
RESÍDUO SECO	1.972,00	NITRITOS (NO ₂)	presença	"	
CLASSIFICAÇÃO P/ IRRIGAÇÃO	C4-S2	NITRATOS (NO ₃)	presença	"	
		SÍLICA (SiO ₂)	-	"	

DATA DE LOCAÇÃO: 16.09.86

GÉOLOGO RESPONSÁVEL: José de Santa Fé Ferreira
Ced. CREA N.º 3220-D-PA

Figura 3.13 - Tabela de teste de produção e de análise físico-química da água, (CDRM - 2010)

Após encontrar os rebaixamentos referentes a cada intervalo de tempo, calculam-se as vazões específicas (Q/S), também referentes a cada intervalo de tempo.

Finalizado o teste de produção, inicia-se imediatamente a medição do nível dinâmico da recuperação. Este nível, que tende a diminuir, permite calcular o rebaixamento da recuperação. O procedimento de medição é semelhante ao do teste de produção:

- De minuto a minuto, até o sexto minuto;
- Depois, de dois em dois minutos, até o décimo minuto;
- Em seguida, de cinco em cinco minutos, até trinta minutos;
- Na sequência, de dez em dez minutos, até sessenta minutos;

Neste procedimento, pode-se observar que há uma relação inversa dos níveis dinâmicos do teste de produção (coluna 3) propriamente dito com o da recuperação, (coluna 7) pois, ao final este nível tende a diminuir e se aproximar do nível estático. Como consequência, tem-se que o rebaixamento residual da recuperação (coluna 8) diminui também, tornando-se um parâmetro importante na determinação da vazão de exploração Figura 3.13.

3.5.6.1.- Determinação da vazão de exploração

Com os dados obtidos da forma descrita no item anterior, constroi-se, a curva da vazão específica com o tempo. Esta curva é obtida plotando-se os pares correspondentes de vazão específica e intervalo (tempo) referido. Conforme mostrado na Figura 3.14 no eixo das ordenadas plotam-se os valores da vazão específica e no das abscissas, o tempo, em escala mono-logarítmico. As informações que culminaram com a execução da Figura 3.14, referem-se aos valores que estão contidos na Figura 3.13.

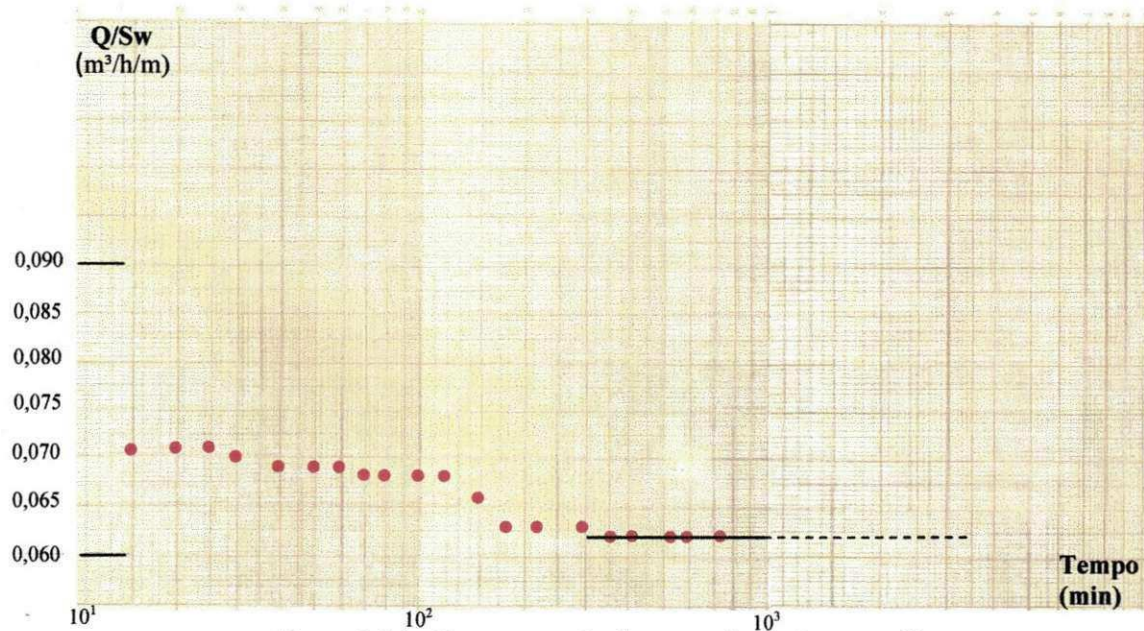


Figura 3.14 – Representação da curva da vazão específica

Os pontos mostram um decaimento da vazão específica segundo uma curva característica, cujo último trecho tende a ser retilíneo. Traça-se, então, uma reta sobre estes últimos pontos plotados, fazendo com que essa reta sobreponha o maior número de pontos possíveis, conforme mostra a figura citada.

Essa reta deve prolongar-se (reta pontilhada) até o ponto correspondente ao número de dias em que se deseja obter a vazão específica, que neste caso será chamada de vazão específica extrapolada. Usualmente extrapola-se o tempo do teste para quatro dias, objetivando desta maneira uma maior segurança na determinação da vazão de exploração que será função da referida vazão específica extrapolada.

Ressalta-se que essa vazão extrapolada poderá ser igual à vazão medida no teste de produção, caso em que a reta traçada for paralela ao eixo do tempo (abscissas), mas é comumente encontrada inferior a esta, que tende a diminuir com o tempo Figura 3.14.

Com a vazão específica extrapolada encontrada no eixo das ordenadas e multiplicando esse valor pelo rebaixamento final do teste de vazão, chega-se à vazão de exploração do poço, através da equação 3.5:

$$Q_{ep} = (Q/S)_{ext} \times S$$

Eq.3.5

Onde,

Q_{ep} – Vazão de exploração (m^3/h)

$(Q/S)_{ext}$ – Vazão específica extrapolada ($m^3/h/m$);

S – Rebaixamento no final do teste de vazão (m).

3.5.6.2 - Alteração da vazão de exploração considerando o teste de recuperação)

A determinação da vazão de exploração em aquífero cristalino é complexa, pois o meio onde se encontra as águas subterrâneas é anisotrópico e heterogêneo.

Essa vazão de exploração encontrada será recomendada para a captação de água do poço, após a análise subjetiva da recuperação do poço, por parte do hidrogeólogo. A CDRM é uma empresa que tem mais de 30 anos de experiência no ramo de pesquisa e execução de perfuração de poços tubulares. Por ela passaram vários hidrogeólogos que aprimoraram a metodologia, e atualmente ainda se usa esse procedimento.

Após a determinação da vazão de exploração, o hidrogeólogo verifica então, qual o rebaixamento residual da recuperação, a vazão final do teste de produção e como foi o comportamento desta vazão ao longo das dez horas de teste. O subjetivismo do método torna-se evidente, quando o hidrogeólogo começa a analisar o teste de recuperação, a fim de, com base numa avaliação qualitativa desse fenômeno da retomada dos níveis d'água no poço, alterar a vazão de exploração encontrada pelos procedimentos e cálculos acima descritos (Figura 3.14).

Assim, o hidrogeólogo "A" poderia interpretar como boa a recuperação observada em um teste, e indicar a vazão de exploração recomendada como sendo igual à vazão do teste de bombeamento; enquanto o hidrogeólogo "B", com os mesmos dados, interpretaria como sendo regular a recuperação, e neste caso recomendar uma vazão de exploração, inferior à vazão de exploração calculada conforme procedimentos vistos. Em casos menos frequentes, chega-se a recomendar vazões de exploração superiores às vazões de teste, com base em recuperações julgadas muito boas. Todavia, o que pode parecer uma boa recuperação para um, poderá não ser para outro técnico, porquanto não existe na metodologia empregada pela CDRM, nenhum parâmetro de cunho científico ou empírico que respalde uma avaliação objetiva da influência da recuperação dos níveis dos poços na determinação da vazão de exploração em aquíferos cristalinos.

4.0 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 - Localização e vias de acesso

A área estudada perfaz um total de 9.431 Km², com 22 municípios e está inserida na porção centro-sul do estado da Paraíba, microrregião Cariris Velhos, com coordenadas geográficas 07° 09' 00" e 08° 18' 00" de latitude sul e 36°06' 00" e 37° 21' 00" de longitude oeste, sendo limitada a sul e a leste pelo estado de Pernambuco, a norte pelos municípios Desterro, Taperoá, Santo André, Soledade e Pocinhos, e a leste por Campina Grande, Boqueirão, Riacho de Santo Antônio e Alcantil, Figura 4.1.

O acesso à área se faz, a partir da capital João Pessoa ou do município de Campina Grande, cidade Pólo, pela BR 230 que atravessa o estado de leste-oeste, até a Praça do Meio do Mundo, daí se adentra pela BR 412, percorrendo cerca de 20 km, chega-se à cidade de Boa Vista, sendo esta o marco inicial da região em estudo.

4.2 Geomorfologia

A região de estudo está inserida no setor ocidental e semi-árido do estado da Paraíba, na porção do Maciço da Borborema, sub-região árida, no conjunto morfológico, formado pela Superfície Elevada Aplainada da Borborema, em seu nível mais baixo, com altimetria variando de 400 a 500 metros, classificada como Superfície dos Cariris (CARVALHO, 1982).

De acordo com a autora supracitada, a Superfície Aplainada da Borborema, em sua porção sul, apresenta-se menos dissecada, caracterizando um relevo semi-colinoso. Um arqueamento do relevo de direção noroeste-sudeste origina os vales em baioneta dos riachos temporários e outro ortogonal e, conforme as grandes direções tectônicas formam as cristas agudas como as que aparecem entre Camalaú e Congo, além de alinhamentos como os da Serra do Monte, a sudeste de Boa Vista.

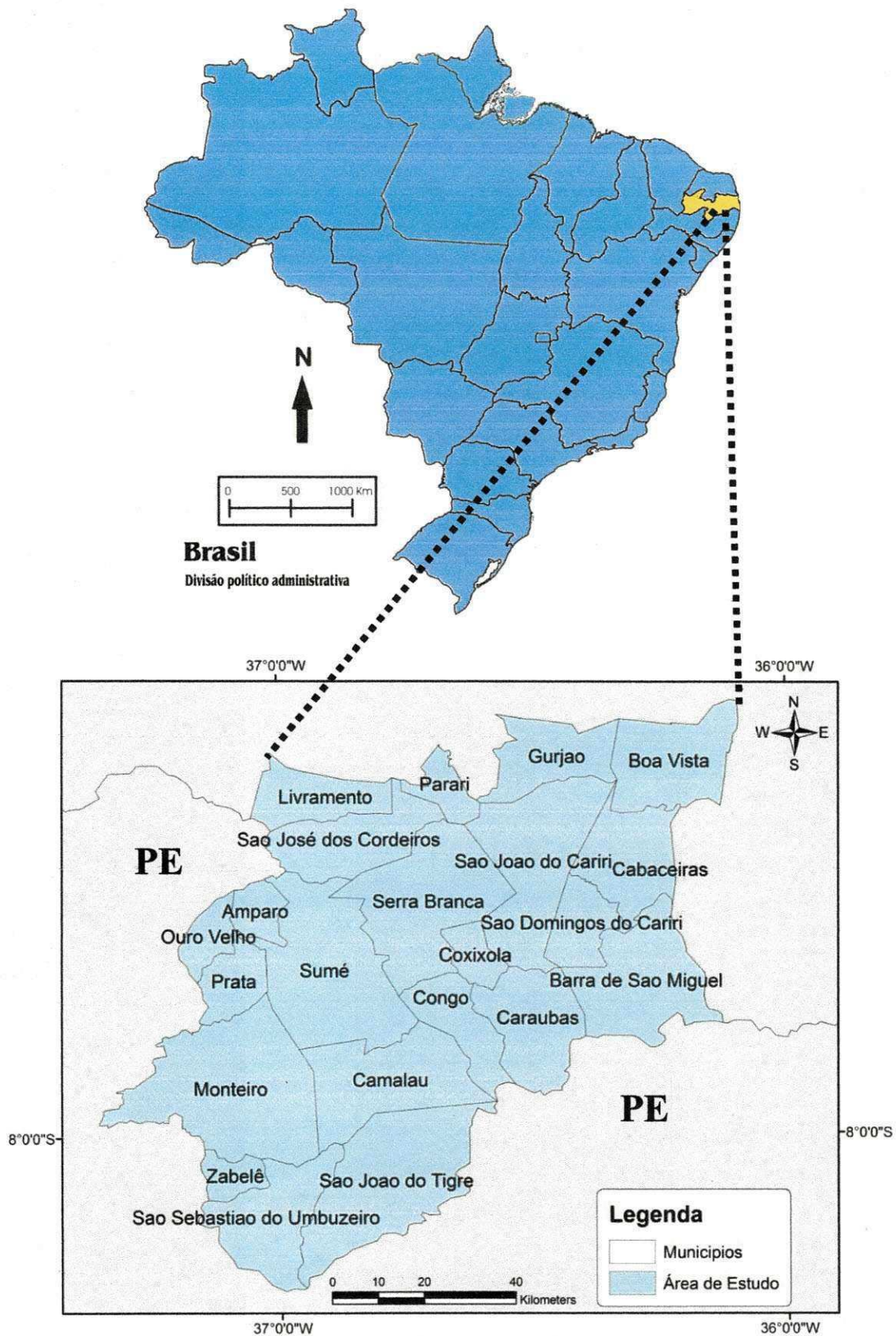


Figura 4.1– Mapa de localização da área de estudo. Fonte: AESA (2009)

4.3 – Clima

Esta é uma das áreas mais secas do estado, com precipitações pluviométricas médias anuais muito baixas (400 mm a 600 mm) e uma estação seca que pode atingir 11 meses (BRASIL, 1972). O clima predominante, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Bsh: semi-árido quente, caracterizando-se pela grande irregularidade de seu regime pluviométrico, dependente das massas de ar que vêm do litoral (Massa Equatorial Atlântica - MEA) e do oeste (Massa Equatorial Continental - MEC).

De acordo com a Classificação de Gaussen, a área de estudo está inserida nas seguintes regiões Bioclimáticas:

- Hemi-erêmica (Subdesértica quente ou semi-árida);
- Xerotérica (Mediterrânea).

Os tipos climáticos pertencentes às Regiões Bioclimáticas que caracterizam a área em estudo são:

- **2b** – Subdesértico – clima predominante na área, é quente de caráter tropical-equatorial. O índice xerotérmico varia de 200 a 300 com um período seco, variando de 9 a 11 meses.

- **3aTh** – Xerotermomediterrâneo – (mediterrâneo quente ou nordestino de seca acentuada). Estação seca, variando de sete a oito meses e índice xerotérmico entre 150 e 200.

4.4 – Vegetação

Segundo Brasil (1972), ocorrerem, na região de estudo, as formações vegetais Caatingas.

Caatingas – São formações vegetais de porte variável, caducifólias de caráter xerófilo, com grande quantidade de plantas espinhosas, ricas em cactáceas e bromeliáceas em determinadas áreas.

Caatinga hiperxerófila – Ocorre na zona tipicamente semi-árida, apresentando grau mais acentuado de xerofitismo.

4.5 – Solos

Para compreender o que são solos deve-se saber primeiramente como eles se originam. O solo é a resultante da ação conjunta dos agentes intempéricos que atua sobre as rochas que se desagregam com o passar do tempo, enriquecido em detritos orgânicos. É constituído de camadas que diferem pela natureza física, química, mineralógica e biológica, que se desenvolvem com o tempo sob a influência do clima e da própria atividade biológica.

A descrição dos solos de maior ocorrência na área de estudo está baseada em (EMBRAPA, 1999):

- Luvissolos - Podzólico vermelho amarelo eutrófico são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural, com argila de atividade alta e alta saturação por bases, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, exceto A chernozêmico ou sob horizonte E.

Nesta classe, estão incluídos os solos que foram classificados pela Embrapa, Solos como Bruno Não Cálcicos, Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico argila de atividade alta e Podzólico Bruno-Acinzentado Eutrófico e alguns Podzólicos Vermelho-Escuro Eutrófico com argila de atividade alta.

- Planossolos - Planossolos solódicos eutrófico - são solos constituídos por material mineral com horizonte A ou E, seguido de horizonte B plânico. Esta classe inclui os solos que foram classificados como Planossolos, Solonetz-Solodizado e Hidromórficos Cinzentos que apresentam mudança textural abrupta.

- Neossolos regolíticos; - Solos aluvionais; solos litólicos - são solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Nesta classe, estão incluídos os solos que foram reconhecidos anteriormente como Litossolos e Solos Litólicos, Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas (Distróficas Marinhas e Hidromórficas). Solos com horizonte A húmico ou A proeminente, com espessura maior que 50 cm, seguido por contato lítico ou com sequência de horizontes A, C ou ACr.

- Vertissolos - Solos constituídos por material mineral com horizonte vértico dentro de 100 cm de profundidade e relação textural insuficiente para caracterizar um B textural. Nesta classe, estão incluídos todos os Vertissolos, inclusive os hidromórficos.

4.6 - Geologia da Área

Na área estão inseridas as unidades litoestratigráficas que serão descritas a seguir, dentro do seu contexto tectono-estratigráfico Figura 4.2.

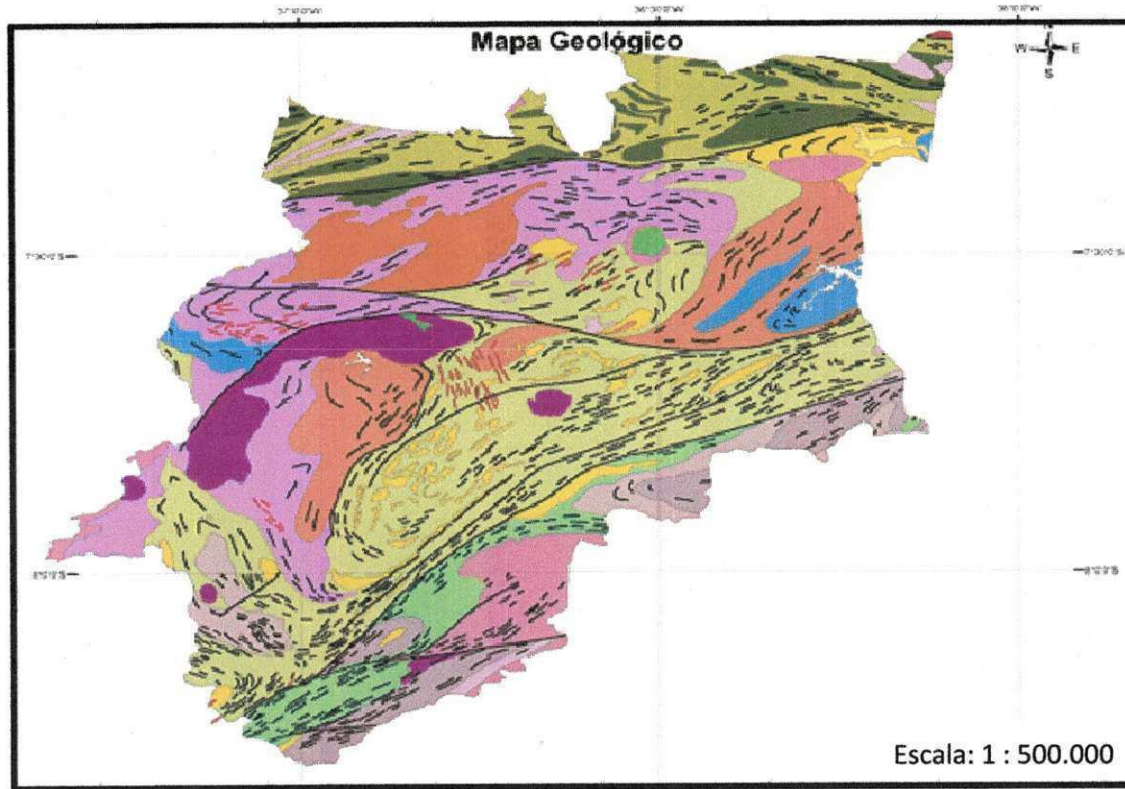
Os terrenos onde o estado da Paraíba está assentado são diferenciados devidos principalmente, à história pré-brasiliana Santos et al., (1997), visto que a orogênese Brasileira afetou toda a Província, marcando, indistintamente, todos os seus terrenos com um vigoroso sistema de zonas de cisalhamento transcorrentes (Patos) e de plutonismo granítico.

4.6.1 - Arqueano/Paleoproterozóico

Deste modo na base dessa sequência, apresentam-se o Ortognaisse Granodiorítico-granítico que é uma unidade variavelmente migmatizado, intercalando muitas rochas metamáficas, compondo o chamado maciço de Cabaceiras (antigo Camalaú-Cabaceiras de Brito Neves, 1975). Ferreira & Santos (2000) distinguiram este compartimento com a denominação de maciço de Boqueirão, representando a extensão da *nappe* Serra de Jabitacá, de Santos (1995) apud (CPRM 2002).

4.6.2 – Paleoproterozóico

A seguir, encontram-se ortognaisses tonalíticos a granodioríticos supostamente paleoproterozóicas, retrabalhados no Meso e Neoproterozóico que ocorrem na Serra dos Cariris Novos, divisa de Pernambuco e Paraíba. Essas rochas são usualmente referidas como Complexo Gnáissico-migmatítico e ocorrem como embasamento de rochas meso e neoproterozóicas em uma megaestrutura complexa, provavelmente gerada pela superposição das estruturas Cariris Velhos e Brasilianas. Sobre essa litologias, verificamos exposições do Complexo Sertânia que é uma unidade metassedimentar, com alguma contribuição metavulcânica máfica, característica do Terreno Alto Moxotó. Esta unidade foi formalizada como Complexo, por Veiga Jr. & Ferreira (1990) e Wanderley (1990). Na região de Camalaú, a sequência inclui numerosas intercalações de mármore, caracterizando uma fácies pelito-carbonática



CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

	Contato		Zona de cisalhamento transcorrente sinistral
	Falha indiscriminada		Zona de cisalhamento transcorrente dextral
	Zona de cisalhamento indiscriminada		Traço de foliação
	Zona de cisalhamento contracional		

UNIDADES GEOLÓGICAS

	Formação Campos Novos: Argila, arenito e basalto, incluindo argila montmorilonítica.
	Enxames/sets de diques: Granodioritos e dacitos porfíricos.
	Suíte granítica subalcalina e/ou alcalina: Sienogranito com basalto e dacito comagmáticos (Suíte Prata); fayalita-ferro hiperstênio sienogranito e sienito commagnetita (Suíte Umarizal); biotita granitos leucocráticos.
	Suíte granítica transicional shoshonítica- alcalina: Granito leucocrático e biotita-anfibólio sienito; granodiorito porfírico e facies híbrida com granodiorito equigranular, quartzo diorito e tonalito.
	Suíte granítica calcialcalina de médio a alto potássio: Granito e granodiorito grossos a porfíricos associados a diorito e a fases intermediárias de mistura.
	Granitóide de quimismo indiscriminado: Biotita granito, monzogranito, sienito, quartzo monzonito, metagranito, granito porfiróide e microporfírico.
	Suíte máfica precoce: Gabro e norito, com ultramáfica subordinada), diorito, gabro, quartzo diorito, tonalito
	Formação Caroolina-Surubim: Granada-biotita gnaiss, sillimanita-granada-biotita xisto, biotita gnaiss, incluindo calcário cristalino (ca), quartzito (qt) e rocha calcissilicática.
	Suíte granítica Camalaú: Ortognaiss tonalítico-trondhjemitico, ortognaiss granítico, quartzo sienito e sienito, anfíbiolbiotita ortognaiss quartzo monzonítico a granítico, muscovita ortognaiss com sillimanita.
	Metagranitóides tipo Riacho do Forno: Granada-biotita-muscovita metagranito e migmatito de composição sieno à monzogranítica, de fonte crustal metassedimentar.
	Complexo São Caetano: Muscovita-biotita gnaiss às vezes granadífero, biotita gnaiss, muscovita xisto, incluindo calcário cristalino, quartzito, e metavulcanoclástica.
	Complexo Vertentes: Granada-biotita gnaiss, biotita gnaiss, incluindo metavulcânicas intermediárias e máficas, e calcário cristalino (ca).
	Ortognaisses e Migmatitos Serra de Jabitacá: Ortognaiss e migmatito de protólito tonalítico-granodiorítico, com intercalações de paragnaiss, anfibolito e leptinito.
	Complexo Sumé: Leucognaiss e paragnaiss com freqüentes intercalações de ortoanfibolito (anf) (metamáfica), rocha calcissilicática, menos comumente metapiroxenito, metagabro (), metagabro com granada (retroeclogito?), formação ferrífera e granulito.
	Complexo Sertânia: Muscovita-biotita gnaiss, biotita gnaiss com granada e/ou sillimanita, calcário cristalino (ca), rocha calcissilicática, quartzito e raras metavulcânicas básicas.
	Complexo Gnáissico-Migmatítico: Ortognaiss de composição granítica a tonalítica, incluindo fácies monzonítica, monzodiorítica e diorítica, e migmatito com mesossoma gnáissico e leucossoma granítico e pegmatítico, além de calcissilicática (cs).
	Ortognaiss granodiorítico-granítico: Ortognaiss de composição granodiorítica-granítica, eventualmente tonalítica trondhjemitica, com níveis de rochas metamáficas.

Figura 4.2 – Mapa geológico da área de estudo (CPRM, 2002)

4.6.3 - Paleo/Mesoproterozóico

Medeiros & Torres (1999) postulam tratar-se de uma associação de gnaisses de alto grau metamórfico, incluindo ortognaisses, paragnaisses e migmatitos, com intercalações de metabasitos, metagabros, granada metagabros, metasienitos, calcários cristalinos, *skarns*, raras formações ferríferas, granulitos, metapiraxenitos e prováveis retroeclogito. Em alguns locais, os *skarns* mostram-se associados às rochas metamáficas-ultramáficas e são comumente mineralizados em apatita, o que abre a possibilidade de tratar-se de *skarns* ligados a complexos carbonatíticos-feníticos.

Sequencialmente, encontram-se os Metagranitóides e Migmatitos Serra de Jabitacá que, ao contrário dos metagranitóides Cariris Velhos, esses metagranitóides constituem batólitos, que ocorrem na Paraíba, desde a região norte de Monteiro até São João do Cariri. São rochas que compõem uma suíte de biotita metagranitóides bandados ou foliados, geralmente migmatíticos, com estruturas *schlieren* ou nebulítica, de mesossoma difuso. A composição varia entre monzonítica –sienogranítica e granítica, podendo ocorrer áreas de composição tonalítica-granodiorítica, com enclaves de gnaisses granatíferos, além de anfibolitos e leptinitos, por vezes migmatizados, com mesossoma anfibolítico predominante (CPRM 2002).

4.6.4 – Mesoproterozóico

O Complexo Vertentes foi definido por Ferreira & Santos (2000), como uma unidade destacada do antigo Complexo Surubim-Caroalina ou, simplesmente, Complexo Surubim. Trata-se de uma sequência metavulcanossedimentar, composta por rochas metavulcânicas máficas e intermediárias, metavulcanoclásticas, intercaladas em uma sequência de paragnaisses pelíticos, cuja ambiência é interpretada como arco vulcânico (SANTOS 1999).

O Complexo São Caetano que, estratigraficamente, encontra-se acima da sequência anterior, compreende uma sequência metassedimentar e metavulcanoclástica, com uma componente vulcânica predominantemente félsica-intermediária.

Sobreposto a esse Complexo, observam-se rochas graníticas Cariris Velhos, que são leucogranitos e migmatitos de fonte crustal, gerados principalmente por fusão parcial de protólito sedimentar ou vulcano-sedimentar, durante a orogênese Cariris Velhos. Segundo Santos (1995) esses litotipos são mais leucocráticos e ricos em

muscovita, exibindo uma característica estrutura migmatítica, de tipos estromática, *schlieren* e nebulítica.

Repousando sobre a sequência anterior, encontra-se a suíte granítica Camalaú, formada por dezenas de stocks deformados e intrusões tabulares (sheets, sills e diques), incluindo granitóides tonalíticos e trondhjemíticos (MEDEIROS e TORRES, 1999).

No âmbito da *nappe* Serra de Jabitacá, algumas intrusões tabulares são biotita granitos intrusivos no Complexo Sertânia (tipo Tuparetama) ou em ortognaisses e migmatitos, provavelmente paleoproterozóico (tipo Amparo), os quais foram também incluídos neste grupo de granitóides.

4.6.5 – Neoproterozóico

Na base dessas sequência, ocorre o Complexo Caralina-Surubim que são micaxistos aflorantes entre Monteiro e São Sebastião do Umbuzeiro e também, a sul do município do Congo, sob a Zona de Cisalhamento Cruzeiro do Nordeste (CPRM 2002). A outra unidade que ocorre na área são os granitóides cedo a sintectônicos, representados pelos litotipos da suíte diorítica-tonalítica, sendo formados por tonalitos, quartzo dioritos e biotita-hornblenda granodioritos com segregações graníticas. A seguir, encontram-se granitóides de quimismo indiscriminados e as associações calcialcalina médio a alto potássio que é caracterizado por granitóides porfiríticos de composição monzonítica, sienogranítica e granodiorítica, conhecidos na literatura como tipo Itaporanga, (ALMEIDA et al., 1967). A Supersuíte II está representada na área como uma suíte transicional shoshonítica-alcalina, composta por leucogranodioritos, quartzo monzonitos e granodioritos que se apresenta na área, na porção oeste da cidade de Serra Branca. Supersuíte III é a última unidade do Neoproterozóico que ocorre na área a qual a suíte Prata encontra-se inserida neste contexto, sendo formada pelo batólito de Prata e por *stocks* e diques controlados por um estágio rúptil da Zona de Cisalhamento Afogados da Ingazeiras. Dentro dessa Supersuíte, observam-se também os diques máficos alcalinos, situados a sudeste da cidade de Monteiro e granodioritos e dacitos porfiríticos, próximos às cidades de Sumé e Serra Branca (CPRM 2002).

4.6.6 - Paleógeno/Neógeno

As argilas montmoriloníticas culminam como a última unidade litoestratigráfica que ocorre na área. Trata-se de argila de cores verdes, creme e roxa, com arenitos grosseiros silicificados na base, podendo ocorrer arenitos sílticos com níveis argilosos com blocos de calcedônia intercalados. Segundo Caldasso (1965), na região de Boa Vista, centro-leste do estado, constatou-se que a variedade montmorilonítica predominante é a nontronita, além de observar que os elementos traços que ocorrem nas argilas são os mesmos dos basaltos adjacentes. Os sedimentos são continentais e depositados em ambientes de águas rasas, calmas e pouco profundas, em bacias restritas tipo lacustre. Tal classificação baseia-se na presença de madeira silicificada e fósseis de gastrópodes com moldes perfeitamente conservados (CPRM 2002).

5.0 – O MÉTODO DESENVOLVIDO

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos e o desenvolvimento do método que constitui o objetivo desse estudo.

5.1 – Desenvolvimento do método proposto

A metodologia empregada com o intuito de determinar a vazão de exploração dos poços tubulares na região do cariri ocidental, está estruturada a partir de uma análise e discussão de dados oriundos da CDRM, que se iniciou com a seguinte seqüência:

- Coleta e seleção de 1004 poços, todos inseridos nos 22 municípios;
- Análise e tratamento dos dados constantes nas fichas de poços tubulares disponíveis na CDRM,

De acordo com a ficha de poço oriunda da CDRM, exibida na Figura 5.1, pode-se verificar que existem vários dados que são inerentes à perfuração do poço, porém alguns desses dados não são essenciais para a determinação da vazão de exploração de poços tubulares. É necessário, entretanto o conhecimento de certas informações para facilitar a leitura da Figura 5.1.



CDRM – Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba
DIROP – Diretoria de Operações
DHS – Divisão de Hidrogeologia e Sondagens

FICHA DE POÇO

Microrregião: Cariris Velhos		Data de Perfuração		Início: 27.10.2000						
				Término: 28.10.2000						
Município: Barra de São Miguel	UF: PB	Tipo de Poço: Tubular		Litologia: Granito						
Localidade: Riacho do Bichinho/ Lavanderia		Profundidade: 30,00m		Øi = 6" (8,00 m); Øf = 4 ½" (22,00m)						
Proprietário: Prefeitura Municipal		Revestimento: Aço preto		Ø = 5" (8,60 m)						
Coordenadas	X = 07° 45' 02"	Cimentação: 0,0 – 8,00 m		Entrada D'Água: 8,60 – 8,70 m						
	Y = 36° 19' 11"	Filtro: -		Ø = -						
	Z = 480m	Pré-filtro: -								
Fotoíndice: SB 24 X	Foto nº 1015/1016	Características Hidrodinâmicas		K: -						
Escala: 1:70.000				T: -						
Mapa: Folha de Sta. Cruz do Capibaribe				S: -						
Escala: 1:100.000										
Sondador: Narcizo Salles dos Santos			Perfuratriz: Rotopneumática							
PERFIL GEOLÓGICO										
	TESTE DE VAZÃO									
	Data	Tb (h)	Crivo (m)	NE (m)	ND (m)	Sw (m)	Q (Lit./h)	Q/Sw (Lit./h/m)	Equipamento	
	15.11.00	10:00	15,00	3,08	8,78	5,70	5.538	970	Compressor	
	PARAMETROS RECOMENDADOS PARA CAPTAÇÃO									
	Crivo (m)	NE (m)	ND (m)	Sw (m)	Q (Lit./h)	Q/Sw (Lit./h/m)	Equipamento			
	27,00	4,00	9,00	5,00	4.800	920	Eletrobomba			
	ANÁLISE QUÍMICA									
	Laboratório: EMBRAPA			Data da Entrega: 01.12.2000						
	PH		7,00		Cálcio		316,00			
	Cor (Pt)		-		Magnésio (mg)		324,00			
Turbidez (SiO ₂)		-		Sódio (Na)		874,00				
Oxigênio Dissolvido		-		Potássio (k)		31,20				
Oxigênio Consumido		-		Ferro (Fe)		-				
Alcal. Carbonatos (CaCO ₃)		Ausência		Amônia Livre (NH ₃)		-				
Alcal. Bicarbonatos (CaCO ₃)		340,00		Cloretos (Cl)		4.561,75				
Alcal. Total (CaCO ₃)		340,00		Sulfatos (SO ₄)		Traços				
Dureza Total (CaCO ₃)		2.140,00		Bicarbonatos (HCO ₃)		-				
Cond. Elétrica		9.381,00		Carbonatos (CO ₃)		-				
Resíduo Seco (RS)		6.566,70		Nitritos (NO ₂)		-				
Classif. P/Irrigação		-		Nitratos (NO ₃)		-				
Obs.: Dados expressos em mg/lit. e condutividade elétrica em µmho/cm										
OBS.: ND1=4,860 m / ND 2= 4,637 m / S= 1,557 m										
						Francisco de Assis da Silveira Gonzaga Geólogo Responsável				
						Campina Grande: 01 de Fevereiro de 2001.				

Figura 5.1 – Ficha do poço com os parâmetros hidrodinâmicos e análise físico-química.(Fonte CDRM-2010)

Nessa ficha de poço identifica-se o tipo de poço que no caso é tubular, o diâmetro inicial (\square_i) da perfuração é de seis polegadas com uma profundidade de oito metros em média. Essa perfuração inicial ultrapassou o solo e o manto de intemperismo e adentrou na rocha sã em torno de um metro. Após essa perfuração coloca-se o revestimento do poço que na época se usava de aço preto no diâmetro de cinco polegadas.

Em seguida realiza-se a manobra dos equipamentos de perfuração e imediatamente a cimentação em todo o espaço anelar existente entre a perfuração e o tubo de revestimento. Essa cimentação deve ser curada, para posteriormente com uma

Em seguida realiza-se a manobra dos equipamentos de perfuração e imediatamente a cimentação em todo o espaço anelar existente entre a perfuração e o tubo de revestimento. Essa cimentação deve ser curada, para posteriormente com uma broca de botão (bit) no diâmetro de 4^{1/2"} perfura-se o poço em rochas cristalinas, até a profundidade final que é recomendada de cinquenta metros.

A perfuração deverá interceptar a(s) fratura(s), pois nelas é onde se encontra as águas subterrâneas em meio cristalinos. Ao final da perfuração em uma ficha específica o sondador anotar os dados do poço como vazão de vertedouro e as entradas de águas. O poço apresentando positividade, programa-se ,então a execução do teste de produção. Esse teste de produção, cujo procedimento segue o da CDRM, está detalhado no sub-ítem 5.2.1.

Então, com a conclusão do teste vazão se obtém os parâmetros como:

- Nível estático (NE) – nível ao qual o poço encontra-se em repouso;
- Nível dinâmico (ND) – nível medido após o primeiro minuto do bombeamento.

Essas medidas vão sendo executadas obedecendo a uma tabela específica Figura 6.2

- O rebaixamento do teste de produção (Sw) – é a diferença entre o nível dinâmico e o nível estático;

- A vazão do teste (Q) – corresponde à vazão final do teste de produção, no caso exemplificado a unidade encontra-se em litros por hora;

- A vazão específica (Q/Sw) – representa à vazão do teste de produção (Q) em litros por hora dividida pelo o rebaixamento (Sw) em metros, medidas essas aferidas no último minuto do teste de vazão;

Do número de poços inicialmente analisados, foram selecionados, em primeira análise 205 poços que continham uma vasta gama de informações hidrogeológicas, pois nas fichas dos demais poços faltavam informações de parâmetros hidrodinâmicos ou georreferenciamento.

A documentação e os dados levantados foram organizados na forma de um banco de dados com os poços georreferenciados. Nesse banco de dados constam informações sobre, o nome da localidade onde cada poço está situado dentro do respectivo município, nome do proprietário da terra e as características dos parâmetros hidrodinâmicos de poços tubulares disponíveis no banco de dados.

5.2 – Conceitos e Definições do Método

5.2.1 – O Teste de Produção

Os testes de bombeamento para obtenção das vazões de exploração dos poços no cristalino baseiam-se, fortemente, naqueles efetuados pela CDRM. A perfeita compreensão desses testes, cujo desenvolvimento será, em seguida, explicitado, se faz necessária para o entendimento das análises e dos resultados.

Inicialmente para se realizar o teste de produção é essencial que o operador tenha conhecimento da vazão de vertedouro e qual a profundidade da fratura mais produtora, parâmetros esses fornecido pelo sondador. Diante do exposto inicia-se o teste de produção primeiramente medindo-se o nível estático e a profundidade do poço e em seguida prossegue-se de acordo com a cronologia indicada na Figura 5.2. Nesta, a coluna (1) representa o tempo em hora do início ao término do teste de produção. A coluna (2) corresponde ao tempo em minuto em uma sequência cronológica pré-determinada, onde para cada parâmetro hidrodinâmicos das colunas (3), (4), (5) e (6) existe uma relação direta com o tempo da coluna (2).

Em seguida, e imediatamente após o término do teste de produção, inicia-se a recuperação. A recuperação é executada medindo-se o nível dinâmico do poço (coluna 7), por um período de uma hora. Após esse tempo, calcula-se o rebaixamento residual da recuperação, coluna 8 da Figura 5.2. Com esses parâmetros hidrodinâmicos calcula-se a capacidade específica extrapolada.

HORA	T (min)	ND (m)	S (m)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /h/m)	RECUPERAÇÃO			
						T (min.)	ND(m)	S(m)	ib+1
06:31	1	13,885	8,885	7,200	0,810	1	24,670	19,670	721,0
06:32	2	18,650	13,650	6,171	0,452	2	23,670	18,670	361,0
06:33	3	21,245	16,245	4,468	0,275	3	22,670	17,670	241,0
06:34	4	22,535	17,535	3,410	0,194	4	21,480	16,480	181,0
06:35	5	23,210	18,210	2,090	0,114	5	20,710	15,710	145,0
06:36	6	23,545	18,545	1,800	0,097	6	19,770	14,770	121,0
06:38	8	23,595	18,595	1,800	0,096	8	18,145	13,145	91,0
06:40	10	23,725	18,725	1,800	0,096	10	16,595	11,595	73,0
06:45	15	23,805	18,805	1,800	0,095	15	13,030	8,030	49,0
06:50	20	24,150	19,150	1,730	0,090	20	10,580	5,580	37,0
06:55	25	24,320	19,320	1,384	0,071	25	9,010	4,010	29,8
07:00	30	24,415	19,415	1,384	0,071	30	8,055	3,055	25,0
07:10	40	24,440	19,440	1,384	0,071	40	7,345	2,345	19,0
07:20	50	24,665	19,665	1,384	0,070	50	6,950	1,950	15,4
07:30	60	24,850	19,850	1,384	0,069	60	6,710	1,710	13,0
07:40	70	24,910	19,910	1,384	0,069	70	-	-	-
07:50	80	25,000	20,000	1,384	0,069	80			
08:10	100	25,065	20,065	1,384	0,068	100			
08:30	120	25,190	20,190	1,384	0,068	120			
09:00	150	25,255	20,255	1,384	0,068	150			
09:30	180	25,255	20,255	1,343	0,066	180			
10:30	240	25,255	20,255	1,285	0,063	240			
11:30	300	25,255	20,255	1,285	0,063	300			
12:30	360	25,385	20,385	1,285	0,063	360			
13:30	420	25,530	20,530	1,285	0,062	420			
14:30	480	25,610	20,610	1,285	0,062	480			
15:30	540	25,675	20,675	1,285	0,062	540			
16:30	600	25,680	20,680	1,285	0,062	600			
18:30	720	25,690	20,690	1,285	0,062	720			
-	840	-	-	-	-				
	960								
	1080								
	1200								
	1320								
	1440								

TESTE EXECUTADO POR : CDRM
 DATA: 08,10,87 À 08,10,86
 NE: 5,000 m ND: 25,690 m
 Q: 1,285 m³/h CRIVO: 33,0 m
 EQUIPAMENTO: Compressor

Figura 5.2 – Formulário preenchido com os parâmetros hidrodinâmicos de um poço tubular.

Traça-se, então, uma reta sobre estes, conforme mostra a figura citada.

Para a realização do cálculo da vazão extrapolada, primeiramente plotam-se os valores da capacidade específica versus tempo, em um papel mono-log. Os pontos mostram um decaimento da vazão específica segundo uma curva característica, cujo último trecho tende a ser retilíneo. Em seguida lança uma reta sobre os últimos pontos plotados, fazendo com que essa reta sobreponha o maior número de pontos possíveis. Essa reta deve prolongar-se até o ponto correspondente ao, quarto dia. Daí então se traça uma reta paralela ao eixo da abscissa até encontra o eixo da ordenada, determinando, portanto a capacidade específica extrapolada.

Observa-se no quadro sobre a Figura 5.3 que a vazão específica extrapolada (Q/S_w) apresenta um valor de $0,106 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, significando que essa vazão foi extrapolada para mais de quatro dias, pois para um período de quatro dias a vazão específica extrapolada é de $0,12 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Para a metodologia usada neste trabalho as vazões específicas foram todas determinadas para quatro dias.

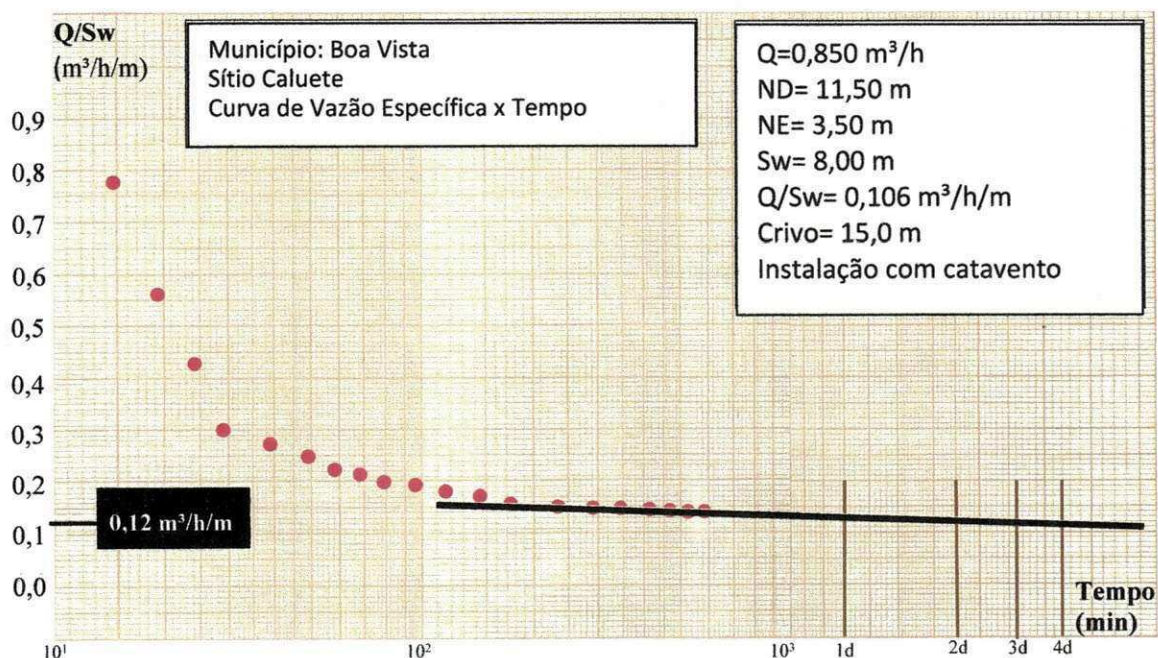


Figura 5.3 – Curva da vazão específica versus tempo.

5.2.2 – A vazão extrapolada

O cálculo da vazão extrapolada é uma etapa intermediária no processo de obtenção da vazão de exploração, diferentemente do método empregado pelos hidrogeólogos da CDRM que considera como sendo a vazão de exploração.

Para se calcular a vazão extrapolada multiplica-se a capacidade específica extrapolada pelo o valor final do rebaixamento do teste de produção, que será obtida através da equação 5.1.

$$Q_{extr} = Q / S_{extr} \times S_{teste} \quad \text{Eq.5.1}$$

Onde:

- Q_{extr} – Vazão extrapolada em (m^3/h);
- Q/S_{extr} – Capacidade específica extrapolada ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$);
- S_{teste} – Rebaixamento do teste de produção (m).

É importante salientar que o valor da capacidade específica extrapolada será sempre inferior ou no máximo igual à capacidade específica do teste, pois a vazão específica tende a cair (Figura 5.3) ou estabilizar-se ao longo do teste. (Figura 5.4)

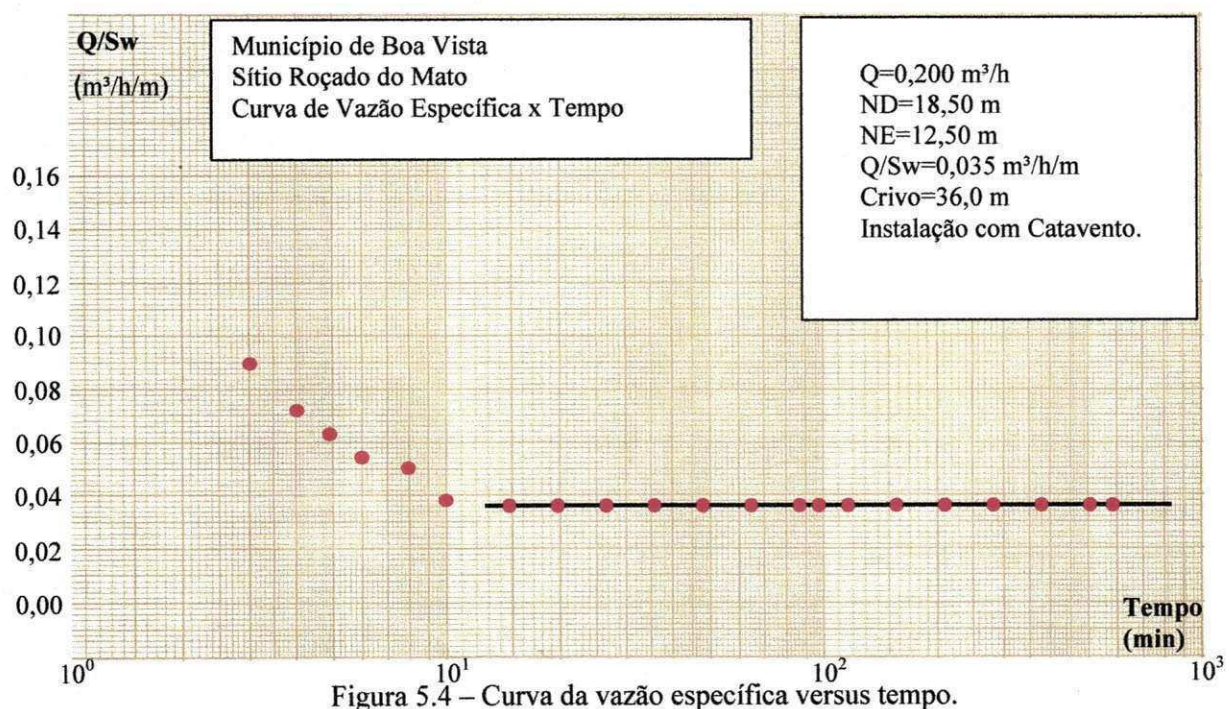


Figura 5.4 – Curva da vazão específica versus tempo.

A análise mais aprofundada da amostra de 205 poços constatou falta de informações ou inconsistência dos dados relacionados à pesquisa, provocando a eliminação de algumas fichas, resultando numa amostragem final de 148 poços Figura 5.5.

Para todos os poços da amostra, foram calculadas as respectivas vazões extrapoladas conforme a metodologia explicitada, isto é, considerando a vazão específica extrapolada para quatro dias Anexo 2.

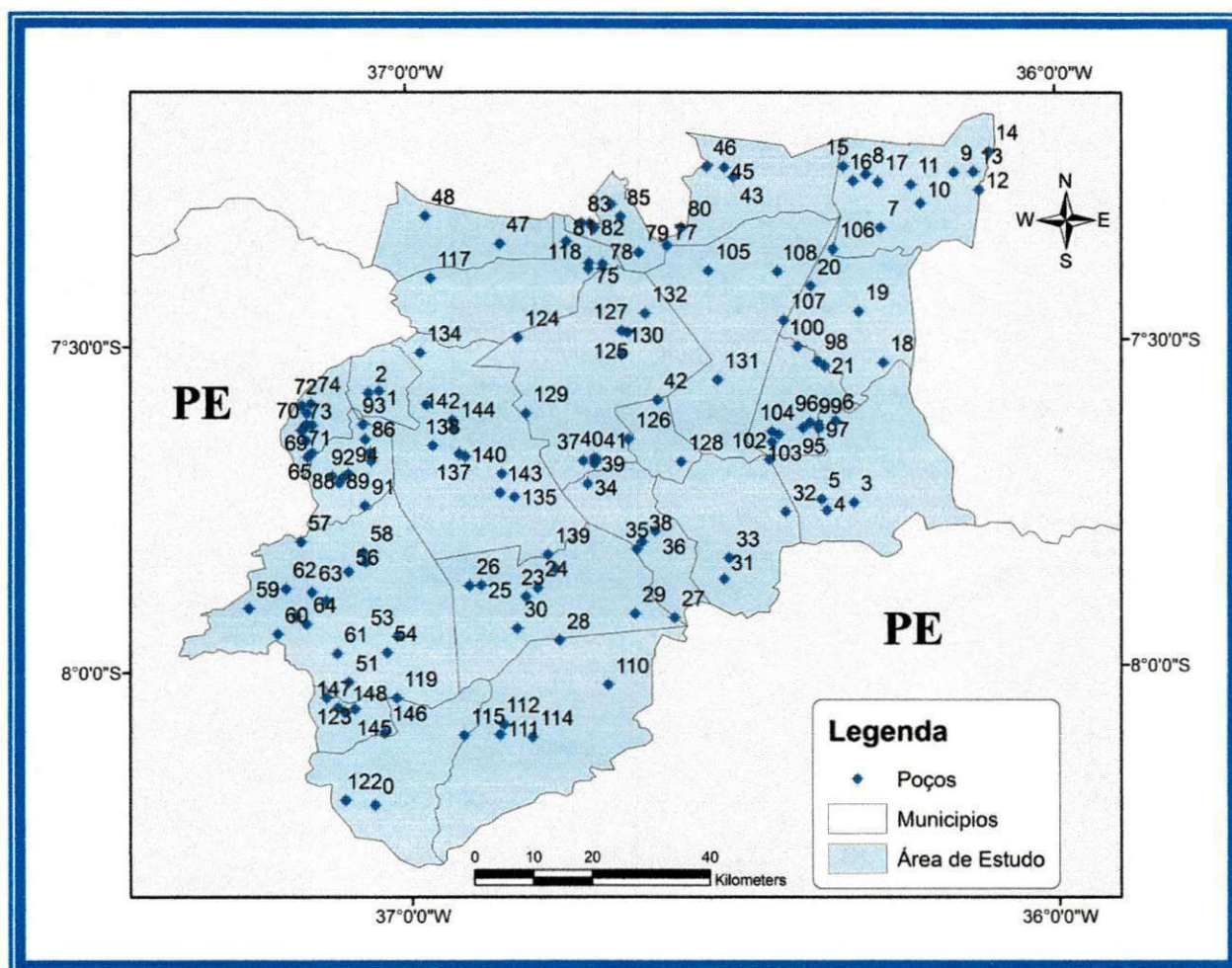


Figura 5.5 Inserção dos poços georreferenciados na área de estudo.

5.2.3 – O percentual de recuperação

Após o término do teste de produção inicia-se a recuperação medindo o nível dinâmico (coluna 7) da Figura 5.2, até a conclusão do período de uma hora. Em seguida calculam-se os rebaixamentos correspondentes a cada instante de observação durante o teste de recuperação, através da equação 5.2 (coluna 8 na Figura 5.2).

$$S_r = ND - NE \quad \text{Eq.5.2}$$

Onde:

S_r – rebaixamento da recuperação;

ND – nível dinâmico da recuperação;

NE – nível estático.

Ao rebaixamento medido no último instante do teste, isto é, aos 60 minutos após iniciada a recuperação dos níveis no poço, denomina-se, no método ora proposto, rebaixamento residual da recuperação, S_{rr} .

Observando a Figura 5.2 identifica-se que o valor do rebaixamento residual da recuperação, corresponde a 1,71 metros. Isto significa que para a recuperação total do poço, ficou faltando 1,71 metros.

O rebaixamento residual da recuperação é empregado para a obtenção de um parâmetro fundamental da metodologia desenvolvida nesta pesquisa para a determinação da vazão de exploração. Trata-se do Percentual de Recuperação, calculado pela expressão abaixo (Eq. 5.3).

$$R(\%) = \frac{S - S_{rr}}{S} \quad \text{Eq.5.3}$$

Onde:

- $R(\%)$ – percentual da recuperação;
- S – rebaixamento final do teste de produção;
- S_{rr} – rebaixamento residual da recuperação.

O (S) usado na equação 5.3 corresponde à última medida do teste de produção, ou seja, o valor do rebaixamento do teste de produção aos 600 minutos, enquanto o (S_{rr}), conforme acima explicitado, é a última medida que ocorre aos 60 minutos (término) da recuperação.

Usando os dados contidos na Figura 5.2, onde o rebaixamento final do teste foi de 20,69 metros (coluna 3) e o rebaixamento residual da recuperação de 1,71 metros, (coluna 8) obtém-se, empregando a equação 5.3, algo em torno de 92% para o percentual da recuperação.

5.2.4 – A Vazão Extrapolada Ajustada

Após vários refinamentos dividiu-se a amostra de 148 poços entre quatro intervalos do percentual de recuperação, mostrados na primeira coluna do Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Relação dos intervalos do Percentual de Recuperação com as respectivas equações da reta.

PERCENTUAL DE RECUPERAÇÃO	EQUAÇÕES
0,0% a 50%	$Y = 0,7773X - 0,0747$
51% a 80%	$Y = 0,9535X - 0,3097$
81% a 95%	$Y = 0,90555X + 0,053$
96% a 100%	$Y = 0,9504X - 0,0664$

Para cada intervalo relativo ao percentual de recuperação confeccionou-se um gráfico, onde no eixo da abscissa apresentam-se os valores da vazão de teste de produção e no eixo da ordenada estão representados todos os valores da vazão extrapolada que foi determinada a partir da capacidade específica extrapolada para quatro dias.

Através desse gráfico ajustou-se a equação da reta relativa ao intervalo correspondente, conforme se pode observar na Figura 5.6. Para cada intervalo de percentual de recuperação tem-se uma equação da reta correspondente.

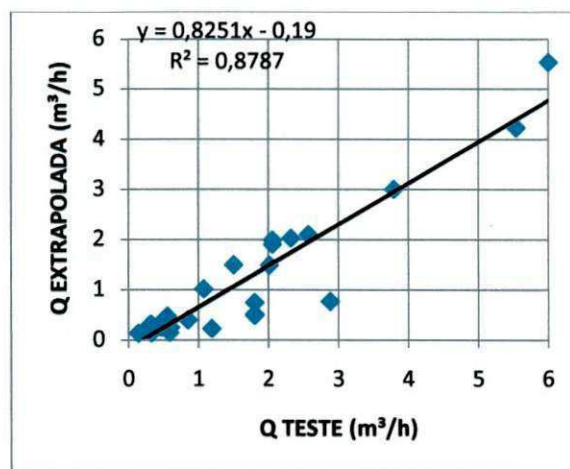


Figura 5.6 – Relação da vazão de teste com a vazão extrapolada para o intervalo de recuperação de 0,0% a 64%.

Denomina-se Vazão Extrapolada Ajustada à vazão extrapolada calculada através da equação da reta de cada intervalo de percentual de recuperação. Assim, na equação correspondente, substituindo-se 'x' pelo valor da vazão de teste de cada poço obtém-se a Vazão Extrapolada Ajustada.

5.2.5 – O Desvio Negativo Médio

O Desvio Negativo Médio é outro importante parâmetro introduzido nesta metodologia e de bastante relevância para determinação da vazão de exploração. O desvio negativo é tomado como a diferença entre a vazão extrapolada medida e a vazão extrapolada ajustada, quando esta for menor do que aquela, produzindo, assim, um valor negativo.

O Desvio Negativo Médio será a média dos desvios negativos, dada pela seguinte expressão:

$$\Delta = \sum v^* / n^*; \quad \text{Eq.5.4}$$

Sendo:

Δ - Desvio negativo médio;

v^* - desvio negativos;

n^* - Quantidade de desvios negativos no intervalo de Percentual de Recuperação considerado.

5.2.6 – A Reta de Exploração

O ponto culminante do método está no uso da reta de exploração, que irá relacionar diretamente a vazão de teste de produção com a procurada vazão de exploração do poço.

A reta de exploração é determinada acrescentando-se aos termos da equação da vazão extrapolada ajustada o desvio negativo médio.

Essa reta de exploração sempre estará abaixo da reta da vazão extrapolada ajustada, visto que se diminui (Δ) da equação da reta $y=ax+b$, para cada intervalo proposto, resultando numa expressão do tipo $y= ax+b-(\Delta)$.

Este procedimento metodológico reflete um modelo para as condições de ocorrência e fluxo de água subterrânea encontradas nas fissuras do cristalino da região estudada, modelo este caracterizado pela pouca capacidade tanto de armazenamento como de circulação. Assim sendo, as vazões de exploração praticadas em poços neste aquífero devem ser tanto mais garantidas quanto mais baixas sejam.

Por isso, o método prevê, a favor da segurança, vazões de exploração sempre inferiores às vazões de teste de bombeamento atingidas no poço considerado. O desvio negativo médio, determinado através da análise estatística dos dados de poços da região, é uma medida empírica dessa defasagem entre as duas vazões.

O capítulo seguinte descreve e discute os resultados das atividades realizadas durante o desenvolvimento do método. Atividades essas que tiveram por objetivo, conforme inúmeras vezes já ressaltadas, a determinação das vazões de exploração dos poços, nos aquíferos fraturados em rochas cristalinas, da área de estudo.

6.0 – ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados são advindos da investigação realizada com o intuito de se determinar a vazão de exploração de maneira simples, rápida e eficiente dos poços tubulares, que estão assentados em parte do cariri ocidental.

6.1 – A Distribuição de Frequência do Percentual de Recuperação

Os primeiros resultados surgiram a partir do entendimento dos conceitos do rebaixamento do teste de produção e conseqüentemente do rebaixamento residual da recuperação, ou seja, da recuperação do nível da água, após uma hora do término do teste de vazão. Diante disso, obteve-se inicialmente o percentual de recuperação para cada poço de um total de 162, utilizando a equação 5.3 da metodologia proposta neste trabalho.

No Quadro 6.1 de distribuição de freqüências do Percentual de Recuperação pode-se visualizar que, a amostra foi, inicialmente, dividida em treze classes, sendo estas relacionadas com os respectivos números de poços.

Quadro 6.1 – Distribuição de freqüências do Percentual de Recuperação

CLASSES	% RECUPERAÇÃO		FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FREQUÊNCIA ACUMULADA
	Inferior	Superior			
1,00	0,09	0,16	1	0,01	0,01
2,00	0,16	0,23	2	0,01	1,84%
3,00	0,23	0,30	1	0,01	2,46%
4,00	0,30	0,37	6	0,04	6,14%
5,00	0,37	0,44	6	0,04	9,82%
6,00	0,44	0,51	5	0,03	12,89%
7,00	0,51	0,58	7	0,04	17,18%
8,00	0,58	0,65	4	0,02	19,64%
9,00	0,65	0,72	14	0,09	28,22%
10,00	0,72	0,79	6	0,04	31,91%
11,00	0,79	0,86	28	0,17	49,08%
12,00	0,86	0,93	30	0,18	67,49%
13,00	0,93	1,00	52	0,32	99,39%

Na Figura 6.1, vê-se o histograma de freqüência absoluta, onde as três últimas classes representam mais de sessenta por cento da amostra, indicando que os poços tubulares estudados apresentam, em geral, um elevado percentual de recuperação.

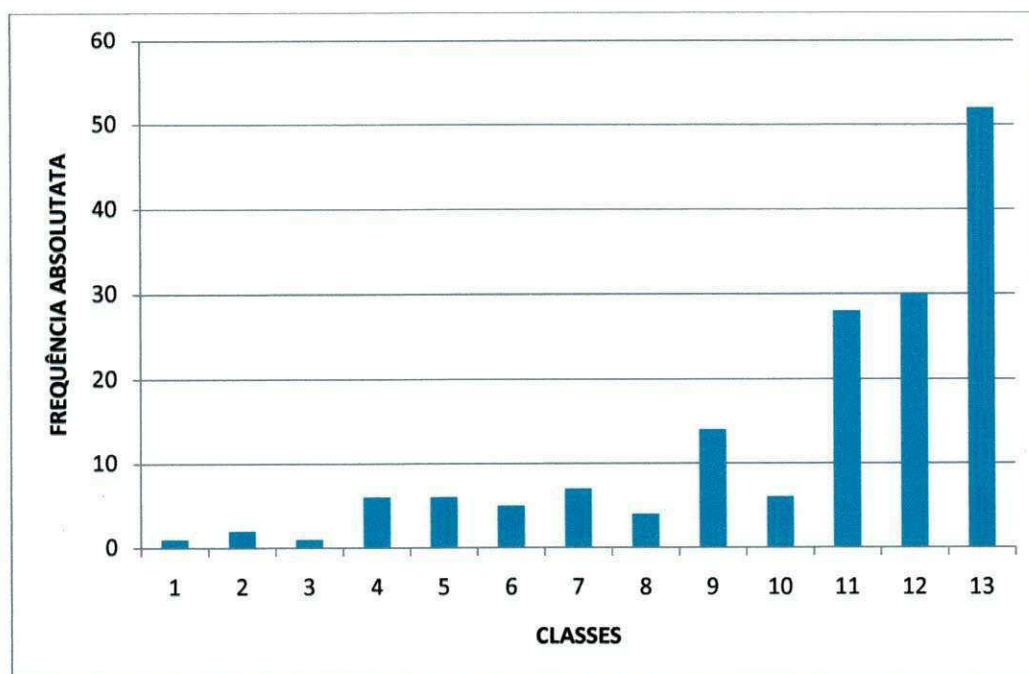


Figura – 6.1– Histograma de frequência absoluta dos 162 poços.

Esta análise do histograma de frequência absoluta mostrou a necessidade de fusão de algumas classes de frequência e levaram à distribuição dos 162 poços em quatro intervalos de percentual de recuperação, quais sejam: 0 a 50%, 51% a 79%; 80% a 93% e 0,94% a 1,00 %. Assim sendo, o primeiro intervalo ficou com um total de 21 poços e os outros três intervalos os limites, com 35, 57 e 49 poços tubulares respectivamente, totalizando 162.

6.2 – Análise da Vazão de Exploração das Fichas de Poços (método CDRM)

Na primeira tentativa de encontrar uma relação objetiva entre o percentual de recuperação e a almejada vazão de exploração utilizou-se a própria vazão de exploração das fichas de poços, definidas pelo método da CDRM, que, como já foi dito, contém elevado grau de subjetivismo.

Nas tabelas 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4, que correspondem, respectivamente, aos quatro intervalos de percentual de recuperação acima definidos, estão os valores das vazões: de teste de bombeamento; extrapolada para quatro dias e de exploração pelo método CDRM.

Os dados constantes nessas tabelas subsidiaram a confecção dos gráficos de dispersão linear, comparando as vazões extrapoladas versus vazões exploradas e vazões de teste versus vazões exploradas.

Na tabela 6.1 observa-se que, em vários casos, como, por exemplo, os poços de número 30, 145, 88, apresentam vazões de exploração superiores às vazões de teste, o que não se espera que possa ocorrer, pois a vazão extrapolada medida para quatro dias é menor ou, no máximo igual à vazão de teste e os percentuais de recuperação deste grupo são muito pequenos, tudo isso indicando poço de baixa vazão.

Outra análise que se pode verificar é com relação ao poço de número 11, este apresenta a vazão extrapolada medida semelhante à vazão de exploração. Deduz-se, para o caso, que a interpretação do geólogo foi de considerar a vazão de exploração igual à vazão extrapolada medida. Não se sabe como foi considerado o percentual de recuperação, de 17%, na definição da vazão de exploração.

Tabela 6.1 – Percentual da recuperação para o intervalo 0,0% a 50%

POÇO Nº	%RECUPERAÇÃO	Q TESTE (m ³ /h)	Q EXTRAPOLADA (m ³ /h)	Q EXPLOTAÇÃO (m ³ /h)
30	9	0,585	0,157	0,600
11	17	0,847	0,407	0,400
145	19	1,800	0,750	1,000
107	28	2,880	0,770	1,000
71	31	1,074	1,020	0,400
55	31	0,325	0,175	0,300
140	32	0,600	0,260	0,500
6	35	2,057	1,907	1,600
131	36	0,300	0,840	0,200
104	36	0,553	0,476	0,400
103	38	2,057	1,550	1,800
126	39	0,327	0,144	0,200
75	40	0,521	0,425	0,300
2	41	9,000	5,510	5,600
88	42	3,600	1,630	2,000
78	44	14,400	11,265	10,000
139	45	1,800	0,520	1,500
127	47	0,300	0,300	0,200
79	50	0,500	0,411	0,400
100	50	0,313	0,313	0,300
26	50	2,011	1,490	1,000

Na tabela 6.2 são identificados quais os poços que pertencem ao intervalo, 51 % a 79%, assim como, o percentual de recuperação, as vazões de teste, extrapolada e de exploração.

Nesta Tabela 6.2 identifica-se os poços de números 19, 45, 82 e 16 os quais se apresentam com vazões de teste idênticas as vazões extrapolada medida. Neste caso, verifica-se que o nível dinâmico e a vazão de teste se estabilizaram nas últimas medidas do teste de produção. Com relação ao poço de número 22, observa-se que a vazão de

exploração de 4,0 m³/h é muito superior as demais vazões relacionadas na Tabela 6.2, o que se pode deduzir que não houve nenhum critério para a determinação dessa vazão de exploração.

Tabela 6.2 – Percentual da recuperação para o intervalo 51% a 79%.

POÇO N°	%RECUPERAÇÃO	Q TESTE (m ³ /h)	Q EXTRAPOLADA (m ³ /h)	Q EXPLOTAÇÃO (m ³ /h)
68	53	1,188	0,233	0,800
19	55	0,140	0,140	0,200
39	56	10,285	7,700	5,000
45	56	0,319	0,319	0,200
44	57	3,789	3,789	2,400
65	57	1,800	0,496	1,000
106	57	2,000	1,460	1,500
20	61	6,000	5,540	4,000
22	65	2,322	2,030	4,000
152	65	1,565	1,550	0,800
121	65	0,698	0,555	0,500
59	66	1,333	0,264	0,600
38	67	0,428	0,238	0,300
62	67	1,333	0,264	0,600
13	68	1,600	0,675	1,000
135	68	0,390	0,370	0,350
108	68	5,538	4,234	4,000
82	69	7,200	7,200	4,200
111	71	3,789	3,750	2,500
69	72	0,361	1,130	0,200
105	72	2,057	1,990	1,600
15	72	1,014	0,909	0,850
42	74	9,000	9,000	6,000
156	76	2,737	1,910	1,000
118	76	4,500	4,200	5,000
76	78	2,880	2,760	2,200
148	78	0,935	0,935	0,500
16	79	0,750	0,750	0,400
3	79	3,600	3,234	3,000
53	79	6,000	5,580	5,000
86	79	1,846	0,744	1,200
25	79	12,203	11,730	5,000

Com relação à tabela 6.3, o poço de número 132 apresenta a vazão de exploração de 0,200 m³/h, muito inferior as vazões de teste e extrapolada. Pode-se concluir que não houve nenhum discernimento plausível para determinar a vazão de exploração. Na mesma tabela, o poço de número 136, apresenta vazão de teste, extrapolada e de exploração iguais (0,200 m³/h), analogamente para os poços de números 138 e 101, também acontece a mesma situação ou seja, a vazão de teste, extrapolada e de

exploração são idênticas com 0,300 m³/h e 1,500 m³/h respectivamente. Neste caso, deduz-se que a determinação da vazão de exploração acompanhou as outras vazões, visto que quando se determinou a vazão extrapolada, observou-se que a mesma era igual a vazão do teste , portanto não justificando alterar a vazão de exploração.

Tabela 6.3 – Percentual da recuperação para o intervalo 80% a 93%.

POÇO Nº	%RECUPERAÇÃO	Q TESTE (m ³ /h)	Q EXTRAPOLADA (m ³ /h)	Q EXPLORAÇÃO (m ³ /h)
132	080	1,630	1,270	0,200
40	80	1,180	1,150	0,900
153	80	3,000	1,750	1,800
66	80	1,074	0,930	0,600
89	80	0,464	0,260	0,300
136	80	0,200	0,200	0,200
138	81	0,300	0,300	0,300
150	81	3,000	2,000	2,000
17	82	2,400	2,250	1,500
101	82	1,500	1,500	1,500
56	83	0,631	0,631	0,500
122	83	0,346	0,346	0,300
141	83	1,500	0,220	1,000
134	83	1,800	1,670	1,900
116	84	0,857	0,258	1,000
83	84	0,480	0,480	0,400
43	85	1,860	0,705	1,000
85	85	7,200	7,200	4,000
10	85	2,057	1,950	1,000
130	85	1,043	0,670	0,650
96	85	3,789	3,650	2,500
151	86	3,272	2,000	2,500
99	86	1,800	1,690	1,500
146	87	5,142	4,550	3,000
14	87	4,500	4,270	1,500
57	87	1,241	0,520	0,500
119	87	1,200	0,710	1,500
72	87	14,400	8,800	10,000
129	79	5,583	3,000	2,430
117	88	5,583	2,430	3,000
47	88	0,558	0,558	0,400
63	89	1,200	0,900	0,900
50	89	0,360	0,360	0,300
81	89	2,400	2,600	2,000
124	90	0,480	0,480	0,350
91	90	0,800	0,284	0,500
24	90	1,082	1,020	1,000
92	90	0,650	0,650	0,550
114	90	4,000	3,410	2,100
90	0,91	2,181	1,090	2,700

Tabela 6.3 - Continuação

POÇO Nº	%RECUPERAÇÃO	Q TESTE (m ³ /h)	Q EXTRAPOLADA (m ³ /h)	Q EXPLOTAÇÃO (m ³ /h)
64	92	1,600	1,290	1,300
12	92	0,193	0,193	0,200
95	92	0,720	0,720	0,480
144	92	3,333	3,290	0,500
61	92	0,313	0,313	0,300
48	92	1,241	1,241	1,000
29	92	0,409	0,409	0,300
87	92	3,272	3,213	4,500
37	93	7,200	5,620	5,000
112	93	0,436	0,436	0,400
161	93	1,074	1,074	0,800
74	93	0,172	0,148	0,200
60	93	4,800	4,350	5,000

Na tabela 6.4, como era de esperar para poços com elevados percentuais de recuperação, observam-se vários poços tubulares com vazão de teste de produção igual à vazão de exploração. Neste caso, a capacidade específica estabilizou-se no período compreendido do desenvolvimento do teste de produção e durante a recuperação, o rebaixamento residual também se estabilizou. Devido a esse fato há uma tendência do geólogo ao determinar vazão de exploração diminuí-la com relação à vazão de teste, porém essa diminuição é relativamente pequena. Existem poucos casos, em que a vazão de exploração foi determinada como sendo superior a vazão de teste.

Tabela 6.4 – Percentual da recuperação para o intervalo 94% a 100%

POÇO Nº	%RECUPERAÇÃO	Q TESTE (m ³ /h)	Q EXTRAPOLADA (m ³ /h)	Q EXPLOTAÇÃO (m ³ /h)
84	94	2,181	2,181	1,900
125	94	1,090	1,000	0,800
27	94	1,161	0,583	0,600
51	94	0,900	0,900	0,600
54	94	2,285	2,285	2,000
142	94	3,130	3,000	2,790
36	94	3,879	3,789	2,000
93	94	2,400	2,310	3,000
97	94	0,631	0,580	0,500
98	94	1,800	1,740	1,500
49	95	0,654	0,654	0,654
157	95	3,428	3,428	3,000
41	95	2,769	2,640	2,100

Tabela 6.4 – Continuação

POÇO Nº	%RECUPERAÇÃO	Q TESTE (m ³ /h)	Q EXTRAPOLADA (m ³ /h)	Q EXPLOTAÇÃO (m ³ /h)
58	96	0,412	0,196	0,500
115	96	10,285	8,100	8,000
154	96	2,637	2,100	1,000
8	96	4,500	3,900	3,200
31	96	0,986	0,986	0,500
52	96	0,972	0,972	0,600
123	96	1,358	1,290	1,100
160	97	0,360	0,360	0,200
35	97	1,241	1,241	1,000
34	97	8,000	7,710	5,000
67	97	0,200	0,123	0,200
159	97	0,827	0,827	0,500
1	97	1,074	0,193	0,800
109	97	1,241	0,988	1,000
33	97	1,107	1,107	1,000
143	98	1,800	1,723	0,900
110	98	2,000	2,000	2,000
120	98	3,272	3,120	4,000
113	98	1,333	0,620	1,000
46	98	1,104	1,080	0,500
162	98	2,400	2,180	2,200
21	98	1,800	1,800	1,500
158	98	3,600	3,430	2,000
80	99	1,200	1,200	1,000
137	99	1,940	1,945	1,900
149	99	2,482	2,243	2,000
163	99	5,142	5,142	3,000
73	99	1,161	1,135	0,500
23	100	2,181	2,040	1,800
9	100	0,637	0,490	0,500
102	100	5,142	5,000	3,500
155	100	10,285	10,285	6,000

A Figura 6.2 (a), que compara as vazões extrapoladas com as vazões explotadas nos poços com percentual de recuperação entre 0,0 e 50%, mostra um coeficiente de correlação linear superior a 95%, indicando que, apesar das vazões de exploração não apresentarem um padrão metodológico na sua determinação, mesmo assim, a correlação com as vazões extrapoladas foi bastante significativa. Isto também pode revelar é que, o hidrogeólogo ao determinar a vazão extrapolada tende a aceitar esta como vazão de

exploração, ou com valor muito próximo daquela vazão, devido ao percentual de recuperação ser baixo.

Com relação à Figura 6.2 (b), (c) e (d), observa-se que, para os intervalos 51% a 79%; 80% a 93% e 94% a 100%, o coeficiente de correlação linear varia entre 85 % a 92 %, refletindo a interpretação do hidrogeólogo, pois este, sabendo da variação do percentual da recuperação, que para o caso considera-se uma recuperação de média a muito boa, usa os critérios de determinação para a vazão de exploração bastante flexível, não obedecendo a nenhum modelo matemático que possa ser mensurado.

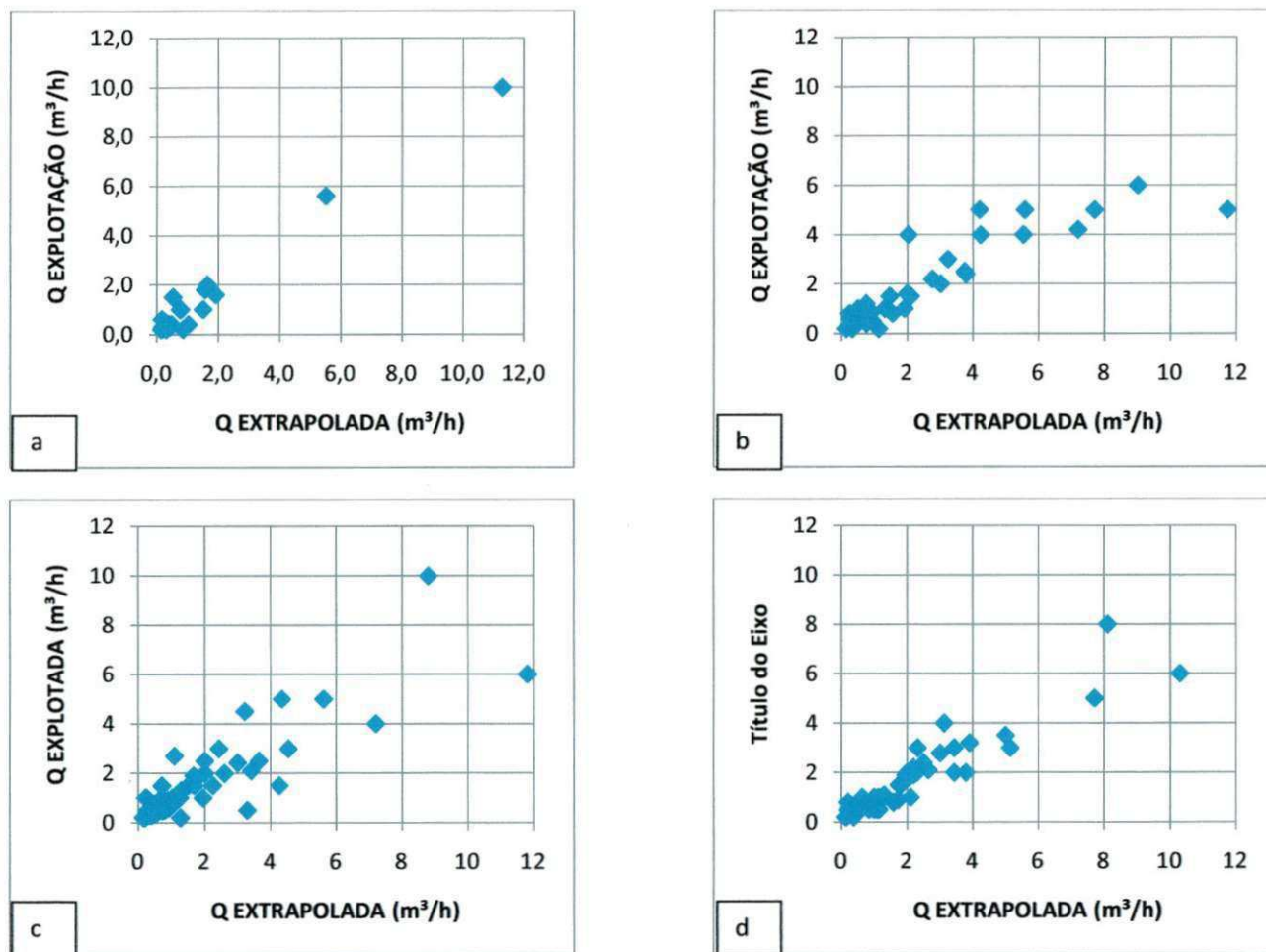


Figura 6.2 – Relação das vazões extrapoladas com as vazões de explotação para os intervalos 0,0% a 50%, 51% a 79%; 80% a 93% e 94% a 100 %.

Na Figura 6.3 (a), que mostra a relação entre a vazão de teste e a vazão de exploração da CDRM, observa-se que devido ao percentual de recuperação dos poços se apresentarem abaixo da média, ou seja, inserido no intervalo 0,0% a 50%, o hidrogeólogo, ao interpretar aqueles dados, opta por determinar a vazão de exploração como sendo próxima da vazão de teste, porém sempre menor, exceto no poço de número 30 (Tabela 6.1).

As Figuras 6.3 (b), (c) e (d) que representam os gráficos que estão contidos nos intervalos 51% a 79 %; 80 % a 93% e 94% a 100% respectivamente, apresenta um coeficiente de correlação linear entre 89% e 94%, inferior ao do intervalo anterior Figura 6.3 (a), que é de 99%; porém ainda elevado. Verifica-se também, na referida Figura que há uma concentração grande de poços tubulares com vazões de teste de produção e vazões de exploração até 4,0 m³/h, provavelmente devido às características relativas aos parâmetros hidrodinâmicos do sistema aquífero cristalino que são peculiares para a região estudada.

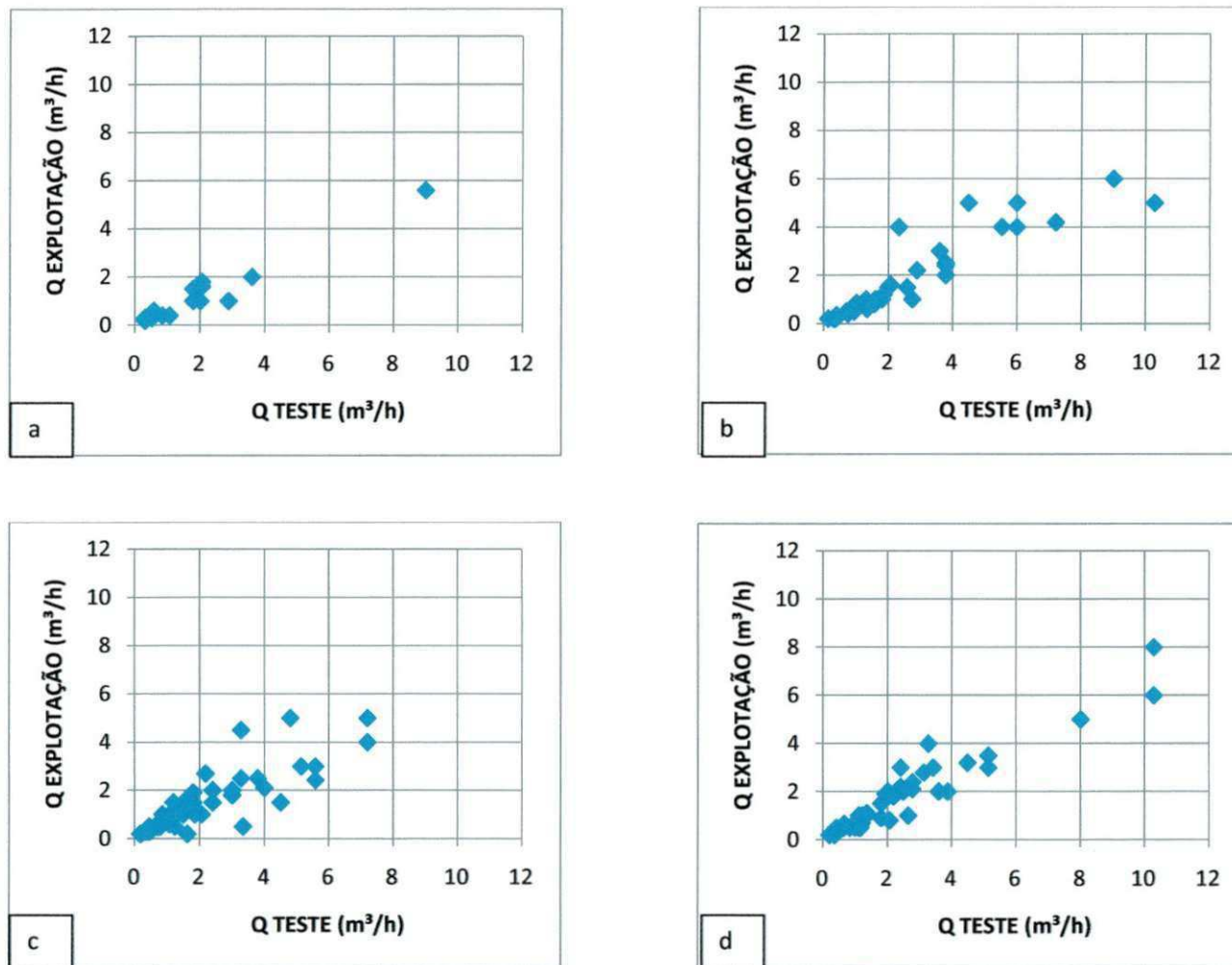


Figura 6.3 – Relação das vazões teste com as vazões de exploração para os intervalos 0,0% a 50%, 51 % a 79%, 80% a 93 % e 94% a 100 %.

Após a análise interpretativa individual agruparam-se as vazões extrapoladas versus vazões de exploração em três tipos de gráficos.

Na Figura 6.4, observa-se que o gráfico de dispersão linear, apresenta uma situação caótica no tocante ao comportamento das retas, pois a reta que representa o intervalo 0,0% a 50%, está situada acima das demais retas, tornando-a inconsistente. Esperava-se encontrar neste local a reta que representa o intervalo entre 94% a 100%, haja vista que os poços que apresentam as melhores recuperações estão inseridos nesta faixa. Portanto, verificou-se que as vazões extrapoladas não representam um parâmetro determinante para as vazões de exploração obtidas pela CDRM.

Alguns poços apresentaram vazões muito afastadas dos demais (Outliers), portanto houve a necessidade de expurgá-los para que estes não interfiram nas análises dos gráficos. Na tabela 6.1, no poço de número 78 a vazão extrapolada é de 11,265 m³/h e a vazão de exploração é da ordem de 10 m³/h, vazão bem acima da média da região e dentro de um intervalo de recuperação baixo (0,0% a 50%), com apenas 44 % do seu nível recuperado.

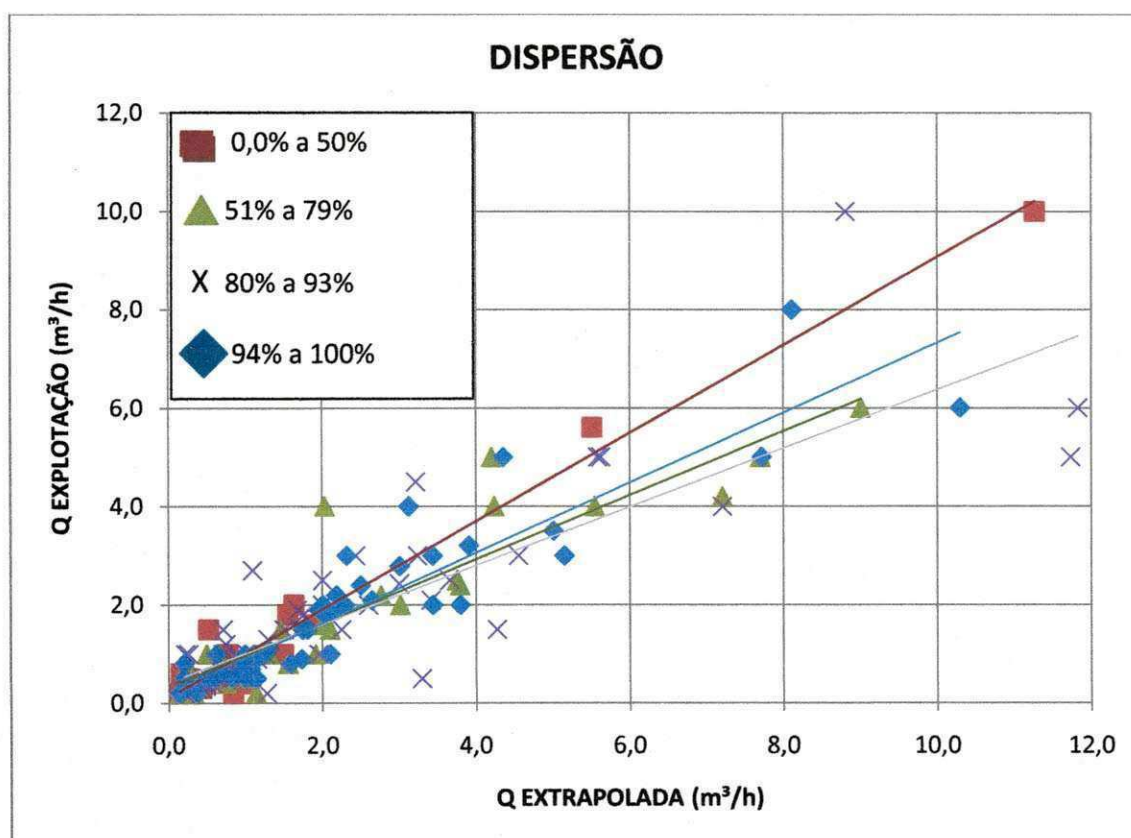


Figura 6.4 – Retas de dispersão para cada intervalo das vazões extrapoladas versus vazões de exploração.

Com relação aos gráficos de linha de tendência polimomial, Figura 6.5 e a linha de tendência exponencial, Figura 6.6, os mesmos apresentam também uma desorganização para as suas curvas, não refletindo, portanto, uma relação das vazões de exploração constantes das fichas dos poços da CDRM com os respectivos percentuais de recuperação.

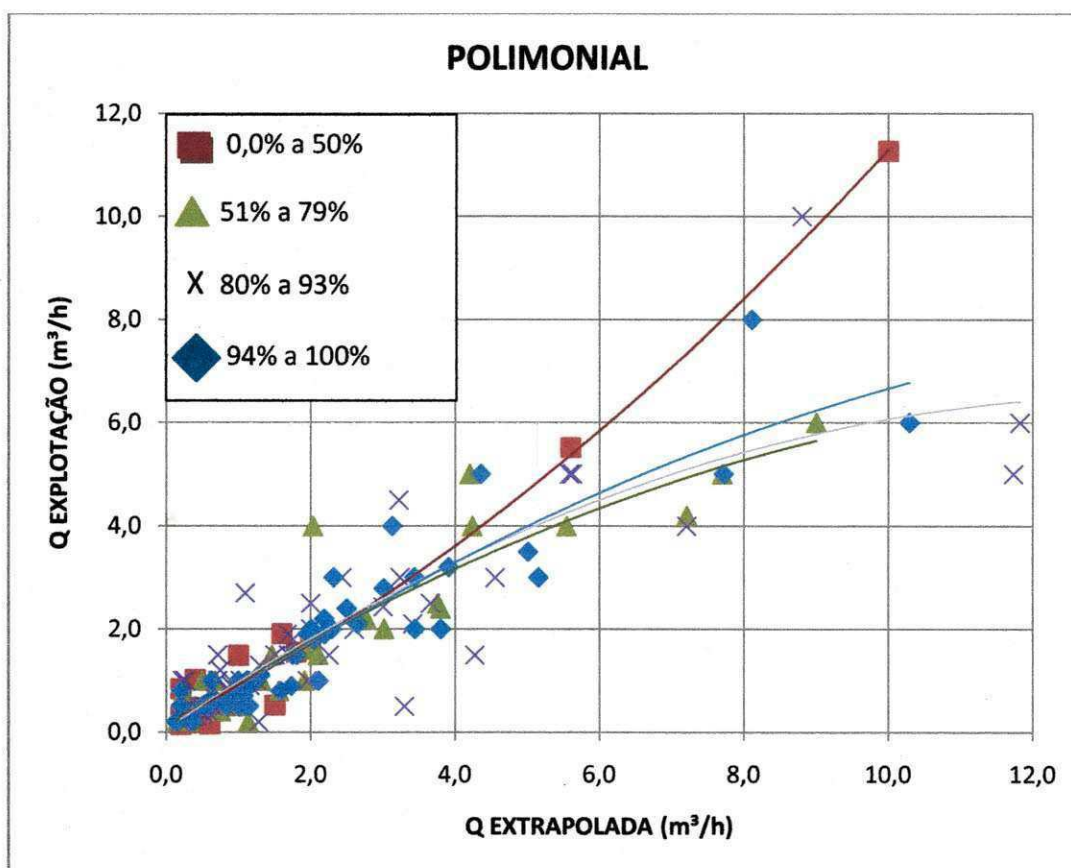


Figura 6.5 – Curvas polimomial desorganizadas para as vazões extrapoladas versus vazões de exploração dentro de cada intervalo pré-determinado.

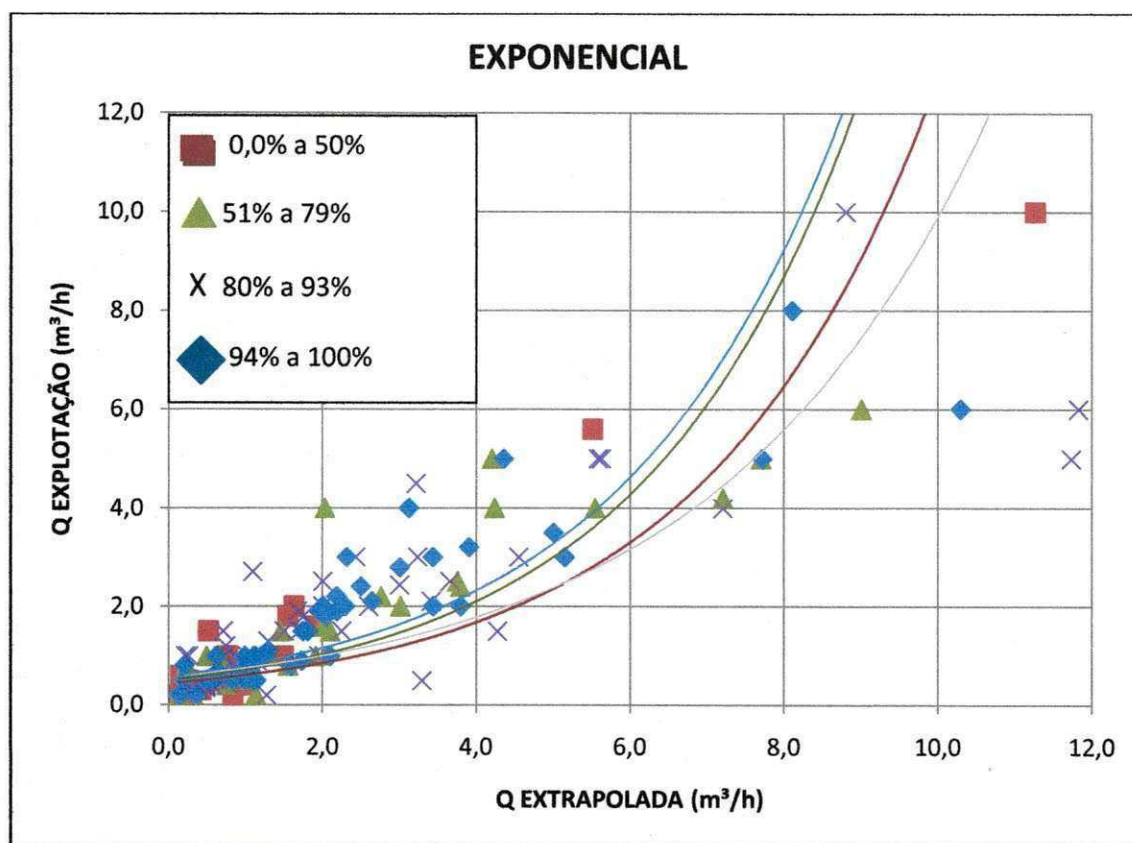


Figura 6.6 - Curvas exponenciais desorganizadas para as vazões extrapoladas versus vazões de exploração dentro de cada intervalo pré-determinado.

A Figura 6.6 vê-se perfeitamente que as curvas dos intervalos (51 % a 79 % e 94% a 100%) são paralelas e as outras duas curvas se cruzam, confirmando que, para o caso em estudo, a linha de tendência exponencial não é indicada para correlacionar essas vazões.

Pode-se concluir das análises acima descritas, que a ausência, no método empregado pela CDRM, de uma relação objetiva para avaliar a influência da recuperação na determinação da vazão de exploração leva ao emprego, pelos hidrogeólogos, de critérios essencialmente subjetivos, com resultados contraditórios e aleatórios.

6.3 - Determinação da Reta da Vazão de Exploração

Novas análises dos dados disponíveis eliminaram mais alguns poucos poços, cujas vazões de teste se afastavam excessivamente da média regional (“outliers”) e, por

isso, com sua presença provocavam excessiva dispersão nos agrupamentos de dados testados.

Na seqüência, dividiu-se a amostra, agora menor, com um total de 148 poços, em novos intervalos de Percentual De Recuperação, agora de mesmo tamanho, quais sejam: 0 a 50%, 51% a 80%, 81% a 95% e 96% a 100%.

Para cada intervalo do percentual de recuperação correspondeu certo número de poços, desse modo para o primeiro intervalo adequou-se 18 poços, em seguida para o outro intervalo apropriou-se 38 poços. Depois, no terceiro, que foi o intervalo de maior representatividade entre eles, com 61 poços; e com 31 poços representou-se o último intervalo.

Como aquelas vazões extrapoladas indicadas nas fichas de poço resultavam de diferentes tempos de extrapolação, adotados, subjetivamente, pelos diferentes técnicos executores dos testes, todas as vazões extrapoladas foram novamente determinadas, sempre através do gráfico da vazão específica versus tempo, mas para um período invariável de quatro dias. Foram descartadas as vazões, cujos valores calculados foram nulos ou próximos a zero, para o dito período de quatro dias.

Usando as vazões de teste de produção e as vazões extrapoladas medidas, confeccionaram-se gráficos relativos a cada intervalo de percentual de recuperação, obtendo-se, através de ajuste estatístico, quatro equações de retas distintas, que podem ser vistas na Figura 6.7.

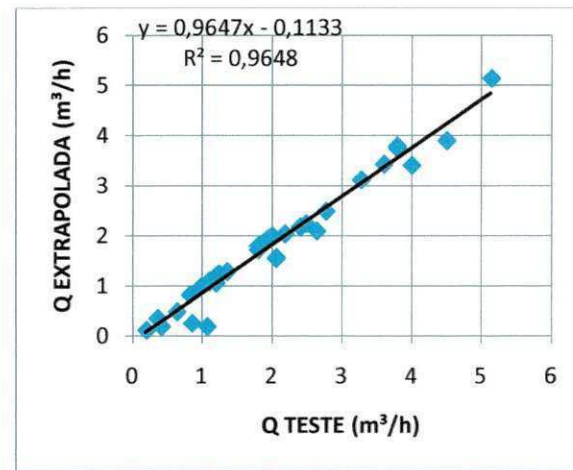
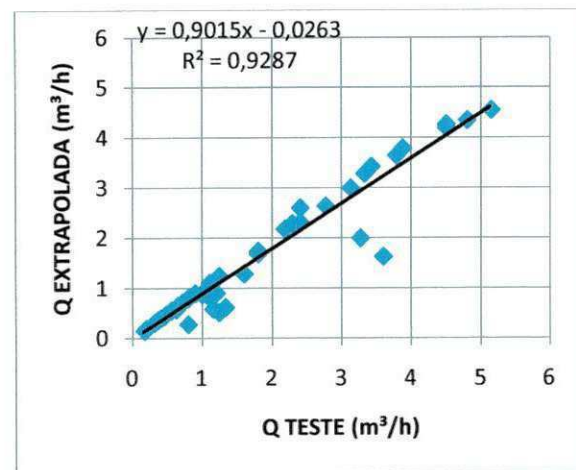
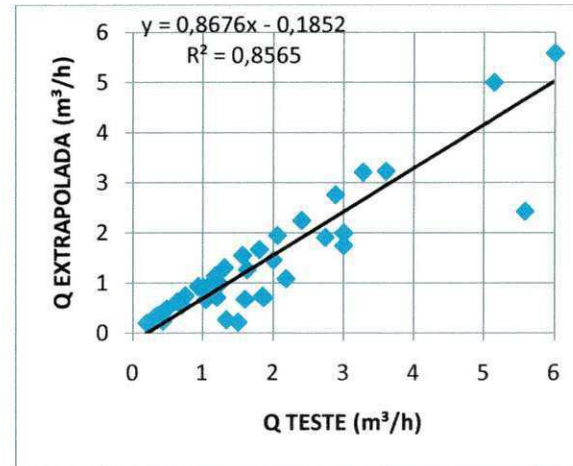
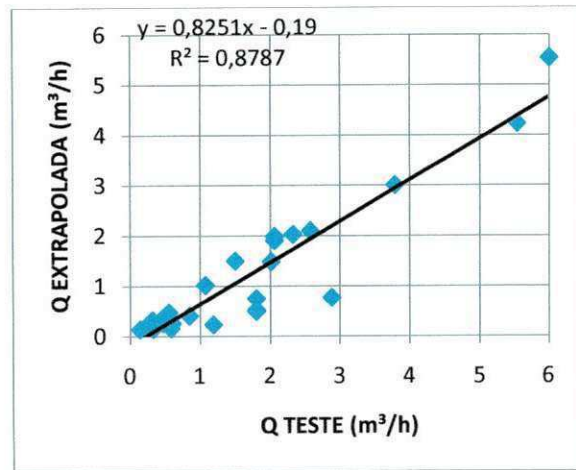


Figura 6.7 – Relação das vazões de testes com as vazões extrapoladas.

A partir dessas equações calculou-se a Vazão Extrapolada Ajustada (item 3.4) para cada poço, dentro do respectivo intervalo de percentual de recuperação.

Com esses resultados determinou-se a diferença entre a vazão extrapolada medida e a vazão extrapolada ajustada, obtendo valores negativos e positivos. Descartando-se os valores positivos, calculou-se o desvio negativo médio (Δ), conforme explicado no sub-item 5.2.5 e na equação 5.4.

No Quadro 6.2 encontram-se as equações com os respectivos intervalos do percentual de recuperação e os desvios médios calculados:

Quadro 6.2– Relação das equações da reta com os respectivos intervalos e o desvio negativo médio.

INTERVALOS PERCENTUAL DE RECUPERAÇÃO	EQUAÇÕES DE AJUSTE DA VAZÃO EXTRAPOLADA	Δ
0,0 % A 50 %	$Y=0,7773X - 0,0747$	0,247
51% A 80%	$Y= 0,9535X - 0,3094$	0,500
81% A 95%	$Y=0,9055X + 0,053$	0,571
96% A 100%	$Y=0,9504X - 0,664$	0,266

O Desvio Negativo Médio (Δ) é empregado para a obtenção da chamada reta de exploração, que, conforme já explicado, resulta de somar este valor do desvio negativo médio aos termos da equação da vazão extrapolada ajustada. No item 5.2.6 do capítulo antecedente encontra-se a fundamentação teórica para este procedimento metodológico.

A seguir exemplifica-se o procedimento do qual resultou a reta de exploração:

A equação para cálculo da vazão extrapolada ajustada no primeiro intervalo é dada por:

$$y=0,7771x-0,0747$$

A equação da reta da vazão de exploração será, portanto:

$$y=0,7771x-0,0747-\Delta;$$

O Desvio Negativo Médio Δ para o primeiro intervalo foi de 0,247;

Portanto a equação da reta de exploração será para o primeiro intervalo:

$$Y=0,7773X - 0,3217$$

Segue um exemplo de aplicação do método.

A vazão de teste do poço número 30, com percentual de recuperação de 9%, portanto classificado no primeiro intervalo, foi de 0,585 m³/h.

Substituindo por este valor o 'x' da equação acima, encontra-se, como vazão de exploração, recomendada pelo método, para este poço, o valor:

$$y=0,133 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Na Figura 6.8 estão representadas gráfica e conjuntamente por duas retas paralelas, as equações das vazões extrapoladas e de exploração, ambas em função da vazão de teste.

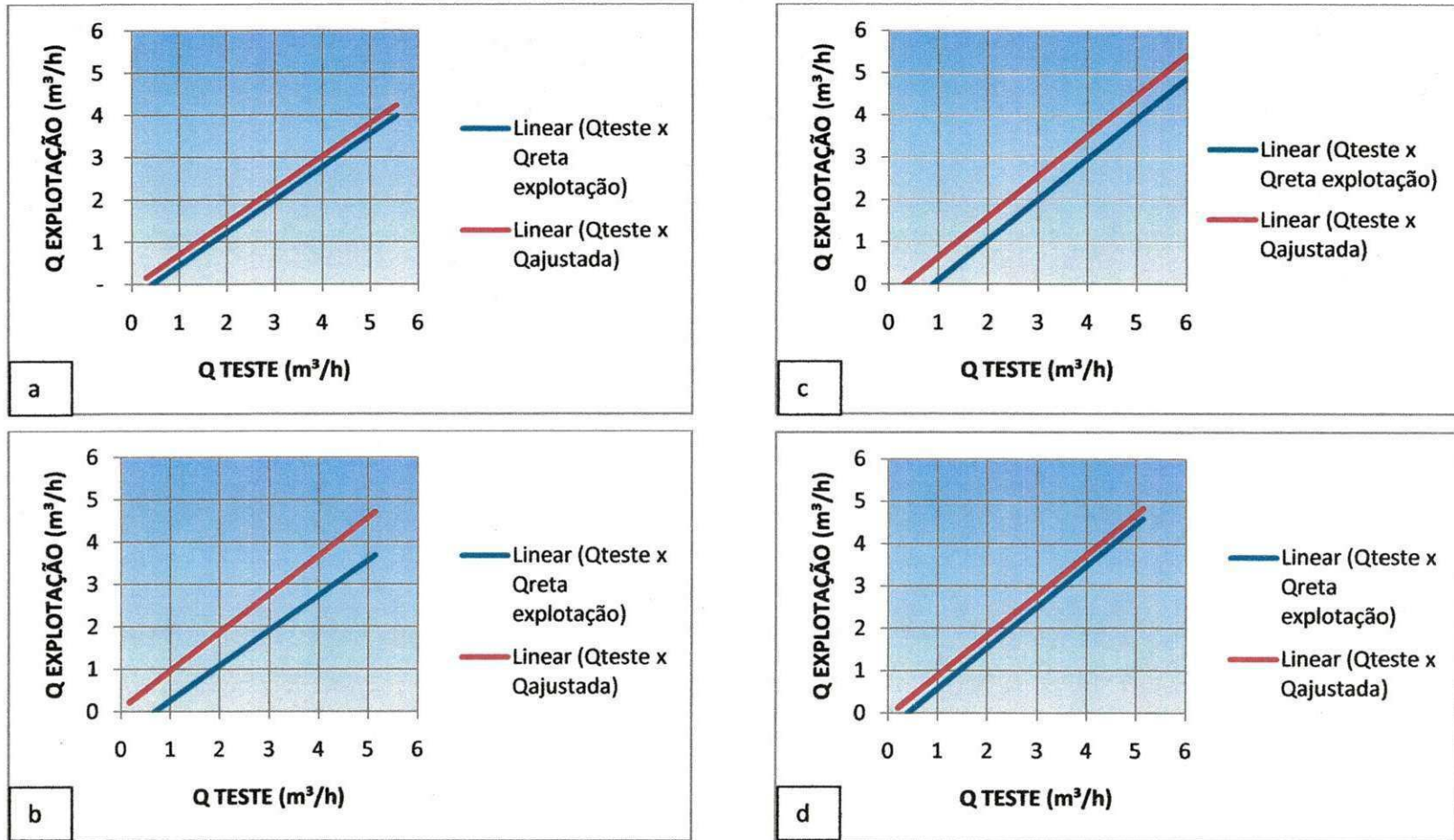


Figura 6.8 - Relação das vazões de teste com as vazões de exploração para os intervalos 0,0% a 50%, 51% a 80%; 81% a 95% e 96% a 100%.

A Figura 6.9 aglutina, em um mesmo gráfico as retas de vazão de exploração para todos os intervalos de percentual de recuperação.

Verifica-se, nessa figura, que a reta de dispersão linear que representa o intervalo entre 95% a 100% reproduz a análise interpretativa mais consistentemente que as demais. Pela sua disposição no gráfico, verifica-se que ao se realizar um teste de produção, se sua vazão de teste for de 4,0 m³/h, então, a vazão de exploração será da ordem de 3,5 m³/h, o que torna esse resultado bastante razoável.

Porém, não se pode afirmar o mesmo com respeito às outras três retas, pois elas se interceptam entre si, fazendo com que certa vazão poderá estar representada em qualquer dessas retas, ou que vazões de poços de recuperação inferiores sejam maiores do que as de poços com melhor recuperação.

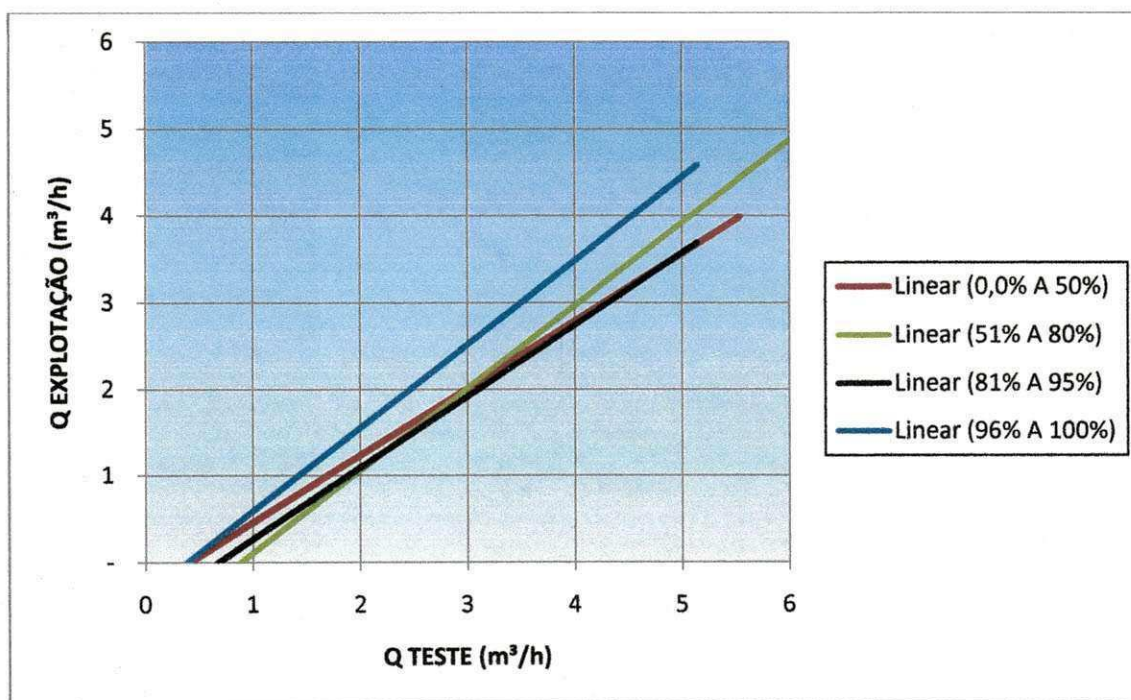


Figura 6.9 – A Reta (azul) que representa o intervalo 96% a 100% é consistente com a vazão de exploração obtida.

Admitindo-se como causa para essa discrepância a concentração de dados em determinados intervalos e a escassez em outros, decidiu-se por realizar uma nova divisão para os intervalos de percentual e recuperação, utilizando-se da mesma amostragem de 148 poços (Anexo 2).

Os novos intervalos de percentual de recuperação foram determinados, considerando o número de poços.

Repetiram-se os mesmos procedimentos que foram realizados quando da conclusão dos resultados da Figura 6.7 e calculou-se novamente a vazão extrapolada ajustada para cada intervalo de percentual de recuperação. Em seguida determinou-se o novo desvio negativo médio.

No Quadro 6.2 encontram-se os intervalos com os respectivos números de poços tubulares e os novos valores dos respectivos desvios negativos médios:

Quadro 6.2 - Intervalos com os respectivos desvios negativo médios e os números de poços.

INTERVALOS DOS PERCENTUAIS DE RECUPERAÇÃO	DESVIO NEGATIVOS MÉDIOS	NÚMEROS DE POÇOS
0,0% A 64%	0,502	27
65% A 84%;	0,628	41
85% A 94% e	0,584	46
95% A 100%.	0,252	34

Com a vazão extrapolada ajustada subtrai-se desta o desvio negativo médio, resultando na reta de exploração.

Na Figura 6.10 semelhante à Figura 6.7, verifica-se a relação entre as retas das vazões extrapoladas e as retas das vazões de exploração, onde essa diferença é o desvio negativo médio. Portanto, vê-se que na, Figura 6.9 (d), é onde se encontra a menor diferença e que aquele intervalo é o que representa os melhores rebaixamentos residuais da recuperação.

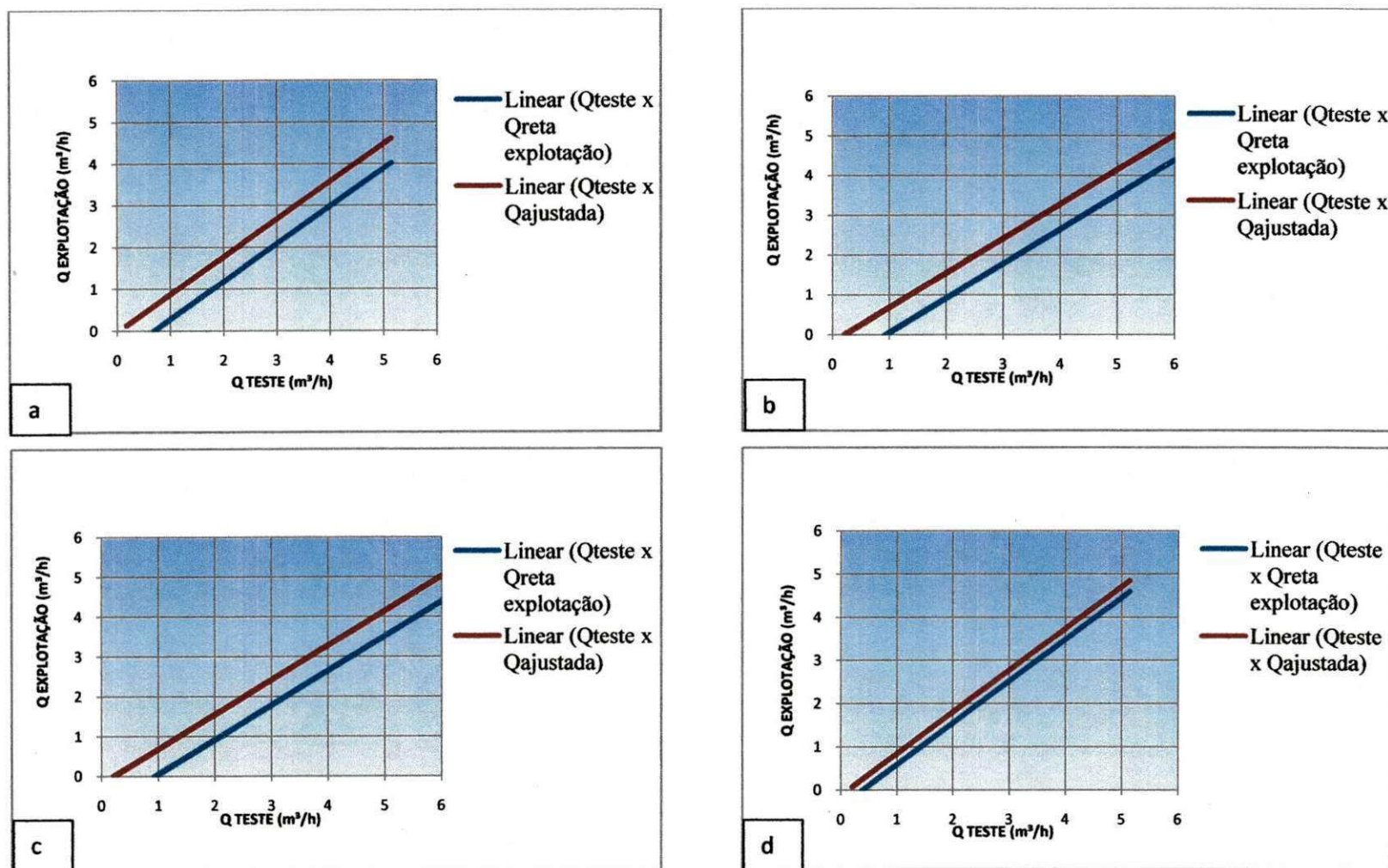


Figura 6.10 - Relação das vazões de teste com as vazões de exploração para os intervalos 0,0% a 64%, 65% a 84%;85% a 94% e 95% a 100%.

Com relação à Figura 6.11, análoga à Figura 6.8, observa-se que, para os dois primeiros intervalos de percentual de recuperação (0,0% a 64% e 65 % a 84%:), as retas se confundem, deste modo qualquer vazão de teste de produção obtida teria uma mesma vazão de exploração. O mesmo não se pode afirmar com relação ao intervalo de percentual de recuperação (85% a 94%) e também para o último intervalo, pois, para cada vazão de teste de produção obtida teremos uma vazão de exploração correspondente, atendendo, assim, aos objetivos desta pesquisa, de encontrar a relação da vazão de teste com o percentual da recuperação.

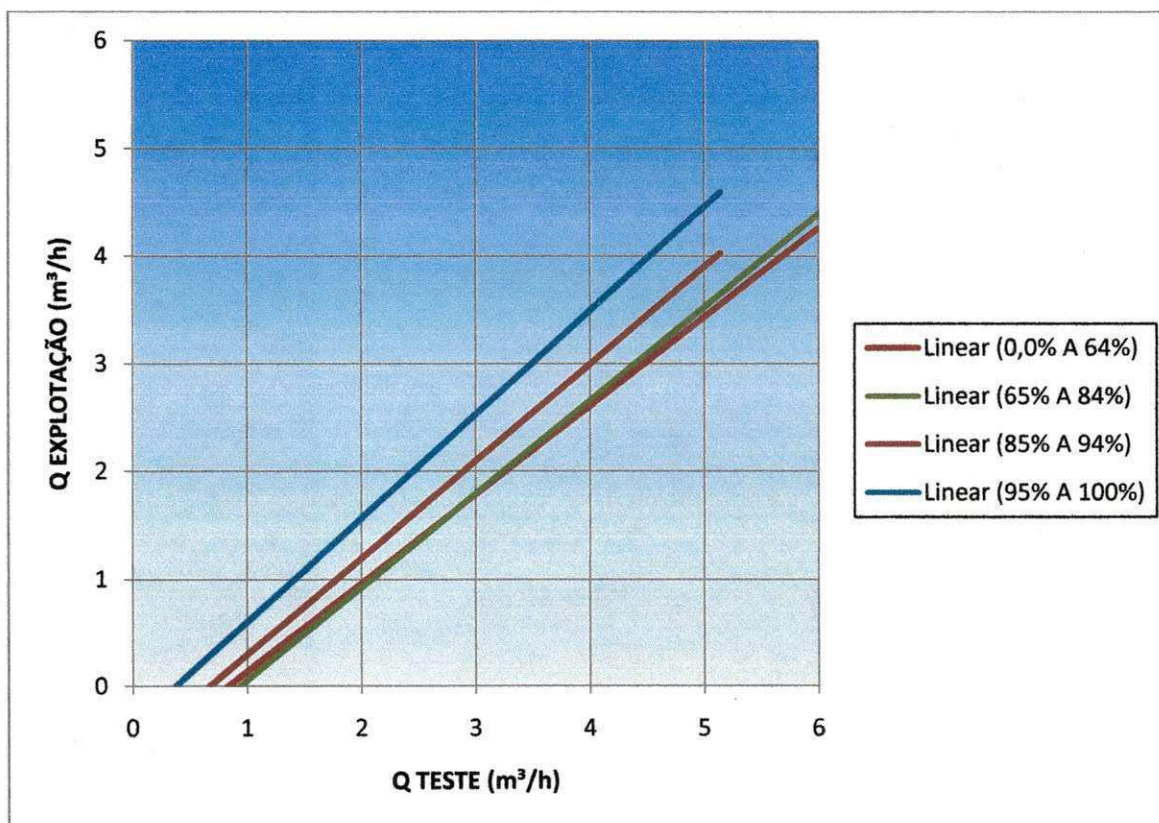


Figura 6.11 - Representação das retas que correspondem a cada intervalo de percentual de recuperação.

Observa-se na Figura 6.11, que, as retas representantes dos dois primeiros intervalos de percentual de recuperação quase se confundem, indicando assim um comportamento idêntico dos poços contidos em ambos os intervalos. Foi possível, portanto, fundir os dois intervalos em um único que vai de 0,0% a 85 %.

Repetindo-se todo o procedimento, agora com três intervalos de Percentual de Recuperação, chegou-se, por fim, a um resultado bastante consistente com a fundamentação do método.

O Quadro 6.3 reúne os intervalos de percentuais de recuperação e as respectivas equações para cálculo das vazões de exploração

Quadro 6.3 - Novos intervalos com os respectivos desvios negativos médios e os números de poços.

INTERVALOS DOS PERCENTUAIS DE RECUPERAÇÃO	DESVIO NEGATIVOS MÉDIOS	NÚMEROS DE POÇOS
0,0% A 85%	0,531	71
86% A 95%;	0,423	46
96% A 100%	0,236	31

A Figura 6.12 mostra estes resultados na forma de retas de vazão de exploração associadas aos respectivos intervalos de Percentuais de Recuperação.

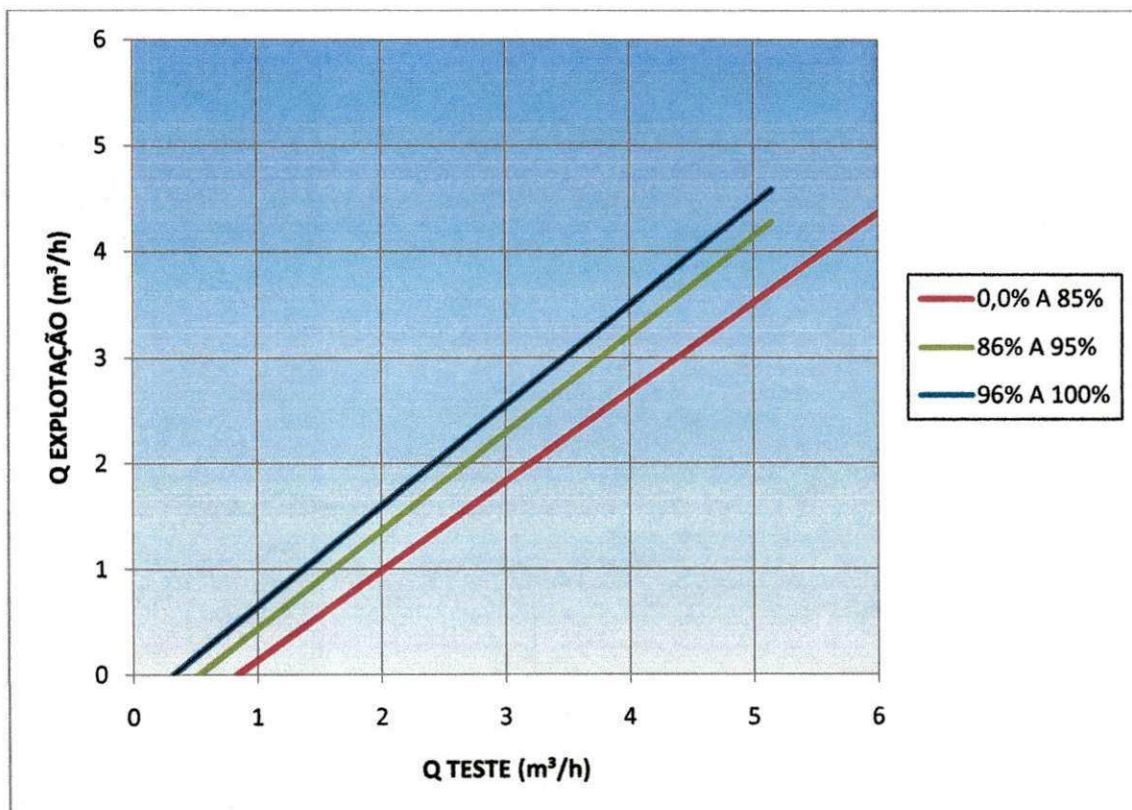


Figura 6.12 – Representação das retas com apenas três intervalos de percentual de recuperação.

Os exemplos a seguir apresentados ilustram a obtenção de vazões de exploração segundo o método proposto, empregando tanto a Figura 6.12 como as equações do Quadro 6.3.

Se um poço apresentar uma vazão de teste de 2,0 m³/h e a sua recuperação estiver no intervalo de percentual de recuperação entre 0,0% a 85%, a vazão de exploração desse poço será de 1,0 m³/h, ou seja, a metade da vazão do teste de produção, conforme pode ser identificado através linha vermelha na Figura 6.12.

Para o caso em que se obtém uma mesma vazão de teste, porém, o intervalo do percentual de recuperação é de 96% a 100% a vazão de exploração será próximo a 2,6 m³/h.

A determinação da vazão de exploração só tornou-se possível a partir da interpretação primeiramente, dos parâmetros hidrodinâmicos, quais sejam o nível estático, nível dinâmico, rebaixamento do teste de produção, a capacidade específica que posteriormente calculou-se a vazão extrapolada e rebaixamento residual da recuperação. Em seguida com a introdução e a determinação do percentual da recuperação, da vazão extrapolada ajustada, do desvio negativo médio e da reta de exploração

Com relação à Figura 6.12, verifica-se que os intervalos de percentual de recuperação serão ordenados da seguinte maneira, 0,0% a 85%, depois 86% a 95% e por último 96% a 100%, observando que, no início desses intervalos tem-se uma vazão de teste, porém, a vazão de exploração tornaria nula, de acordo com o gráfico.

Também se pode observar que, quando a vazão de teste for próximo de 0,90 m³/h e estiver dentro da faixa de 0,0% a 85%, o poço não deverá ser seco e sim considerá-lo como poço de baixa vazão de exploração. Procedimento análogo deverá ser feito para os outros dois intervalos, ou seja, para o intervalo entre 86% e 95%, com uma vazão de teste da ordem de 0,70 m³/h e para o intervalo entre 96% e 100%, com uma vazão de teste de 0,40 m³/h, considera-se poços com baixa vazão de exploração. Assim quando se obtiver uma vazão de teste de produção, rapidamente se determinará a vazão de exploração usando a Figura 6.12, bastando apenas ter o conhecimento do percentual de recuperação daquele poço tubular.

A utilização do sistema de bombeamento com cata-vento para os poços que apresentarem as vazões de teste dentro dos intervalos de percentuais de recuperação mostrados abaixo;

- 0,0% a 85% com vazões de teste entre $0,20 \text{ m}^3/\text{h} \leq Q_t \leq 0,90 \text{ m}^3/\text{h}$.
- 86% a 95% com vazões de teste entre $0,20 \text{ m}^3/\text{h} \leq Q_t \leq 0,70 \text{ m}^3/\text{h}$.
- 96% a 100%, com vazões de teste entre $0,20 \text{ m}^3/\text{h} \leq Q_t \leq 0,40 \text{ m}^3/\text{h}$.

7.0 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos neste trabalho de pesquisa atingiram a meta estabelecida de desenvolver um método para a determinação de vazões de exploração em poços perfurados em aquíferos fissurais, isto é, de porosidade secundária. O método proposto tem caráter objetivo, por se basear em fundamentos teóricos e dados empíricos e estar livre de subjetivismos que possam levar a exagerados erros de estimativa.

O emprego do método, apesar de limitado à região do Cariri Ocidental paraibano, por ter utilizado extensivamente as informações de poços daquela região, pode ser utilizado por perfuradores, consultores e estudiosos dos recursos hídricos em geral. Por sua simplicidade, representada pelo pequeno número de equações e parâmetros envolvidos, é de fácil assimilação e manejo.

Para sua consolidação e seu aperfeiçoamento, seria recomendável o acompanhamento do desempenho de uma amostra de poços em operação com a vazão de exploração encontrada pelo método.

A anexação de novos dados à amostra original permitiria aumentar os intervalos de percentual de recuperação e assim, refinar o método.

Por fim, recomenda-se procurar obter, seguindo as etapas do desenvolvimento do método, equações e gráficos que sejam válidos para outras regiões de ocorrência de aquíferos fissurais, porém com diferentes características litológicas e ou climáticas.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba 2009 Mapas das Mesorregiões do Estado da Paraíba. Escala: 1 : 200.000.

ALBUQUERQUE, J. P. T. 1971. Inventário Hidrogeológico do Nordeste – Folha nº 15 – Jaguaribe – SUDENE – Série Hidrogeologia nº 32 , 187 pp. – Recife – PE

ALMEIDA, F. F. M. de; LEONARDOS Jr., O. H.; VALENÇA, J. 1967. Granitic rocks of Northeast South America. In: IUGS/UNESCO SYMPOSIUM, Recife. Spec. Publ. Recife: IUGS/UNESCO. 41p.

BOURGUET L. et al;. 1981. Methodologie de la recherche hydrogéologique en zone de socle cristallin. Bul. B.R.G.M., III, v. 2, n. 4, p. 273-288.

BRASIL, 1972. Ministério da Agricultura, Levantamento Exploratório Reconhecimento do Estado da Paraíba. Convênio MA/C0NTAP/USAID7BRASIL. 15 (8): 3-76.

BRITO NEVES, B. B. DE 1975 Regionalização geotectônica do pré-cambriano Nordeste. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

CALDASSO, A. L. da S. 1965 Geologia de jazida de argila de Boa Vista. (Paraíba). Recife: SUDENE. 8p. il. (Brasil SUDENE. Série Especial, 2).

CARVALHO, M. G. R. F. 1982. Estado da Paraíba – Classificação Geomorfológica. João Pessoa. Ed. Universitária. UFPB. 72p.

Companhia de Saneamento de Sergipe - DESO 2011. Desenvolvimento, ensaio de vazão, entrega de poços. Disponível em: < <http://www.deso-se.com.br/> > Acesso em: 29 abr. 2011.

CORIOLOANO, A. C. F. 2002. Reavaliação de Critérios Estruturais na Hidrogeologia de Terrenos Cristalinos, com Ênfase na Neotectônica e Sensoriamento Remoto. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

COSTA, W. D. E BRAZ DA SILVA, A. B. 1997, Hidrogeologia dos meios anisotrópicos. In: FEITOSA, F. A. O.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM: LABHID-UFPE, p. 133-174.

CUSTÓDIO E LLAMAS (1976) Hidrologia subterrânea. Ed. Omega, S. A. Barcelona – Espanha.

EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SP. xxvi, 412p.

FEITOSA, F. A. C.; COSTA FILHO, W. D. 1998. Execução de teste de bombeamento em poços tubulares. Manual prático de orientação. CPRM.

FEITOSA, F. A. C. et. al., 2008. Hidrogeologia: conceitos e aplicações – 3ª ed. rev. e ampliada. – Rio de Janeiro: CPRM : LABHID.

FERREIRA, C. A.; SANTOS, E. J. DOS 2000 Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Jaguaribe CE. Folha SC 24-Z. Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Escala 1 : 500.000. Geologia e Metalogênese. Recife: CPRM.

Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba 2002 Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Subprograma Mapas Estaduais. Executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional do Recife.

GONZAGA, F. DE A. DA S. 2006 Estudo de campo integrado com imagem TM Landsat-5, para indicar áreas favoráveis à captação de águas subterrâneas. Monografia apresentada a Universidade Estadual da Paraíba. Pós-Graduação em Análise Ambiental.

GUSTAFSON, G.; KRÁSNY, J. 1994. Crystalline rock aquifers: their occurrence, use and importance. *Applied hydrogeology* 2(2):64-75.

JARDIM DE SÁ, E. F. 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. 1994. 804p. Tese (Doutorado)-Instituto de Geociências. UNB, Brasília.

JARDIM DE SÁ, E. F. et al. 2008. Conceitos de análises estrutural aplicados à hidrogeologia de terrenos cristalinos. *Hidrogeologia conceitos e aplicações*. Capítulo 3.1. 3ª Ed. Revisada e ampliada. Rio de Janeiro.

MANOEL FILHO, J. 1996. Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural,

Manual de Projetos e Construção de Poços Tubulares Profundos 2010. Disponível em <<http://www.perfuradores.com/>> Acesso em: 21 dez. 2010.

MATOS, R. M. D. 2000 Tectonic evolution of the Equatorial South Atlantic. In: MOHRIAK, W.; TALWANI, M. 2000. (Eds.) Atlantic rifts and continental margins. *Geophys. Monogr. Amer. Geophys. Union*, v. 115, p. 331-354.

MEDEIROS, V. C.; TORRES, H. H. F. 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Sumé. Folha SB 24-Z-D-V. Estados da Paraíba e Pernambuco. Escala 1:100.000. Brasília: CPRM, 88p. il.

OLIVEIRA, S. P. B. 1997. Estudo dos processos de salinização das águas subterrâneas dos poços do cristalino do Nordeste. – Rio Claro – UNESP. .

PINÉO, T. R. G. 2005. Integração de dados geofísicos e de sensores remotos aplicados à prospecção de água subterrânea em meio fissural (Distrito de Juá, Irauçuba/CE).

SANTOS, E. J. DOS. 1995. O complexo granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta (Pernambuco) Província Borborema. São Paulo, 1995. 219p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

SANTOS, E. J. DOS; OLIVEIRA, R. G. DE; PAIVA, I. P. 1997 Terrenos no domínio transversal da província Borborema; Contraste sobre acreção e retrabalhamento crustal ao sul do lineamento Patos. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, XVII. Bol. Nº 15 SBG. Fortaleza

SANTOS, E. J. DOS; 1999. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. [CD ROM]. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belém do São Francisco. Folha SC.24-X-A. Estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia. Escala 1:250.000. Geologia e Metalogênese. CPRM. Recife: CPRM, Disponível em 1 CD-ROM..

VALLEJO, L. I. G. DE; FERRER, M.; ORTUÑO, L.; OTEO, C. 2002. Ingeniería Geológica. Editora: Isabel Capella. Pearson Educación, Madrid – Espana. 744p.

VEIGA JÚNIOR, J.P. & FERREIRA, C.A. 1990. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, carta geológica, carta metalogenética/previsional. Escala 1:100.000. Folha SB-24-Z-C-III - Afogados da Ingazeira. Estados de Pernambuco e Paraíba. Brasília. DNPM/CPRM.

WANDERLEY, A. A. 1990. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, carta geológica, carta metalogenética/previsional. Escala 1:100.000 - Folha SB-Z-D-VI. Monteiro, Estados de Pernambuco e Paraíba. Brasília. DNPM/CPRM.

WRIGHT, E. R; BURGESS, W. G. 1992. The hydrogeology of crystalline basement aquifers in África. Geol. Soc. London, Spec. Publ., v. 66, 264 p.

ANEXOS

ANEXO 1 a

Nº de ordem	Município	Localidade	Coordenadas		Altitude (m)	Coordenadas transformada		Recuperação	
			Latitude	Longitude		Latitude	Longitude	Nível Dinâmico (m)	Rebaixamento (m)
1	Amparo	Salgadinho II	07° 34' 16"	37° 02' 38"	620	-7571111	-37.043.889	7,44	0,36
2	Amparo	St. Pelelé-II	07° 30' 21"	37° 00' 52"	680	-7505833	-37.014.444	7,8	3,4
3	Amparo	St. Salgadinho	07° 34' 27"	37° 03' 39"	620	-7574167	-37.060.833	5,75	2,75
4	Amparo	St. Lagoa do Meio	06° 35' 06"	39° 46' 37"	606	-6585000	-39.776.944	33	32
5	Barra de São Miguel	Riacho do Bichinho/ Açude	07° 44' 52,8"	36° 18' 49,5"	520	-7747778	-36.313.611	5,91	0,136
6	Barra de São Miguel	Riacho do Bichinho/ Lavanderia	07° 45' 02"	36° 19' 11"	480	-7750556	-36.319.722	4,637	1,557
7	Barra de São Miguel	Mulungú dos Clementes	07° 45' 36"	36° 21' 19"	536	-7760000	-36.355.278	16,27	1,87
8	Barra de São Miguel	Mulungú dos Pintos	07° 44' 33"	36° 21' 49"	544	-7742500	-36.363.611	9,96	1,84
9	Barra de São Miguel	St. Teú	07° 37' 19"	36° 20' 28"	430	-7621944	-36.341.111	6,84	0,24
10	Boa Vista	Faz. Boa Esperança	07° 19' 36"	36° 16' 09"	500	-7326667	-36.269.167	8,94	0,02
11	Boa Vista	Faz. Mandacaru	07° 14' 43"	36° 17' 30"	500	-7245278	-36.291.667	13,17	1,36
12	Boa Vista	Faz. Sorriso/Caluet e	07° 14' 33,0"	36° 09' 22,2"	530	-7242500	-36.156.111	13,17	4,85
13	Boa Vista	St. Roçado do Mato	07° 17' 24"	36° 12' 28"	510	-7290000	-36.207.778	12,48	0,43
14	Boa Vista	St. Açude	07° 15' 40"	36° 13' 20"	540	-7261111	-36.222.222	7,01	3,65

15	Boa Vista	St. Cacimba Nova-II	07° 16' 10''	36° 07' 03''	410	-7269444	-36.117.500	4,47	0,93
16	Boa Vista	St. Caloete	07° 14' 30''	36° 07' 34''	500	-7241667	-36.126.111	5,01	1,96
17	Boa Vista	St. Monte Alegre	07° 12' 40''	36° 04' 19''	560	-7211111	-36.071.944	13,685	4,405
18	Boa Vista	St. Poço do Juá	07° 13' 57''	36° 19' 35''	510	-7232500	-36.326.389	8,14	0,8
19	Boa Vista	St. Riachão	07° 15' 18''	36° 18' 41''	520	-7255000	-36.311.389	11,98	6,06
20	Boa Vista	St. São Bento	07° 15' 25''	36° 16' 22''	538	-7256944	-36.272.778	12,01	4,97
21	Boa Vista	St. São Pedro-I	07° 17' 49''	36° 06' 27''	470	-7296944	-36.107.500	12,08	2,03
22	Boa Vista	St. São Pedro	07° 17' 54''	36° 06' 48''	450	-7298333	-36.113.333	10,35	0,95
23	Cabaceiras	St. Forquilha do Rio	07° 32' 02''	36° 15' 59''	430	-7533889	-36.266.389	6,9	1,3
24	Cabaceiras	St. Caruatá de Fora	07° 27' 19''	36° 18' 14''	425	-7455278	-36.303.889	3,78	0,24
25	Cabaceiras	St. Cural de Baixo	07° 24' 56''	36° 22' 40''	423	-7415556	-36.377.778	4,675	0,215
26	Cabaceiras	St. Cural de Cima	07° 26' 17''	36° 23' 29''	456	-7438056	-36.391.389	6,74	0,06
27	Cabaceiras	St. Ipueiras	07° 32' 18''	36° 21' 25''	450	-7538333	-36.356.944	3,635	0,065
28	Camalaú	St. Madeira	07° 50' 48''	36° 46' 29''	490	-7846667	-36.774.722	5,53	0,97
29	Camalaú	St. Oiticica	07° 51' 40''	36° 48' 52''	540	-7861111	-36.814.444	2,405	0,97
30	Camalaú	Sede	07° 53' 20''	36° 49' 13''	552	-7888889	-36.820.278	16,415	10,615
31	Camalaú	St. Baraúnas	07° 52' 33''	36° 48' 08''	480	-7875833	-36.802.222	2,155	0,335
32	Camalaú	St. Cachoeira do Cunha	07° 52' 15''	36° 53' 22''	540	-7870833	-36.889.444	8,8	1,35
33	Camalaú	St. Cachoeira do Cunha - I	07° 52' 17''	36° 54' 27''	569	-7871389	-36.907.500	6,02	1,35
34	Camalaú	St. Diogo (Pindurão)	07° 55' 22''	36° 35' 30''	560	-7922778	-36.591.667	20,77	14,37

35	Camalaú	St.Jurema	07° 57' 23''	36° 46' 10''	550	-7956389	-36.769.444	4,32	0,99
36	Camalaú	St. Salão	07° 54' 58''	36° 39' 08''	517	-7916111	-36.652.222	5,54	0,85
37	Camalaú	St. Salão – I	07° 56' 15''	36° 50' 05''	550	-7937500	-36.834.722	6,9	0,34
38	Camalaú	St.Várzea do Meio (Bola)	07° 50' 30''	36° 54' 33''	550	-7841667	-36.909.167	4,215	0,47
39	Caraúbas	Barreiras – II	07° 51' 52''	36° 30' 52''	530	-7864444	-36.514.444	6,64	0,67
40	Caraúbas	Jacques	07° 45' 42''	36° 25' 08''	480	-7761667	-36.418.889	5,29	0,51
41	Caraúbas	Lagoa dos Chagas	07° 48' 26''	36° 28' 07''	495	-7807222	-36.468.611	3,71	0,7
42	Caraúbas	Curimatãs	07° 49' 57''	36° 30' 23''	510	-7832500	-36.506.389	12,81	2,3
43	Caraúbas	St.Salina	07° 45' 49''	36° 30' 10''	440	-7763611	-36.502.778	8,61	2,91
44	Congo	St. Lagoa da Ilha	07° 42' 58,9''	36° 43' 27,1''	529	-7716111	-36.724.167	8,35	3,91
45	Congo	St. Pedra D'água	07° 49' 03,4''	36° 38' 57,8''	530	-7817500	-36.649.167	4,86	0,64
46	Congo	Riacho do Algodão	07° 41' 56''	36° 41' 20''	511	-7698889	-36.688.889	2,67	0,47
47	Congo	St. Boqueirão	07° 47' 23''	36° 37' 13''	520	-7789722	-36.620.278	10,07	1,07
48	Congo	St.Ema	07° 40' 52''	36° 43' 50''	480	-7681111	-36.730.556	7,42	0
49	Congo	St. Santa Rita de Baixo	07° 43' 38''	36° 40' 40'	490	-7727222	-36.677.778	13,5	9
50	Congo	St. Ventura	07° 48' 23''	36° 38' 27''	500	-7806389	-36.640.833	9,65	1,35
51	Congo	Poço Verde	07° 41' 37''	36° 40' 43''	511	-7693611	-36.678.611	11,72	8,24
52	Congo	St.Emas	07° 41' 06''	36° 42' 47''	511	-7685000	-36.713.056	10,57	0,5
53	Coxixola	Assentamento Pinheiro	07° 40' 37"	36° 42' 48"	498	-7676944	-36.713.333	6,68	1,32
54	Coxixola	Assentamento Pinheiro II	07° 40' 44"	36° 42' 33"	481	-7678889	-36.709.167	7,62	0,79

55	Coxixola	Faz. Aroeira	07° 35' 17"	36° 36' 56"	510	-7588056	-36.615.556	5,91	0,69
56	Gurjão	Sede – II	07° 14' 52"	36° 29' 44"	470	-7247778	-36.495.556	5,35	1,2
57	Gurjão	St. Borges	07° 06' 48"	36° 33' 47"	740	-7113333	-36.563.056	11,31	8,8
58	Gurjão	St. Cacimbinha	07° 10' 43"	36° 30' 45"	420	-7178611	-36.512.500	5,76	0,89
59	Gurjão	St. Riacho da Cobra	07° 13' 59"	36° 30' 35"	490	-7233056	-36.509.722	6,25	0,42
60	Gurjão	St. Riacho dos Mourões	07° 13' 54"	36° 32' 13"	485	-7231667	-36.536.944	5,16	0,96
61	Livramento	Barra do Farias	07° 20' 49"	36° 51' 23"	530	-7346944	-36.856.389	3,96	0,44
62	Livramento	Pitombeira	07° 18' 13"	36° 58' 16"	540	-7303611	-36.971.111	11,13	8,03
63	Livramento	St. Riacho Verde	07° 19' 18"	37° 55' 26"	700	-7321667	-37.923.889	3,81	1,04
64	Livramento	St. Aldeia	07° 20' 14"	36° 55' 38"	546	-7337222	-36.927.222	5,83	4,09
65	Monteiro	Angiquinho – II	07° 50' 03"	37° 04' 02"	620	-7834167	-37.067.222	5,9	1,63
66	Monteiro	St. Cacimba de Cima	08° 01' 06"	37° 05' 43"	632	-8018333	-37.095.278	19,55	15,89
67	Monteiro	St. Santa Catarina	07° 46' 55"	37° 06' 32"	600	-7781944	-37.108.889	0,849	0,849
68	Monteiro	Escola Brisa Nunes /Lava Jato	07° 53' 34"	37° 07' 42"	610	-7892778	-37.128.333	20	3,25
69	Monteiro	Granja Alice Ferreira	07° 53' 37"	37° 08' 01"	610	-7893611	-37.133.611	10,86	1,49
70	Monteiro	Lagoa Grande de Baixo	07° 56' 54"	37° 01' 10"	611	-7948333	-37.019.444	3,73	0,53
71	Monteiro	St.Lagoa Grande de Cima	07° 58' 23"	37° 02' 08"	612	-7973056	-37.035.556	7,97	1,57

72	Monteiro	Mulungu	07° 54' 58''	37° 10' 30''	620	-7916111	-37.175.000	5,87	0,8
73	Monteiro	St. Olho D'Água das Dores	07° 51' 01''	37° 05' 25''	653	-7850278	-37.090.278	20,67	13,15
74	Monteiro	St.Olho D'água do salão III	07° 50' 54''	37° 05' 37''	572	-7848333	-37.093.611	6,08	1,2
75	Monteiro	Poço de Baixo	07° 48' 08''	37° 10' 00''	630	-7802222	-37.166.667	5,24	1,56
76	Monteiro	St. Angiquinho	07° 49' 10''	37° 04' 16''	618	-7819444	-37.071.111	13,22	10,72
77	Monteiro	St.Catolé	07° 54' 12''	37° 14' 53''	680	-7903333	-37.248.056	4,91	2,04
78	Monteiro	St.Espirito Santo	07° 56' 35''	37° 12' 13''	580	-7943056	-37.203.611	4,68	0,26
79	Monteiro	St. Minador	07° 59' 05''	37° 07' 35''	548	-7984722	-37.126.389	18,37	15,67
80	Monteiro	St. Minador	07° 58' 26''	37° 06' 44''	546	-7973889	-37.112.222	7,16	6,38
81	Monteiro	St. Rancho dos Negros	07° 52' 26''	37° 58' 49''	560	-7873889	-37.980.278	2,95	0,5
82	Monteiro	St. Serra Branca	07° 52' 26''	37° 17' 26''	617	-7873889	-37.290.556	16,01	13,29
83	Monteiro	Tingui	07° 52' 08''	37° 10' 12''	635	-7868889	-37.170.000	7,01	0,16
84	Monteiro	Tingui (Varzinha)	07° 52' 46''	37° 09' 02''	620	-7879444	-37.150.556	3,32	0,07
85	Monteiro	Ringideira	07° 55' 41''	37° 09' 34''	690	-7928056	-37.159.444	5,23	1,2
86	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Marques	07° 39' 55''	37° 08' 52''	591	-7665278	-37.147.778	24,9	12,72
87	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Zuzas	07° 38' 47,3''	37° 09' 28,5''	651	-7646389	-37.157.778	7,73	2,06
88	Ouro Velho	St. Coqueiral	07° 37' 20''	37° 08' 50,6''	556	-7622222	-37.147.222	4,91	0,96
89	Ouro Velho	Dependência-I	07° 37' 58''	37° 11' 10''	646	-7632778	-37.186.111	5,51	1,29
90	Ouro Velho	St.Dependenci aII	07° 38' 52,2''	37° 11' 09,5''	649	-7647778	-37.185.833	5,86	1,28

91	Ouro Velho	St. Pantaleão	07° 37' 44,4''	37° 09' 47,1''	629	-7628889	-37.163.056	11,68	7,98
92	Ouro Velho	St. Boi Velho	07° 37' 15''	37° 09' 24''	590	-7620833	-37.156.667	4,62	0,38
93	Ouro Velho	St. Olho d'água	07° 36' 14''	37° 09' 21''	590	-7603889	-37.155.833	5,52	2,87
94	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Guedes	07° 40' 17''	37° 09' 18''	626	-7671389	-37.155.000	9,6	0,4
95	Ouro Velho	St. Olhos d'água	07° 35' 33''	37° 09' 49''	588	-7592500	-37.163.611	10,07	4,51
96	Ouro Velho	St. Pantaleão	07° 37' 49''	37° 09' 50''	580	-7630278	-37.163.889	11	1,11
97	Ouro Velho	St. Pau d'arco	07° 35' 22''	37° 08' 58''	627	-7589444	-37.149.444	5,25	0,75
98	Pararí	Algodão de Baixo	07° 22' 40''	36° 43' 09''	510	-7377778	-36.719.167	6,06	1,92
99	Pararí	Campo Grande -II	07° 19' 03''	36° 43' 00''	495	-7317500	-36.716.667	2,29	0,59
100	Pararí	Poço do Rancho	07° 21' 05''	36° 35' 54''	490	-7351389	-36.598.333	8,14	2,71
101	Pararí	Pombinhas	07° 22' 46''	36° 41' 52''	512	-7379444	-36.697.778	5,01	3,63
102	Pararí	Riachão	07° 21' 42''	36° 38' 32''	464	-7361667	-36.642.222	3,95	0,63
103	Pararí	Riacho do Estevão	07° 19' 29''	36° 34' 35''	480	-7324722	-36.576.389	4,03	1,43
104	Pararí	Rio de Fora de Cima II	07° 19' 54''	36° 44' 07''	512	-7331667	-36.735.278	6,52	3,35
105	Pararí	Rio de Fora de Cima	07° 20' 40''	36° 45' 15''	510	-7344444	-36.754.167	5,37	1,44
106	Pararí	Rio de Fora	07° 19' 27''	36° 42' 38''	540	-7324167	-36.710.556	5,94	0,44
107	Pararí	São Caetano	07° 18' 26''	36° 39' 25''	511	-7307222	-36.656.944	3,35	0,54
108	Pararí	Serrota de Cima	07° 17' 55''	36° 45' 36''	537	-7298611	-36.760.000	3,2	1,01
109	Pararí	St. Campo Grande	07° 18' 59''	36° 43' 50''	540	-7316389	-36.730.556	5,33	1,69

110	Pararí	St.Pedra d'água	07° 18' 26''	36° 40' 12''	540	-7307222	-36.670.000	8,15	0,43
111	Prata	St. Acauã	07° 38' 43''	37° 03' 59''	590	-7645278	-37.066.389	10,25	2,8
112	Prata	St. Acauã - I	07° 39' 57''	37° 03' 29''	579	-7665833	-37.058.056	11,22	0,29
113	Prata	St. Boa Sorte- II	07° 42' 16''	37° 06' 06''	580	-7704444	-37.101.667	6,7	1,2
114	Prata	St. Boa Sorte- III	07° 42' 43''	37° 06' 25''	585	-7711944	-37.106.944	8,2	3,2
115	Prata	St. Caxingó	07° 40' 43''	37° 03' 27''	584	-7678611	-37.057.500	8,49	1,75
116	Prata	St. Paraíso	07° 44' 50''	37° 04' 04''	557	-7747222	-37.067.778	13,6	0,76
117	Prata	St. São Francisco	07° 42' 05''	37° 07' 03''	650	-7.701389	-37.117.500	6,2	0
118	Prata	Assentamento Macacos - Lote - 03	07° 37' 19''	37° 04' 10''	596	-7621944	-37.069.444	4,9	0,56
119	Prata	St. Boa Sorte	07° 41' 52''	37° 05' 34''	624	-7697778	-37.092.778	11,1	6,94
120	Prata	St.Lajinha	07° 38' 56''	37° 01' 25''	580	-7648889	-37.023.611	16,3	10,36
121	São Domingos	St.Barra do Xandú	07° 35' 03''	36° 25' 26''	447	-7584167	-36.423.889	3,54	1,53
122	São Domingos do Cariri	St.Barro Vermelho -II	07° 37' 56''	36° 23' 28''	383	-7632222	-36.391.111	6,8	0,7
123	São Domingos	St.Barro Vermelho -III	07° 37' 27''	36° 22' 49''	422	-7624167	-36.380.278	10,58	1,56
124	São Domingos	St.Barro Vermelho -IV	07° 37' 59''	36° 21' 59''	392	-7633056	-36.366.389	10,62	6,92
125	São Domingos	St.Gangorra -I	07° 31' 49''	36° 22' 04''	441	-7530278	-36.367.778	4,15	0,93
126	São Domingos do Cariri	St.Gangorra - II	07° 32' 08''	36° 22' 48''	403	-7535556	-36.380.000	7,87	0,59
127	São Domingos	St. Mororó	07° 37' 41''	36° 22' 01''	430	-7628056	-36.366.944	8,57	0,44
128	São Domingos	St.Mourões	07° 30' 29''	36° 23' 54''	446	-7508056	-36.398.333	5,26	0,54

129	São Domingos	St.Olho D'Água	07° 35' 08''	36° 22' 38''	408	-7585556	-36.377.222	3,92	1,92
130	São Domingos	St.Pau Ferro	07° 39' 15''	36° 26' 20''	422	-7654167	-36.438.889	7,85	0,54
131	São Domingos	St.Porteiras	07° 40' 52''	36° 26' 35''	433	-7681111	-36.443.056	7,88	1,09
132	São Domingos	St.Salgadinho	07° 39' 39''	36° 27' 08''	427	-7660833	-36.452.222	4,78	1,68
133	São Domingos	St. São Domingos -II	07° 38' 33''	36° 25' 43''	440	-7642500	-36.428.611	7,88	0,23
134	São Domingos	St. Barro Vermelho	07° 37' 43''	36° 22' 59''	430	-7628611	-36.383.056	11,48	0,63
135	São Domingos	St. São Domingos	07° 38' 17''	36° 26' 20''	400	-7638056	-36.438.889	3,08	0,08
136	São João do Cariri	Sacramento	07° 24' 30''	36° 28' 32''	493	-7390833	-36.535.278	2,36	2,21
137	São João do Cariri	Sede/Caibeira	07° 23' 27''	36° 32' 07''	496	-7408333	-36.475.556	11,35	0,57
138	São João do Cariri	St. Arara-II	07° 21' 31''	36° 20' 35''	453	-7358611	-36.343.056	7,04	0,24
139	São João do Cariri	St. Macambira	07° 28' 04''	36° 25' 11''	521	-7467778	-36.419.722	14,88	1,76
140	São João do Cariri	St. Pedregal	07° 18' 34''	36° 23' 39''	482	-7309444	-36.394.167	8,08	2,85
141	São João do Cariri	St.Poço das Pedras	07° 23' 34''	36° 25' 43''	410	-7392778	-36.428.611	4,81	0,12
142	São João do Cariri	St.Pombo	07° 18' 34''	36° 21' 08''	492	-7309444	-36.352.222	4,51	1,56
143	São João do Tigre	Roncadeira	08° 01' 32''	36° 41' 42''	600	-8025556	-36.695.000	9,63	6,03
144	São João do Tigre	Felisberto -- II	08° 06' 03''	36° 51' 45''	610	-8100833	-36.862.500	6,52	3,34
145	São João do Tigre	Rancho Tigre	08° 05' 06''	36° 51' 24''	610	-8085000	-36.856.667	5,95	0,34
146	São João do Tigre	St. Cacimbina -- II	07° 59' 30''	36° 39' 08''	663	-7991667	-36.652.222	18,41	16,76

147	São João do Tigre	St. Muchifa	08° 07' 28''	37° 49' 35''	601	-8124444	-37.826.389	4,97	1,37
148	São João do Tigre	St. Mulungu	08° 06' 19''	36° 48' 44''	627	-8105278	-36.812.222	5,01	1,01
149	São João do Tigre	St. Barriguda	08° 06' 05''	36° 55' 05''	588	-8101389	-36.918.056	21,2	17,5
150	São José dos Cordeiros	Faz.Desterro - III	07° 17' 16''	36° 41' 04''	530	-7287778	-36.684.444	22,3	12,42
151	São José dos Cordeiros	Faz.Nova	07° 23' 57''	36° 57' 49''	620	-7399167	-36.963.611	4,84	0,68
152	São José dos Cordeiros	St. Cipó	07° 24' 38''	36° 45' 25''	520	-7410556	-36.756.944	2,67	0,8
153	São José dos Cordeiros	St. Mulungu	07° 23' 11''	36° 43' 11''	567	-7386389	-36.719.722	8,65	3,17
154	São José dos Cordeiros	St. Riacho do Cipó	07° 26' 16''	36° 46' 28''	540	-7437778	-36.774.444	14,54	12,83
155	São S. do Umbuzeiro	Capitão mor	08° 12' 26''	37° 03' 23''	660	-8207222	-37.056.389	4,83	2,58
156	São S. do Umbuzeiro	Mão Beijada	08° 02' 36''	37° 01' 18''	592	-8043333	-37.021.667	3,77	0,77
157	São S. do Umbuzeiro	St. Pitombas	08° 09' 52''	37° 03' 09''	600	-8164444	-37.052.500	15,29	11,94
158	São S. do Umbuzeiro	Santa Luzia	08° 07' 16''	37° 06' 05''	621	-8121111	-37.101.389	13,88	10,21
159	São S. do Umbuzeiro	St. Boa Vista	08° 05' 47''	37° 02' 10''	610	-8096389	-37.036.111	7,38	1,3
160	São S. do Umbuzeiro	St. Mistiço	08° 03' 10''	36° 56' 48''	578	-8052778	-36.946.667	9,32	7,13
161	São S. do Umbuzeiro	St. Riacho da Cruz	08° 01' 44''	37° 56' 16''	520	-8028889	-37.937.778	7,07	2,42
162	São S. do Umbuzeiro	St. Ribeiro Fundo	08° 03' 08''	37° 58' 47''	550	-8052222	-37.979.722	10,19	5,97
163	São S. do Umbuzeiro	St. Serrinha	08° 11' 58''	37° 06' 06''	630	-8199444	-37.101.667	8,19	3,74

164	São S. do Umbuzeiro	St. Tanques	08° 02' 31''	37° 07' 46''	642	-8041944	-37.129.444	5,16	0,23
165	Serra Branca	Lagoinha/Pilão	07° 29' 30''	36° 49' 48''	532	-7491667	-36.830.000	7,8/1	2,61
166	Serra Branca	Malvinas	07° 29' 05''	36° 40' 10''	490	-7484722	-36.669.444	15,41	11,25
167	Serra Branca	Mercado Público	07° 29' 05''	36° 39' 38''	495	-7484722	-36.660.556	14,31	9,5
168	Serra Branca	St. Riacho do Alú	07° 28' 37,6''	36° 39' 37,3''	528	-7647778	-36.660.278	10,83	7,03
169	Serra Branca	St. Vertentes	07° 28' 57,6''	36° 40' 10,9''	530	-7482500	-36.669.444	3,79	1,84
170	Serra Branca	Campo Redondo	07° 41' 00''	36° 34' 45''	530	-7683333	-36.579.167	4,78	0,23
171	Serra Branca	Distrito de Santa Luzia	07° 36' 26''	36° 49' 05''	570	-7607222	-36.818.056	7,95	0,43
172	Serra Branca	Conceição	07° 29' 04''	36° 38' 28''	500	-7484444	-36.641.111	14,9	2,64
173	Serra Branca	Grossos	07° 31' 05''	36° 40' 12''	500	-7518056	-36.670.000	4,3	0,52
174	Serra Branca	St. Mares	07° 33' 30''	36° 31' 20''	530	-7558333	-36.522.222	15,81	12,08
175	Serra Branca	Várzea Nova	07° 27' 21''	36° 38' 00''	480	-7455833	-36.633.333	3,867	0,701
176	Sumé	St.Abertas – II	07° 39' 29''	37° 57' 52''	550	-7658056	-37.964.444	3,995	0,145
177	Sumé	Bananeira	07° 30' 48''	36° 58' 51''	645	-7513333	-36.980.833	9,69	3,01
178	Sumé	Pinhões de Cima	07° 44' 08''	36° 50' 14''	544	-7735556	-36.837.222	4,85	0,09
179	Sumé	Riachão	07° 40' 22''	36° 54' 44''	535	-7672778	-36.912.222	10,05	0,69
180	Sumé	St.Riacho Novo	07° 40' 07''	36° 55' 17''	564	-7668611	-36.921.389	6,29	1,03
181	Sumé	St.Abertas	07° 39' 20''	36° 57' 45''	550	-7655556	-36.962.500	7,68	3,38
182	Sumé	St. Banquinho	07° 40' 23''	36° 52' 25''	548	-7673056	-36.873.611	4,19	0,33
183	Sumé	St. Caraibeira	07° 49' 31''	36° 47' 11''	520	-7825278	-36.786.389	5,6	0,35

184	Sumé	St.Duas Barras	07° 39' 46''	36° 58' 23''	545	-7662778	-36.973.056	4,861	2,161
185	Sumé	St.Junco	07° 41' 59''	36° 51' 23''	550	-7699722	-36.856.389	4,22	0,55
186	Sumé	St. Logradouro	07° 43' 06''	36° 47' 50''	526	-7718333	-36.797.222	4,5	0
187	Sumé	St.Macambira	07° 35' 32''	36° 58' 18''	600	-7592222	-36.971.667	7,67	3,12
188	Sumé	St. Pedra d'água	07° 36' 59''	36° 55' 54''	559	-7616389	-36.931.667	2,7	0,2
189	Sumé	St. Piões de Cima	07° 43' 44''	36° 51' 34''	570	-7728889	-36.859.444	7,76	0,93
189	Sumé	St.Riacho da Roça – III	07° 37' 00''	37° 58' 16''	570	-7616667	-37.971.111	24,14	19,205
191	Sumé	St.Tigre	07° 37' 48''	36° 55' 49''	560	-7630000	-36.930.278	2,415	0,515
192	Zabelê	St. Santana	08S 06' 56"	37W 05' 18"		-8115556	-37.088.333	13,68	10,42
193	Zabelê	St. Papagaio	08° 03' 35''	37° 05' 10''	672	-8059722	-37.086.111	8,36	0,3
194	Zabelê	St. Belém	08° 05' 47''	37° 02' 26''	590	-8096389	-37.040.556	6,59	1,85
195	Zabelê	St. Tanques	08° 03' 27''	37° 06' 43''	580	-8057500	-37.111.944	4,43	0,3
196	Zabelê	St. Zabelê	08S 03' 52"	37W 06' 06"	600	-8064444	-37.101.667	4,295	0,095

ANEXO 1 b

Nº de ordem	Município	Localidade	Parâmetros do teste de vazão					
			NE (m)	ND (m)	Qexp (m³/h)	Q/SW		Crivo (m)
1	Amparo	Salgadinho II	7,08	19,84	0,80	84,00	0,084	27,00
2	Amparo	St. Pelelé-II	4,40	10,20	5,60	1.552,00	1,552	34,60
3	Amparo	St. Salgadinho	3,00	16,20	3,00	273,00	0,273	40,60
4	Amparo	St. Lagoa do Meio	1,00	39,80	0,20	4,00	0,004	52,60
5	Barra de São Miguel	Riacho do Bichinho/Açude	3,08	8,78	4,80	970,00	0,970	15,00
6	Barra de São Miguel	Riacho do Bichinho/Lavanderia	14,40	17,29	1,60	711,00	0,711	25,00
7	Barra de São Miguel	Mulungú dos Clementes	8,12	13,32	2,00	728,00	0,728	20,00
8	Barra de São Miguel	Mulungú dos Pintos	6,60	12,79	3,20	726,00	0,726	24,00
9	Barra de São Miguel	St. Teú	8,92	26,43	0,50	36,00	0,036	36,00
10	Boa Vista	Faz. Boa Esperança	11,81	20,68	1,00	231,00	0,231	30,00
11	Boa Vista	Faz. Mandacaru	9,86	15,68	0,40	145,00	0,145	24,00
12	Boa Vista	Faz. Sorriso/Caluete	12,05	17,46	0,20	35,00	0,035	21,00
13	Boa Vista	St. Roçado do Mato	3,36	14,61	1,00	142,00	0,142	28,00
14	Boa Vista	St. Açude	3,54	10,52	1,50	358,00	0,358	17,00

15	Boa Vista	St. Cacimba Nova-II	3,05	10,04	0,85	145,00	0,145	15,00
16	Boa Vista	St. Caloete	9,28	30,09	0,40	36,00	0,036	39,00
17	Boa Vista	St. Monte Alegre	7,34	11,76	1,50	542,00	0,542	21,60
18	Boa Vista	St. Poço do Juá	5,92	23,44	1,00	74,00	0,074	32,40
19	Boa Vista	St. Riachão	7,04	17,98	0,20	12,00	0,012	24,00
20	Boa Vista	St. São Bento	10,05	21,13	1,00	216,00	0,216	28,00
21	Boa Vista	St. São Pedro-I	9,40	13,42	1,00	895,00	0,895	21,60
22	Boa Vista	St. São Pedro	5,60	8,96	4,00	1.785,00	1,785	21,00
23	Cabaceiras	St. Forquilha do Rio	3,54	17,33	1,50	130,00	0,130	21,60
24	Cabaceiras	St. Caruatá de Fora	4,46	5,07	4,00	3.775,00	3,775	9,00
25	Cabaceiras	St. Curral de Baixo	6,68	7,32	10,00	12.500,00	12,500	24,00
26	Cabaceiras	St. Curral de Cima	3,57	22,44	1,80	115,00	0,115	33,00
27	Cabaceiras	St. Ipueiras	4,56	14,37	1,00	110,00	0,110	18,00
28	Camalaú	St. Madeira	2,08	6,81	5,00	2.579,00	2,579	24,00
29	Camalaú	St. Oiticica	5,80	27,09	1,00	94,00	0,094	36,00
30	Camalaú	Sede	1,82	7,29	0,60	212,00	0,212	9,00
31	Camalaú	St. Baraúnas	7,45	11,07	1,50	709,00	0,709	15,00
32	Camalaú	St. Cachoeira do Cunha	4,67	21,92	0,30	24,00	0,024	28,60
33	Camalaú	St. Cachoeira do Cunha - I	6,40	22,13	0,60	37,00	0,037	27,00
34	Camalaú	St. Diogo (Pindurão)	3,33	29,31	0,50	37,00	0,037	39,00

35	Camalaú	St.Jurema	4,69	21,64	1,00	65,00	0,065	27,00
36	Camalaú	St. Salão	6,56	19,58	1,00	85,00	0,085	30,00
37	Camalaú	St. Salão – I	3,74	17,89	5,00	565,00	0,565	33,00
38	Camalaú	St.Várzea do Meio (Bola)	5,97	26,03	1,00	61,00	0,061	33,00
39	Caraúbas	Barreiras – II	4,78	13,65	2,00	427,00	0,427	22,70
40	Caraúbas	Jacques	3,00	12,70	5,00	742,00	0,742	20,00
41	Caraúbas	Lagoa dos Chagas	10,51	17,52	0,30	61,00	0,061	20,00
42	Caraúbas	Curimatãs	5,70	12,28	5,00	1.563,00	1,563	24,00
43	Caraúbas	St.Salina	4,43	23,64	0,90	61,00	0,061	30,00
44	Congo	St. Lagoa da Ilha	4,22	16,78	2,10	220,00	0,220	24,00
45	Congo	St. Pedra D'água	2,20	4,03	6,00	4.918,00	4,918	25,60
46	Congo	Riacho do Algodão	9,00	15,91	1,00	269,00	0,269	21,00
47	Congo	St. Boqueirão	7,42	13,16	2,40	659,00	0,659	24,00
48	Congo	St. Ema	-	-	-	-	#VALOR!	-
49	Congo	St. Santa Rita de Baixo	4,50	27,10	1,20	64,00	0,064	37,60
50	Congo	St. Ventura	-	-	-	-	#VALOR!	-
51	Congo	Poço Verde	8,30	27,13	0,20	16,00	0,016	33,00
52	Congo	St. Emas	3,48	18,71	1,80	263,00	0,263	34,60
53	Coxixola	Assentamento Pinheiro	10,52	33,03	0,50	49,00	0,049	46,60
54	Coxixola	Assentamento Pinheiro II	6,00	17,00	0,40	0,05	0,000	42,00

55	Coxixola	Faz. Aroeira	7,00	17,00	1,00	0,11	0,000	30,00
56	Gurjão	Sede – II	5,30	18,00	0,65	0,05	0,000	27,00
57	Gurjão	St. Borges	4,15	15,22	0,30	32,00	0,032	18,00
58	Gurjão	St. Cacimbinha	2,51	25,71	0,60	72,00	0,072	36,00
59	Gurjão	St. Riacho da Cobra	4,87	19,49	0,60	61,00	0,061	24,00
60	Gurjão	St. Riacho dos Mourões	5,83	16,99	0,60	87,00	0,087	21,00
61	Livramento	Barra do Farias	4,20	8,85	5,00	1.290,00	1,290	15,00
62	Livramento	Pitombeira	3,52	11,06	2,00	303,00	0,303	15,00
63	Livramento	St. Riacho Verde	3,10	14,82	0,30	27,00	0,027	18,00
64	Livramento	St. Aldeia	2,77	26,17	0,50	26,00	0,026	33,00
65	Monteiro	Angiquinho – II	2,00	23,00	2,4	0,12	0,000	42,00
66	Monteiro	St. Cacimba de Cima	4,27	16,51	0,50	101,00	0,101	21,00
67	Monteiro	St. Santa Catarina	3,66	23,25	0,50	21,00	0,021	39,00
68	Monteiro	Escola Brisa Nunes /Lava Jato	0,00	9,00	5,20	0,58	0,001	15,00
69	Monteiro	Granja Alice Ferreira	16,75	21,15	0,60	302,00	0,302	35,10
70	Monteiro	Lagoa Grande de Baixo	16,75	21,15	0,60	302,00	0,302	35,10
71	Monteiro	St.Lagoa Grande de Cima	3,20	11,26	5,00	595,00	0,595	18,00

72	Monteiro	Mulungu	6,40	26,21	0,30	15,00	0,015	32,40
73	Monteiro	St. Olho D'Água das Dores	5,07	9,36	3,00	883,00	0,883	27,00
74	Monteiro	St.Olho D'água do salão III	7,52	29,56	0,20	10,00	0,010	37,80
75	Monteiro	Poço de Baixo	4,88	15,52	1,20	84,00	0,084	24,00
76	Monteiro	St. Angiquinho	3,68	23,29	1,30	81,00	0,081	40,50
77	Monteiro	St.Catolé	2,50	27,32	1,00	72,00	0,072	36,00
78	Monteiro	St.Espirito Santo	3,87	14,14	0,60	95,00	0,095	18,00
79	Monteiro	St. Minador	4,42	12,60	0,20	25,00	0,025	15,00
80	Monteiro	St. Minador	2,70	35,98	0,20	10,00	0,010	48,00
81	Monteiro	St. Rancho dos Negros	0,78	23,36	0,80	53,00	0,053	30,00
82	Monteiro	St. Serra Branca	2,45	6,39	6,00	3.150,00	3,150	21,00
83	Monteiro	Tingui	2,72	22,09	0,40	55,00	0,055	29,70
84	Monteiro	Tingui (Varzinha)	6,85	8,13	10,00	11.294,00	11,294	21,60
85	Monteiro	Ringideira	3,25	14,06	0,50	107,00	0,107	18,00
86	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Marques	4,03	21,60	0,20	1,00	0,001	30,00
87	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Zuzas	12,18	33,46	0,30	24,00	0,024	47,50
88	Ouro Velho	St. Coqueiral	5,67	14,88	2,20	312,00	0,312	21,00
89	Ouro Velho	Dependência-I	3,95	11,55	0,80	131,00	0,131	15,00
90	Ouro Velho	St.Dependencia II	4,22	10,49	0,50	95,00	0,095	13,50

91	Ouro Velho	St. Pantaleão	4,57	6,84	10,00	6.357,00	6,357	18,00
92	Ouro Velho	St. Boi Velho	3,69	19,53	0,40	31,00	0,031	24,00
93	Ouro Velho	St. Olho d'água	4,24	30,41	1,00	46,00	0,046	46,60
94	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Guedes	2,65	29,25	2,00	90,00	0,090	49,60
95	Ouro Velho	St. Olhos d'água	9,29	10,60	4,20	5.143,00	5,143	37,60
96	Ouro Velho	St. Pantaleão	5,56	34,65	0,40	16,00	0,016	45,00
97	Ouro Velho	St. Pau d'arco	9,89	27,35	1,90	125,00	0,125	46,60
98	Pararí	Algodão de Baixo	4,50	9,38	4,00	1.475,00	1,475	21,00
99	Pararí	Campo Grande II	4,14	13,44	1,20	198,00	0,198	24,00
100	Pararí	Poço do Rancho	1,70	9,35	4,50	427,00	0,427	21,00
101	Pararí	Pombinhas	5,43	10,10	2,00	770,00	0,770	18,90
102	Pararí	Riachão	1,38	19,77	0,30	25,00	0,025	30,00
103	Pararí	Riacho do Estevão	3,32	10,14	2,70	319,00	0,319	21,00
104	Pararí	Rio de Fora de Cima II	2,60	16,80	0,50	56,00	0,056	21,60
105	Pararí	Rio de Fora de Cima	3,17	15,35	1,80	236,00	0,236	30,00
106	Pararí	Rio de Fora	3,93	18,90	0,55	43,00	0,043	24,30
107	Pararí	São Caetano	5,32	13,16	3,00	306,00	0,306	24,00
108	Pararí	Serrota de Cima	2,81	5,47	16,00	3.866,00	3,866	27,00
109	Pararí	St. Campo Grande	2,19	4,32	12,00	4.225,00	4,225	18,00

110	Pararí	St.Pedra d'água	3,64	24,46	0,50	38,00	0,038	30,00
111	Prata	St. Acauã	7,72	13,13	0,48	132,00	0,132	21,00
112	Prata	St. Acauã - I	7,45	26,65	2,50	197,00	0,197	37,50
113	Prata	St. Boa Sorte-II	10,93	16,10	0,50	122,00	0,122	21,00
114	Prata	St. Boa Sorte-III	5,50	27,25	1,50	83,00	0,083	40,60
115	Prata	St. Caxingó	5,00	27,35	1,50	81,00	0,081	40,60
116	Prata	St. Paraíso	6,74	10,22	0,30	89,00	0,089	13,50
117	Prata	St. São Francisco	12,84	17,08	1,50	353,00	0,353	24,00
118	Prata	Assentamento Macacos - Lote 03	6,20	11,20	3,50	1.028,00	1,028	31,60
119	Prata	St. Boa Sorte	4,34	5,25	1,80	2.260,00	2,260	9,00
120	Prata	St.Lajinha	4,16	14,99	0,40	51,00	0,051	24,30
121	São Domingos do Cariri	St.Barra do Xandú	5,94	20,90	0,45	38,00	0,038	27,00
122	São Domingos do Cariri	St.Barro Vermelho -II	2,01	4,90	5,60	2.491,00	2,491	24,00
123	São Domingos do Cariri	St.Barro Vermelho -III	6,10	8,58	1,60	827,00	0,827	18,00
124	São Domingos do Cariri	St.Barro Vermelho -IV /	9,02	12,64	1,50	552,00	0,552	24,00
125	São Domingos do Cariri	St.Gangorra -I	3,70	13,33	1,00	299,00	0,299	24,00
126	São Domingos do Cariri	St.Gangorra -II	3,22	6,12	4,00	1.909,00	1,909	24,00
127	São Domingos do Cariri	St. Mororó	7,28	8,63	8,00	3.555,00	3,555	24,00
128	São Domingos do Cariri	St.Mourões	8,13	23,10	2,00	82,00	0,082	36,00

129	São Domingos do Cariri	St.Olho D'Água	4,72	28,84	2,00	82,00	0,082	48,00
130	São Domingos do Cariri	St.Pau Ferro	2,10	7,17	5,60	835,00	0,835	21,00
131	São Domingos do Cariri	St.Porteiras	7,31	9,20	2,50	2.004,00	2,004	24,00
132	São Domingos do Cariri	St.Salgadinho	6,79	22,35	0,40	28,00	0,028	33,00
133	São Domingos do Cariri	St. São Domingos -II	3,10	17,70	0,50	51,00	0,051	27,00
134	São Domingos do Cariri	St. Barro Vermelho	7,65	17,99	1,00	128,00	0,128	30,00
135	São Domingos do Cariri	St. São Domingos	10,85	17,48	2,10	603,00	0,603	30,00
136	São João do Cariri	Sacramento	3,00	4,93	8,00	5.329,00	5,329	21,00
137	São João do Cariri	Sede/Caibeira	10,78	15,37	3,00	627,00	0,627	30,00
138	São João do Cariri	St. Arara-II	1,00	10,00	4,50	0,50	0,001	27,00
139	São João do Cariri	St. Macambira	6,80	7,81	5,00	4.433,00	4,433	18,00
140	São João do Cariri	St. Pedregal	13,12	26,83	1,50	87,00	0,087	45,00
141	São João do Cariri	St.Poço das Pedras	5,23	15,55	1,80	199,00	0,199	30,00
142	São João do Cariri	St.Pombo	4,69	10,07	4,00	608,00	0,608	18,00
143	São João do Tigre	Roncadeira	2,95	10,60	3,60	336,00	0,336	21,00
144	São João do Tigre	Felisberto – II	3,60	20,96	0,50	39,00	0,039	30,00
145	São João do Tigre	Rancho Tigre	3,20	22,37	0,30	18,00	0,018	27,00
146	São João do Tigre	St. Cacimbinha – II	5,61	14,99	1,10	144,00	0,144	21,60

147	São João do Tigre	St. Muchila	1,65	23,44	0,20	5,00	0,005	27,00
148	São João do Tigre	St. Mulungu	3,60	16,78	0,35	36,00	0,036	21,60
149	São João do Tigre	St. Barriguda	4,00	19,98	0,80	68,00	0,068	27,00
150	São José dos Cordeiros	Faz.Desterro - III	3,70	32,60	0,20	11,00	0,011	40,60
151	São José dos Cordeiros	Faz.Nova	9,88	33,16	0,20	12,00	0,012	39,00
152	São José dos Cordeiros	St. Cipó	4,16	12,42	0,50	54,00	0,054	15,00
153	São José dos Cordeiros	St. Mulungu	1,87	5,68	8,00	2.701,00	2,701	15,00
154	São José dos Cordeiros	St. Riacho do Cipó	5,48	26,35	0,65	49,00	0,049	36,00
155	São S. do Umbuzeiro	Capitão mor	1,95	21,90	0,20	15,00	0,015	27,00
156	São S. do Umbuzeiro	Mão Beijada	2,25	14,91	0,20	129,00	0,129	18,00
157	São S. do Umbuzeiro	St. Pitombas	3,00	18,68	0,70	76,00	0,076	24,00
158	São S. do Umbuzeiro	Santa Luzia	3,34	36,62	0,20	8,00	0,008	40,00
159	São S. do Umbuzeiro	St. Boa Vista	3,67	22,95	0,80	94,00	0,094	30,00
160	São S. do Umbuzeiro	St. Mistiço	8,00	24,00	3,60	0,23	0,000	39,00
161	São S. do Umbuzeiro	St. Riacho da Cruz	2,19	16,65	0,20	13,00	0,013	21,60
162	São S. do Umbuzeiro	St. Ribeiro Fundo	4,65	19,29	1,90	122,00	0,122	24,00
163	São S. do Umbuzeiro	St. Serrinha	4,22	22,71	0,35	21,00	0,021	27,00

164	São S. do Umbuzeiro	St. Tanques	4,45	23,53	0,20	10,00	0,010	27,00
165	Serra Branca	Lagoinha/Pilão	4,93	23,12	1,90	106,00	0,106	30,00
166	Serra Branca	Malvinas	5,20	18,63	0,30	22,00	0,022	24,30
167	Serra Branca	Mercado Público	4,15	16,19	0,80	110,00	0,110	21,00
168	Serra Branca	St. Riacho do Ahú	4,81	22,03	1,50	104,00	0,104	39,00
169	Serra Branca	St. Vertentes	3,80	14,13	0,50	58,00	0,058	21,60
170	Serra Branca	Campo Redondo	1,95	12,99	1,00	135,00	0,135	21,60
171	Serra Branca	Distrito de Santa Luzia	4,55	8,50	2,79	792,00	0,792	12,00
172	Serra Branca	Conceição	7,52	24,75	0,90	104,00	0,104	37,60
173	Serra Branca	Grossos	14,00	35,00	0,50	0,02	0,000	45,00
174	Serra Branca	St. Mares	3,78	10,33	0,50	508,00	0,508	15,00
175	Serra Branca	Várzea Nova	3,73	18,69	1,00	120,00	0,120	24,00
176	Sumé	St. Abertas – II	3,16	8,39	3,00	982,00	0,982	15,00
177	Sumé	Bananeira	3,85	10,97	0,80	289,00	0,289	15,00
178	Sumé	Pinhões de Cima	6,68	20,44	0,50	67,00	0,067	33,00
179	Sumé	Riachão	4,76	15,46	2,00	231,00	0,231	27,00
180	Sumé	St. Riacho Novo	9,36	12,94	2,00	837,00	0,837	21,00
181	Sumé	St. Abertas	5,26	12,41	2,50	457,00	0,457	24,30
182	Sumé	St. Banquinho	4,30	13,99	0,80	162,00	0,162	18,00
183	Sumé	St. Caraibeira	3,86	7,90	1,50	539,00	0,539	18,00

184	Sumé	St.Duas Barras	5,25	7,00	1,80	1.714,00	1,714	24,60
185	Sumé	St.Junco	2,70	17,30	2,50	328,00	0,328	27,00
186	Sumé	St. Logradouro	3,67	17,78	1,00	187,00	0,187	24,00
187	Sumé	St.Macambira	4,50	5,45	6,00	10.826,00	10,826	28,60
188	Sumé	St. Pedra d'água	4,55	17,30	1,00	214,00	0,214	28,00
189	Sumé	St. Piões de Cima	2,50	15,20	2,00	283,00	0,283	31,60
189	Sumé	St.Riacho da Roça - III	4,93	27,21	1,00	111,00	0,111	36,00
191	Sumé	St.Tigre	1,90	18,17	0,50	50,00	0,050	24,30
192	Zabelê	St. Santana	3,26	17,25	1,50	1,50	0,002	
193	Zabelê	St. Papagaio	8,06	16,70	0,20	41,00	0,041	21,60
194	Zabelê	St. Belém	4,74	31,58	0,80	40,00	0,040	42,00
195	Zabelê	St. Tanques	4,13	17,93	2,20	173,00	0,173	33,00
196	Zabelê	St. Zabelê	4,13	17,93	3,00	173,00	0,173	33,00

N TOTAL=148

ANEXO 2

INTERVALO 0,0% A 65%

n=27

 $\Delta=-0,502$

% DA RECUPERAÇÃO	Nº DE ORDEM	MUNICÍPIO	LOCALIDADE	VAZÃO DE TESTE (m³/h)	Q EXTRAPOLADA MEDIDA (m³/h)	Q EXTRAPOLADA AJUSTADA (m³/h)	Q EXTRAPOLADA MEDIDA-AJUSTADA (m³/h)	RETA EXPLOTAÇÃO
8,65%	29	Camalaú	St. Diogo (Pindurão)	0,585	0,157	0,293	-0,136	-0,209
16,67%	10	Boa Vista	Faz. Sorriso/Caluete	0,847	0,407	0,509	-0,102	0,007
19,25%	144	Serra Branca	St. Mares	1,800	0,750	1,295	-0,545	0,793
28,14%	106	São Domingos do Cariri	St. Barro Vermelho -IV / Bolão	5,538	4,234	4,379	-0,145	3,877
31,39%	70	Monteiro	St. Serra Branca	1,074	1,020	0,696	0,324	0,194
31,48%	54	Livramento	St. Pitombeira	0,325	0,175	0,078	0,097	-0,424
31,95%	139	Serra Branca	St. Riacho do Ahú	0,600	0,260	0,305	-0,045	-0,197
35,29%	5	Barra de São Miguel	St. Mulungú dos Clementes	2,057	1,907	1,507	0,400	1,005
35,92%	103	Prata	St. Boa Sorte	2,057	1,990	1,507	0,483	1,005
38,46%	102	Prata	Assentamento Macacos - Lote - 03	0,553	0,476	0,266	0,210	-0,236
39,45%	125	São João do Tigre	St. Barriguda	0,327	0,144	0,080	0,064	-0,422
40,23%	74	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Marques	0,521	0,425	0,240	0,185	-0,262
41,97%	87	Pararí	St. Poço do Rancho	0,464	0,260	0,193	0,067	-0,309
44,83%	138	Serra Branca	Mercado Público	1,800	0,520	1,295	-0,775	0,793
46,65%	126	São José dos Cordeiros	Faz. Desterro - III	0,300	0,300	0,058	0,242	-0,444
49,62%	78	Ouro Velho	St. Pantaleão	0,500	0,411	0,223	0,188	-0,279
49,71%	99	Prata	St. Caxingó	1,500	1,500	1,048	0,452	0,546
50,14%	25	Camalaú	Sede	2,011	1,490	1,469	0,021	0,967
52,91%	67	Monteiro	St. Minador	1,188	0,233	0,790	-0,557	0,288
54,57%	18	Boa Vista	St. São Bento	0,140	0,140	-0,074	0,214	-0,576
56,24%	44	Congo	St. Ventura	0,319	0,319	0,073	0,246	-0,429

56,81%	64	Monteiro	St. Angiquinho	1,800	0,496	1,295	-0,799	0,793
56,91%	105	São Domingos do Cariri	St. Barro Vermelho -III	2,880	0,770	2,186	-1,416	1,684
61,31%	19	Cabaceiras	St. Forquilha do Rio	6,000	5,540	4,761	0,779	4,259
62,71%	27	Camalaú	St. Cachoeira do Cunha	2,571	2,100	1,931	0,169	1,429
64,62%	6	Barra de São Miguel	St. Mulungú dos Pintos	3,789	3,010	2,936	0,074	2,434
64,75%	21	Cabaceiras	St. Curral de Baixo	2,322	2,030	1,726	0,304	1,224

INTERVALO 65% A 85%				n=41	Δ=-0,628			
65,12%	151	Sumé	St. Abertas	1,565	1,550	1,173	0,377	0,545
65,26%	120	São João do Tigre	St. Roncadeira	0,698	0,555	0,420	0,135	-0,208
65,41%	17	Boa Vista	St. Riachão	1,309	1,309	0,950	0,359	0,322
66,14%	58	Monteiro	St. Escola Brisa Nunes /Lava Jato	1,333	0,264	0,971	-0,707	0,343
67,19%	37	Caraúbas	St. Curimatãs	0,428	0,238	0,186	0,052	-0,442
67,37%	61	Monteiro	St. Mulungu	1,333	0,264	0,971	-0,707	0,343
67,56%	12	Boa Vista	St. Açude	1,600	0,675	1,203	-0,528	0,575
67,71%	134	São S. do Umbuzeiro	St. Ribeiro Fundo	0,390	0,370	0,153	0,217	-0,475
67,93%	107	São Domingos do Cariri	St. Gangorra -I	1,241	0,988	0,891	0,097	0,263
69,47%	81	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Guedes	7,200	7,200	6,062	1,138	5,434
71,43%	110	São Domingos do Cariri	St. Pau Ferro	0,436	0,436	0,193	0,243	-0,435
71,77%	104	São Domingos do Cariri	St. Barro Vermelho -II	2,000	1,460	1,550	-0,090	0,922
71,96%	14	Boa Vista	St. Caloete	1,014	0,909	0,695	0,214	0,067
75,53%	155	Sumé	St. Macambira	2,737	1,910	2,189	-0,279	1,561
76,24%	117	São João do Cariri	St. Arara-II	1,200	0,710	0,856	-0,146	0,228
77,63%	75	Ouro Velho	St. Boa Vista dos Zuzas	2,880	2,760	2,313	0,447	1,685

78,13%	147	Sumé	St. Bananeira	0,935	0,935	0,626	0,309	-0,002
78,83%	15	Boa Vista	St. Monte Alegre	0,750	0,750	0,466	0,285	-0,163
79,17%	3	Amparo	St. Salgadinho	3,600	3,234	2,938	0,296	2,310
79,35%	52	Gurjão	St. Riacho dos Mourões	6,000	5,580	5,020	0,560	4,392
79,35%	85	Pararí	St. Algodão de Baixo	3,272	3,213	2,654	0,559	2,026
79,62%	131	São S. do Umbuzeiro	St. Capitão mor	1,630	1,270	1,229	0,041	0,601
79,65%	39	Congo	St. Lagoa da Ilha	1,180	1,150	0,839	0,311	0,211
80,00%	152	Sumé	St. Carabeira	3,000	1,750	2,418	-0,668	1,790
80,14%	65	Monteiro	St. Catolé	1,074	0,930	0,747	0,183	0,119
80,26%	88	Pararí	St. Pombinhas	2,181	1,090	1,707	-0,617	1,079
80,40%	135	São S. do Umbuzeiro	St. Serrinha	0,200	0,200	-0,012	0,212	-0,640
80,57%	137	Serra Branca	St. Lagoinha/Pilão	0,300	0,300	0,075	0,225	-0,553
80,73%	149	Sumé	St. Riachão	3,000	2,000	2,418	-0,418	1,790
81,90%	16	Boa Vista	St. Poço do Juá	2,400	2,250	1,897	0,353	1,269
82,08%	100	Prata	St. Paraíso	5,142	5,000	4,276	0,724	3,648
82,52%	55	Livramento	St. Riacho Verde	0,631	0,631	0,362	0,269	-0,266
82,58%	121	São João do Tigre	St. Felisberto – II	0,346	0,346	0,115	0,231	-0,513
83,33%	140	Serra Branca	St. Vertentes	1,500	0,220	1,116	-0,896	0,488
83,47%	133	São S. do Umbuzeiro	St. Riacho da Cruz	1,800	1,670	1,376	0,294	0,748
83,51%	115	São João do Cariri	Uruçu I	5,583	2,430	4,659	-2,229	4,031
84,50%	82	Ouro Velho	St. Olhos d'água	0,480	0,480	0,231	0,249	-0,397
84,52%	42	Congo	St. Boqueirão	1,860	0,705	1,429	-0,724	0,801
84,63%	84	Ouro Velho	St. Pau d'arco	1,846	0,744	1,416	-0,672	0,788
84,67%	9	Boa Vista	Faz. Mandacaru	2,057	1,950	1,599	0,351	0,971
84,81%	129	São José dos Cordeiros	St. Mulungu	1,043	0,670	0,720	-0,050	0,092

INTERVALO 85% A 95%

n=46

 $\Delta=-0,584$

85,42%	95	Prata	St. Acauã	0,631	0,580	0,543	0,037	-0,041
85,59%	150	Sumé	St. Riacho Novo	3,272	2,000	2,923	-0,923	2,339
85,68%	98	Prata	St. Boa Sorte-III	0,313	0,313	0,256	0,057	-0,328
86,60%	145	Serra Branca	St. Várzea Nova	5,142	4,550	4,609	-0,059	4,025
86,68%	13	Boa Vista	St. Cacimba Nova-II	4,500	4,270	4,030	0,240	3,446
86,68%	56	Monteiro	St. Angiquinho – II	1,241	0,520	1,092	-0,572	0,508
87,16%	118	São João do Cariri	St. Macambira			-0,026	0,026	-0,610
87,37%	76	Ouro Velho	St. Coqueiral	1,000	0,880	0,875	0,005	0,291
87,58%	116	São João do Cariri	St. Sacramento	4,500	4,200	4,030	0,170	3,446
88,00%	46	Coxixola	Assentamento Pinheiro	0,558	0,558	0,477	0,081	-0,107
88,72%	62	Monteiro	St. Olho D'água do salão III	1,200	0,900	1,056	-0,156	0,472
89,16%	49	Gurjão	Sede – II	0,360	0,360	0,298	0,062	-0,286
89,21%	80	Ouro Velho	St. Olho d'água	2,400	2,600	2,137	0,463	1,553
89,61%	123	São João do Tigre	St. Muchila	0,480	0,480	0,406	0,074	-0,178
89,93%	90	Pararí	St. Riacho do Estevão	0,650	0,650	0,560	0,090	-0,024
90,11%	23	Camalaú	St. Madeira	1,082	1,020	0,949	0,071	0,365
90,38%	91	Pararí	St. Rio de Fora de Cima	2,400	2,310	2,137	0,173	1,553
90,76%	89	Pararí	St. Riachão	0,800	0,284	0,695	-0,411	0,111
91,77%	127	São José dos Cordeiros	Faz. Nova	0,450	0,440	0,379	0,061	-0,205
91,88%	93	Pararí	St. Campo Grande	0,720	0,720	0,623	0,097	0,039
92,04%	63	Monteiro	St. Poço de Baixo	1,600	1,290	1,416	-0,126	0,832
92,05%	11	Boa Vista	St. Roçado do Mato	0,193	0,193	0,148	0,045	-0,436
92,05%	94	Pararí	St. Pedra d'água	3,789	3,650	3,389	0,261	2,805
92,06%	143	Serra Branca	St. Grossos	3,333	3,290	2,978	0,312	2,394

92,07%	60	Monteiro	St. Lagoa Grande de Cima	0,313	0,313	0,256	0,057	-0,328
92,10%	47	Coxixola	Assentamento Pinheiro II	1,241	1,241	1,092	0,149	0,508
92,17%	28	Camalaú	St. Cachoeira do Cunha – I	0,409	0,409	0,342	0,067	-0,242
92,29%	86	Pararí	St. Campo Grande II	3,600	1,630	3,219	-1,589	2,635
92,99%	111	São Domingos do Cariri	St. Porteiras	1,333	0,620	1,175	-0,555	0,591
93,11%	160	Zabelê	St. Belém	1,074	0,859	0,942	-0,083	0,358
93,17%	73	Monteiro	St. Ringideira	0,172	0,148	0,129	0,019	-0,455
93,42%	59	Monteiro	St. Lagoa Grande de Baixo	4,800	4,350	4,301	0,049	3,717
93,64%	83	Ouro Velho	St. Pantaleão	2,181	2,181	1,940	0,241	1,356
93,68%	124	São João do Tigre	St. Mulungu	1,090	1,000	0,956	0,044	0,372
93,88%	26	Camalaú	St. Baraúnas	1,161	0,583	1,020	-0,437	0,436
93,91%	50	Gurjão	St. Cacimbinha	0,900	0,900	0,785	0,115	0,201
94,16%	53	Livramento	St. Barra do Farias	2,285	2,285	2,034	0,251	1,450
94,18%	141	Serra Branca	St. Campo Redondo	3,130	3,000	2,795	0,205	2,211
94,25%	35	Caraubas	St. Jacques	3,879	3,789	3,471	0,318	2,887
94,39%	92	Pararí	St. Rio de Fora	0,800	0,800	0,695	0,105	0,111
94,39%	96	Prata	St. Acauã – I	1,800	1,740	1,596	0,144	1,012
94,48%	97	Prata	St. Boa Sorte-II	1,800	1,690	1,596	0,094	1,012
94,57%	48	Coxixola	Faz. Aroeiras	0,654	0,654	0,563	0,091	-0,021
94,63%	156	Sumé	St. Piões de Cima	3,428	3,428	3,064	0,364	2,480
94,90%	40	Congo	St. Pedra D'água	2,769	2,640	2,470	0,170	1,886
94,99%	31	Camalaú	St. Salão	1,107	1,107	0,972	0,135	0,388

INTERVALO 95% A 100%

n=34

 $\Delta=-0,252$

95,09%	132	São S. do Umbuzeiro	St. Mão Beijada	1,200	1,060	1,044	0,016	0,792
95,67%	57	Monteiro	St. Cacimba de Cima	0,412	0,196	0,284	-0,088	0,032
95,85%	114	São Domingos do Cariri	St. São Domingos	0,857	0,258	0,713	-0,455	0,461
96,10%	153	Sumé	St. Junco	2,637	2,100	2,431	-0,331	2,179
96,12%	7	Barra de São Miguel	St. Teú	4,500	3,900	4,228	-0,328	3,976
96,19%	30	Camalaú	St. Jurema	0,986	0,986	0,838	0,148	0,586
96,24%	51	Gurjão	St. Riacho da Cobra	0,972	0,972	0,824	0,148	0,572
96,38%	122	São João do Tigre	St. Rancho Tigre	1,358	1,290	1,197	0,093	0,945
96,53%	159	Zabelê	St. Papagaio	0,360	0,360	0,234	0,126	-0,018
96,66%	34	Caraúbas	St. Barreiras – II	1,241	1,241	1,084	0,157	0,832
96,82%	66	Monteiro	St. Espírito Santo	0,200	0,123	0,080	0,043	-0,172
96,83%	158	Sumé	St. Tigre	0,827	0,827	0,685	0,142	0,433
97,00%	1	Amparo	St. Salgadinho II	1,074	0,193	0,923	-0,730	0,671
97,06%	108	São Domingos do Cariri	St. Mororó	2,000	2,000	1,816	0,184	1,564
97,39%	32	Camalaú	St. Salão – I	1,107	1,107	0,955	0,152	0,703
97,50%	142	Serra Branca	St. Distrito de Santa Luzia	1,800	1,723	1,623	0,100	1,371
97,76%	109	São Domingos do Cariri	St. Mourões	3,789	3,750	3,542	0,208	3,290
97,77%	119	São João do Cariri	St. Poço das Pedras	3,272	3,120	3,043	0,077	2,791
97,78%	112	São Domingos do Cariri	St. São Domingos - II	4,000	3,410	3,746	-0,336	3,494
97,78%	45	Congo	St. Emas	1,104	1,080	0,952	0,128	0,700
97,83%	161	Zabelê	St. Tanques	2,400	2,180	2,202	-0,022	1,950
97,96%	146	Sumé	St. Abertas – II	2,060	1,570	1,874	-0,304	1,622
98,04%	4	Barra de São Miguel	St. Riacho do Bichinho/ Açude	2,769	2,493	2,558	-0,065	2,306

98,26%	20	Cabaceiras	St. Caruatá de Fora	1,800	1,800	1,623	0,177	1,371
98,43%	157	Sumé	St. Pedra d'água	3,600	3,430	3,360	0,070	3,108
98,55%	79	Ouro Velho	St. Boi Velho	1,200	1,200	1,044	0,156	0,792
98,74%	136	São S. do Umbuzeiro	St. Tanques	1,940	1,945	1,758	0,187	1,506
99,16%	148	Sumé	St. Pinhões de Cima	2,482	2,243	2,281	-0,038	2,029
99,31%	162	Zabelê	St. Zabelê	5,142	5,142	4,847	0,295	4,595
99,35%	72	Monteiro	St. Tingui (Varzinha)	1,161	1,135	1,007	0,128	0,755
99,66%	22	Cabaceiras	St. Ipueiras	2,181	2,040	1,991	0,049	1,739
99,89%	8	Boa Vista	Faz. Boa Esperança	0,637	0,490	0,501	-0,011	0,249
100,00%	43	Congo	St. Ema	3,789	3,789	3,542	0,247	3,290
100,00%	101	Prata	St. São Francisco	2,057	1,550	1,871	-0,321	1,619