



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**A VIABILIDADE ECONÔMICA E TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE
POÇOS TUBULARES PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA
REGIÃO DE BELÉM E ANANINDEUA, ESTADO DO PARÁ - BRASIL**

Mestrando

Felipe de Souza Moitta Koury

Orientador

Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu

Belém-PA

2007

- K88v Koury, Felipe de Souza Moitta
A viabilidade econômica e técnica da utilização de poços tubulares para o abastecimento de água na região de Belém e Ananindeua, Estado do Pará - Brasil / Felipe de Souza Moitta Koury; Orientador, Francisco de Assis Matos de Abreu – 2006
123 f. : il.
Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2006.
1. Recursos hídricos. 2. Águas subterrâneas 3. Hidrogeologia. 4. Águas superficiais. 5. Aquífero Pirabas. 6. Poços profundos. 7. Belém-Pa. 8. Ananindeua-Pa. I.Universidade Federal do Pará. II. Abreu, Francisco de Assis Matos de, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.:333.910098115



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**A VIABILIDADE ECONÔMICA E TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE
POÇOS TUBULARES PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA
NA REGIÃO DE BELÉM E ANANINDEUA, ESTADO DO PARÁ
BRASIL**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

FELIPE DE SOUZA MOITTA KOURY

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: 31/10/2006

Comitê de Dissertação:


FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU (Orientador)


ITABARACI NAZARENO CAVALCANTE


JOSÉ ALMIR RODRIGUES PEREIRA

Belém

Dedico este trabalho a minha mãe Maria Lucia; por tudo.

AGRADECIMENTOS

Ao conjunto de pessoas e instituições que direta ou indiretamente colaboraram e tornaram possível a realização deste trabalho. A todos gostaria de expressar minha sincera gratidão.

À Universidade Federal do Pará, através do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, pela possibilidade da realização do Curso de Pós-Graduação.

Aos professores, funcionários e alunos do Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, com os quais convivi durante a realização do mesmo, todos tiveram sua participação nessa caminhada, com a transmissão de conhecimentos, na ajuda oferecida ou simplesmente pela sincera e preciosa amizade.

À Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA, através de seus diretores, técnicos e funcionários, pela cessão irrestrita de dados indispensáveis e relevantes à realização desta empreitada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu (UFPA), pela sua confiança e amizade, e pelas valiosas sugestões e incentivos durante a realização deste trabalho.

Às bibliotecárias da Biblioteca “Alcionides Siqueira” da COSANPA, em especial a bibliotecária Magda Abdul-Khaled, por sua dedicação e colaboração na obtenção de importantes informações utilizadas como fontes de pesquisa e que ajudaram sobremaneira na realização dos trabalhos.

À minha família; aos meus filhos Ana Paula, Juliana e Felipinho e a minha esposa Celina, pelo apoio e compreensão recebidos nas atividades que me afastaram do convívio familiar durante o desenvolvimento deste trabalho.

“Nada mais difícil de manejar, mais perigoso de conduzir, ou de mais incerto sucesso, do que liderar a introdução de uma nova ordem de coisas. Pois o inovador tem contra si todos os que se beneficiavam das antigas condições, e apoio apenas tábio dos que se beneficiarão com a nova ordem”

Nicolau Maquiavel

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	ÁREA DE ESTUDO.....	24
3	OBJETIVOS.....	26
3.1	OBJETIVO PRINCIPAL.....	26
3.2	OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	26
4	METODOLOGIA.....	27
4.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	27
4.2	LEVANTAMENTO E CADASTRO DE POÇOS.....	27
4.3	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE BELÉM E ANANINDEUA.....	27
4.4	ESTUDO COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL.....	28
5	CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMÁTICAS METEOROLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
5.1	CLIMA	30
5.2	BALANÇO HÍDRICO.....	34
6	CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
6.1	EMBASAMENTO.....	36
6.2	FORMAÇÃO PIRABAS.....	38
6.3	FORMAÇÃO BARREIRAS.....	39
6.4	SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS.....	41
6.5	HIDROGEOLOGIA.....	43
6.5.1	Sistemas Aquíferos.....	43
6.5.2	Parâmetros Hidrodinâmicos.....	50
7	CADASTRO DE POÇOS TUBULARES.....	53
8	O SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA EM	

	BELÉM E ANANINDEUA.....	59
9	QUALIDADE E VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIAO DE BELÉM E ANANINDEUA.....	69
10	RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM E ANANINDEUA.....	78
10.1	RESERVA REGULADORA.....	78
10.2	RESERVA PERMANENTE OU SECULAR.....	80
10.3	RESERVA TOTAL OU NATURAL.....	81
10.4	RESERVA DE EXPLOTAÇÃO.....	82
11	ESTUDO COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL.....	85
11.1	AVALIAÇÃO ECONÔMICA OPÇÃO ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	88
11.1.1	Custos fixos.....	88
11.1.2	Custos operacionais.....	94
11.1.3	Custo de produção de água subterrânea.....	97
11.1.4	Avaliação dos componentes do custo de produção de água subterrânea	98
11.2	AVALIAÇÃO ECONÔMICA OPÇÃO ÁGUA SUPERFICIAL.....	99
11.2.1	Custos fixos.....	100
11.2.2	Custos operacionais.....	101
11.2.3	Custo de produção de água superficial.....	110
11.2.4	Avaliação dos componentes do custo de produção de água superficial..	112
11.3	COMPARAÇÃO DE CUSTOS.....	113
12	CONCLUSÕES.....	115
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Distribuição de água na terra.....	20
Figura 02	Ciclo hidrológico.....	21
Figura 03	Localização da área de estudo.....	25
Figura 04	Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica anual na estação meteorológica de Belém (período 1961 a 1990).....	32
Figura 05	Distribuição média mensal da temperatura, da umidade relativa do ar, da evaporação total (período 1961 a 1990).....	32
Figura 06	Balanço hídrico climatológico de Belém e Ananindeua, estação meteorológica de Belém.....	35
Figura 07	Arranjo temporal das unidades estratigráficas da região de Belém e Ananindeua.....	37
Figura 08	Mapa geológico da região de Belém e Ananindeua.....	42
Figura 09	Poço do conjunto Eduardo Angelin – Perfil composto.....	44
Figura 10	Perfil composto do poço Guanabara I.....	45
Figura 11	Perfil hidrogeológico dos poços Guanabara I e Guanabara II, na realização do teste de aquífero.....	51

Figura 12	Diagrama de rebaixamento com o tempo do poço da Guanabara I e observação no Guanabara II, distante 70,18 m.....	52
Figura 13	Crescimento da população de Belém e Ananindeua (período 2004 a 2023).....	59
Figura 14	Fotografia aérea da área do Parque Ambiental do Utinga.....	62
Figura 15	Lago Bolonha.....	64
Figura 16	Lago Água Preta.....	65
Figura 17	Esquema geral do sistema de abastecimento de água de Belém e Ananindeua.....	68
Figura 18	Esquema para avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero.....	75
Figura 19	Esquema conceitual de risco de contaminação.....	77

TABELAS

Tabela 01	Parâmetros climáticos médios mensais e anuais da estação meteorológica de Belém, no período de 1960 a 1990.....	31
Tabela 02	Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather, para uma reserva hídrica de 150mm de solo.....	33
Tabela 03	Principais aquíferos da região de Belém e Ananindeua.....	49
Tabela 04	Cadastro dos poços profundos da região de Belém e Ananindeua.....	53
Tabela 05	Características dos poços tubulares profundos da região de Belém e Ananindeua.....	56
Tabela 06	Projeção do crescimento populacional de Belém e Ananindeua (período 2006 a 2005).....	60
Tabela 07	Resultados analíticos das águas subterrâneas da região de Belém e Ananindeua.....	70
Tabela 08	Parâmetros de potabilidade de água para consumo humano.....	71
Tabela 09	Índices e graus de vulnerabilidade das águas subterrâneas da região de Belém e Ananindeua.....	76
Tabela 10	Cálculo da reserva permanente de água subterrânea de Belém e	

	Ananindeua.....	84
Tabela 11	Origem da oferta de água em Belém e Ananindeua e respectivas razões....	85
Tabela 12	Demanda diária de água na região e Belém e Ananindeua.....	86
Tabela 13	Despesa anual com produtos químicos de acordo com o regime de bombeamento.....	96
Tabela 14	Composição do custo de produção do metro cúbico de água subterrânea para um regime de bombeamento de 16 horas por dia.....	98
Tabela 15	Composição do custo de produção do metro cúbico de água subterrânea para um regime de bombeamento de 20 horas por dia.....	99
Tabela 16	Custo total de ampliação da E.T.A Bolonha.....	100
Tabela 17	Despesas com funcionários para a opção água superficial.....	103
Tabela 18	Despesa anual com produtos químicos de acordo com o regime de bombeamento.....	104
Tabela 19	Despesas com energia elétrica nos setores operacionais.....	110
Tabela 20	Composição do custo de produção do metro cúbico de água superficial tratada, para regime de bombeamento de 16 horas por dia.....	112
Tabela 21	Composição do custo de produção do metro cúbico de água superficial tratada, para regime de bombeamento de 20 horas por dia.....	112
Tabela 22	Custo de água na região de Belém e Ananindeua.....	113

RESUMO

Nas próximas décadas, o desenvolvimento econômico e a estabilidade política das nações estarão ligados à disponibilidade de água doce em seus territórios. A água será um produto tão importante quanto o petróleo ou a tecnologia e a sua escassez ou abundância poderá provocar o desencadeamento de conflitos em escala imprevisíveis.

Este problema tem como passo inicial para seu equacionamento, o conhecimento completo do ciclo hidrológico, que permitirá uma avaliação tecnicamente segura e correta da disponibilidade dos recursos hídricos de uma região. E uma parte importante é entender o que acontece com as águas subterrâneas, que é sem dúvida a parte mais desconhecida do referido ciclo. E também conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas é primordial para o estabelecimento de uma política de gestão das águas subterrâneas.

O aproveitamento pleno dos recursos hídricos subterrâneos depende de observações, análises e conclusões hidrogeológicas que permitam a captação da água nos locais mais adequados em termos de profundidade, vazão e qualidade da água. Desta forma, as etapas do trabalho desenvolvido foram as seguintes: características do quadro hidroclimático e meteorológico, avaliação das unidades geológicas, cadastro de poços tubulares profundos, análise química das águas dos aquíferos da região, avaliação do grau de vulnerabilidade das águas subterrâneas, cálculo das reservas hídricas e comparação econômica entre água subterrânea e

água superficial para escolha do manancial a ser captado para o sistema de abastecimento público.

A população de Belém estimada para o ano de 2006 é de 1.444.618 habitantes, distribuídos numa área de 210 Km² e para Ananindeua 488.106 habitantes, numa área de 184 Km².

O clima da região é equatorial úmido, do tipo Af, e o balanço hídrico indica que no período de janeiro a setembro há excesso de água no solo, o que resulta em escoamento superficial e infiltração dessa água no solo, e que nos meses de outubro e novembro há deficiência de água no solo.

As águas do aquífero livre são ácidas, apresentando pH entre 3,4 e 5,7, baixa condutividade elétrica. São classificadas como cloretada sódica ou bicarbonatada sódica. As águas do aquífero Pirabas se apresentam de excelente qualidade e são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, alcalinas e apresentam valores elevados de condutividade elétrica, dureza e alcalinidade de bicarbonato. O aquífero Pirabas se configura como a melhor opção para exploração de água subterrânea, tendo poços entre 250 e 350 metros de profundidade, que disponibilizam vazões de 250 a 380 m³/h, sendo por essas características o mais indicado para abastecimento público.

O grau de vulnerabilidade do aquífero Pirabas é considerado baixo e negligenciável, devido à espessura da zona não saturada e das características litológicas e estruturais, sendo mais protegido da infiltração de contaminantes e portanto menos vulnerável à poluição.

A região de Belém e Ananindeua possui reserva total de água subterrânea de 10,71 bilhões de metros cúbicos por ano, e uma reserva explorável de 134,7 milhões de metros cúbicos por ano, que representa toda a reserva reguladora mais 30% da reserva permanente no período de 50 anos. A disponibilidade hídrica subterrânea per capita é de 190 litros/dia..

Como o acréscimo da demanda até o ano de 2025 é de 57,03 milhões de metros cúbicos de água por ano, será necessário para atender esse acréscimo a construção de 65 poços profundos com vazão média de 250 m³/h, operando num regime de bombeamento de 16 horas por dia ou então 52 poços se o regime de bombeamento for de 20 horas por dia. Sendo também que o investimento necessário para a construção desses poços será feito parceladamente ao longo deste período de 20 anos.

Visto que o preço do metro cúbico de água subterrânea é 32,46% mais barata que a água superficial, então essa opção se configura como a mais indicada para atender o abastecimento público.

Considerando-se as hipóteses levantadas, pode-se concluir que a utilização de água subterrânea proveniente do aquífero Pirabas é a melhor opção para ampliação do sistema de abastecimento de água para a região de Belém e Ananindeua. Uma vez que a decisão tomada pela COSANPA foi a de ampliação do sistema de abastecimento de água de Belém e Ananindeua a partir de águas superficiais essa opção só será aplicável após 2025, onde pelas estimativas de crescimento populacional o sistema necessitará novamente de ampliação.

Palavras chave: Hidrogeologia. Recursos Hídricos. Água Subterrânea. Água Superficial. Belém. Ananindeua. Aquífero Pirabas. Poços Profundos.

ABSTRACT

In the next decades, the economic development and the stability politics of the nations they will be on to the water availability candy in its territories. The water will be a so important product how much the oil or the technology and its scarcity or abundant can will provoke the start of unexpected conflicts in scale.

This problem has as initial step for its good solution, the complete knowledge of the hydrologic cycle, that will technical allow to an evaluation correct insurance and of the availability of the hidrics resources of a region. And an important part is to understand what it happens with the ground waters, that are without doubt the part most unknown of the related cycle. E also to know the availability of the water-bearing systems and the quality of its waters is primordial for the establishment of one politics of management of ground water.

The full exploitation of the underground hydrics resources depends on hydrogeological comments, analyses and conclusions that more allow the captation of the water in the adjusted places in depth terms, outflow and quality of the water. In such a way, the stages of the developed work had been the following ones: characteristics of the hydroclimatic and meteorological picture, evaluation of the geologic units, register in cadastre of deep tubular wells, chemical analysis of waters of the water-bearing ones of the region, evaluation of the degree of

vulnerability of ground waters, calculate of the hydric reserves and economic comparison enters ground water and superficial water for choice of the source to be caught for the system of public supplying.

The population of Belém esteem for the year of 2006 is of 1.444.618 habitants, distributed in an area of 210 km² and for Ananindeua 488.106 habitants, in a 184 area of km².

The climate of the region is equatorial humid, of the Af type, and the hydric crocking indicates that in the period of January the September has water excess in the ground, what results in superficial draining and infiltration of this water in the ground, and that in the months of October and November has water deficiency in the ground.

The waters of the free aquifer are acids, presenting pH between 3,4 and 5,7, low electric conductivit. Are labeled chloride sodium or bicarbonate sodium. The waters of the Pirabas aquifer are of excellent quality and are classified as bicarbonated calcic, alkaline and present high values of electric conductivit, hardness and alkalinity of bicarbonate. The Pirabas aquifer configures as the best option for ground water exploration, having wells between 250 and 350 meters of depth, they supply the outflows of 250 up to 380 m³/h, being for these characteristics the most indicated for public supplying.

The degree of vulnerability of the Pirabas aquifer is considered low to neglecter, due to thickness of the zone not saturated and the lytologics and structural characteristics, being more protected of the infiltration of contaminantes and therefore less vulnerable to the pollution.

The region of Belém and Ananindeua has reserve total of ground water of 10,71 billion cubical meters in the year, and a reserve of exploration of 134,7 million cubical meters in the year, represents all regulating reserve more 30% of the permanent reserve in the 50 years. The per capita underground hydric availability is of 190 liters/day.

As the addition of the demand until the year of 2025 it is of 57,03 million cubical meters of water in the year, will be necessary to take care of to this addition the construction of 65 deep

wells with outflow measured of 250 m³/h, operating in a regimen of bombardment of 16 hours in the day or then 52 wells if the regimen of bombardment will be of 20 hours in the day. Being also that the necessary investment for the construction of these wells will be made title throughout this period of 20 years.

Since the price of the cubical meter of groundwater is 33.60% cheaper than the superficial water, then this option if configures as the most indicated to take care of the public supplying.

Considering the raised hypotheses, it can be concluded that ground water use proceeding from the Pirabas aquifer is the best option for magnifying of the system of water supply for the region of Belém and Ananindeua. A time that the decision taken for the COSANPA was of magnifying of the system of water supply of Belém and Ananindeua from superficial waters the this option alone will be applicable after 2025, where for the estimates of population growth the system will need magnifying again.

Keywords: Hydrogeology. Hydrics Resources. Ground Water. Superficial Water. Belém. Ananindeua. Pirabas Aquifer. Deep Wells.

1 INTRODUÇÃO

Por ser essencial ao homem e ter reservas limitadas, a água é cada vez mais estratégica e tem provocado debates em vários organismos internacionais. Discute-se o seu uso racional, a sua temida e inevitável escassez em várias regiões do mundo e a degradação galopante dos mananciais hídricos, pois dela depende a qualidade de vida no planeta. Se o petróleo foi motivo de guerras no século passado, neste, a fonte de conflitos será a água, especialmente em países do Oriente Médio e da África do Norte. O desequilíbrio entre o aumento populacional e a disponibilidade de água nestas regiões já é alarmante.

O volume total de água na terra é da ordem de 1,44 bilhão de quilômetros cúbicos, distribuídos da seguinte forma: 1,4 bilhão de quilômetros cúbicos nos oceanos, 29 milhões nas geleiras e calotas polares, 8,5 milhões no subsolo, 200 mil nos lagos e rios e 13 mil quilômetros cúbicos na atmosfera. Ou seja: de toda a água do planeta, cerca de 97,3 % são de água salgada. Dos 3% de água doce, 2,10 % estão armazenados nas geleiras e calotas polares e somente 0,7% é passível de exploração, o que dá cerca de 9 milhões de quilômetros cúbicos de água doce. Em outras palavras: três quartos da superfície do globo são oceanos, o que faz parecer, quando vista de longe, que a Terra é apenas água. (SETTI, 1994)

Voltando ainda aos números: 97,3 % da água do planeta está nos mares, portanto salgada, não serve nem para uso industrial, somente depois de avançado tratamento é que serve para uso. A água mais pura da natureza está nas calotas polares e nas geleiras que representam 2,10 % da água do planeta. Está assim, numa região fria e distante. As águas subterrâneas, lagos, rios e a atmosfera guardam o 0,6 % restante e é apenas esta a quantidade disponível ao homem (Figura 01). É aí que se delineia o grande problema de hoje e, sobretudo, do futuro: a gestão da água disponível, principalmente levando em conta a sua distribuição geográfica.

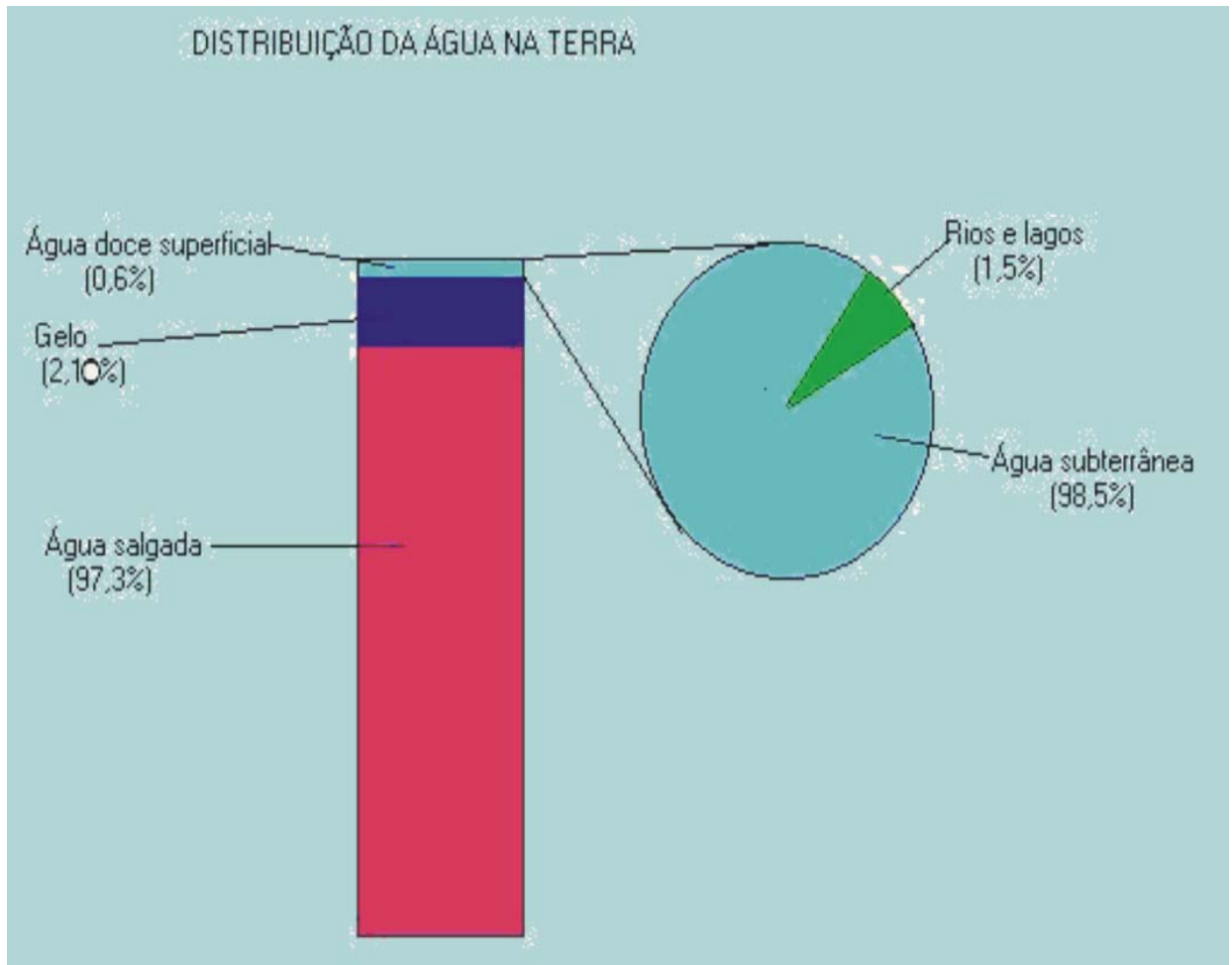


Figura 01–Distribuição de água na terra.

Fonte: www.meioambiente.pro.br/agua/guia/ociclo.htm 29.01.2005

A distribuição das águas na terra serve somente para se definir as dimensões físicas dos recursos hídricos, e é importante destacar que a disponibilidade de água esta relacionada com a velocidade que uma determinada fonte de água se renova através do ciclo hidrológico (Figura 02).

Os tempos de trânsito das águas em cada estágio do ciclo hidrológico variam de acordo com a sua localização. Nos rios o tempo médio é de 18 a 20 dias, na atmosfera a água é substituída a cada 12 dias. As águas subterrâneas profundas se renovam em centenas de anos, ou mais (REBOUÇAS, 1994).

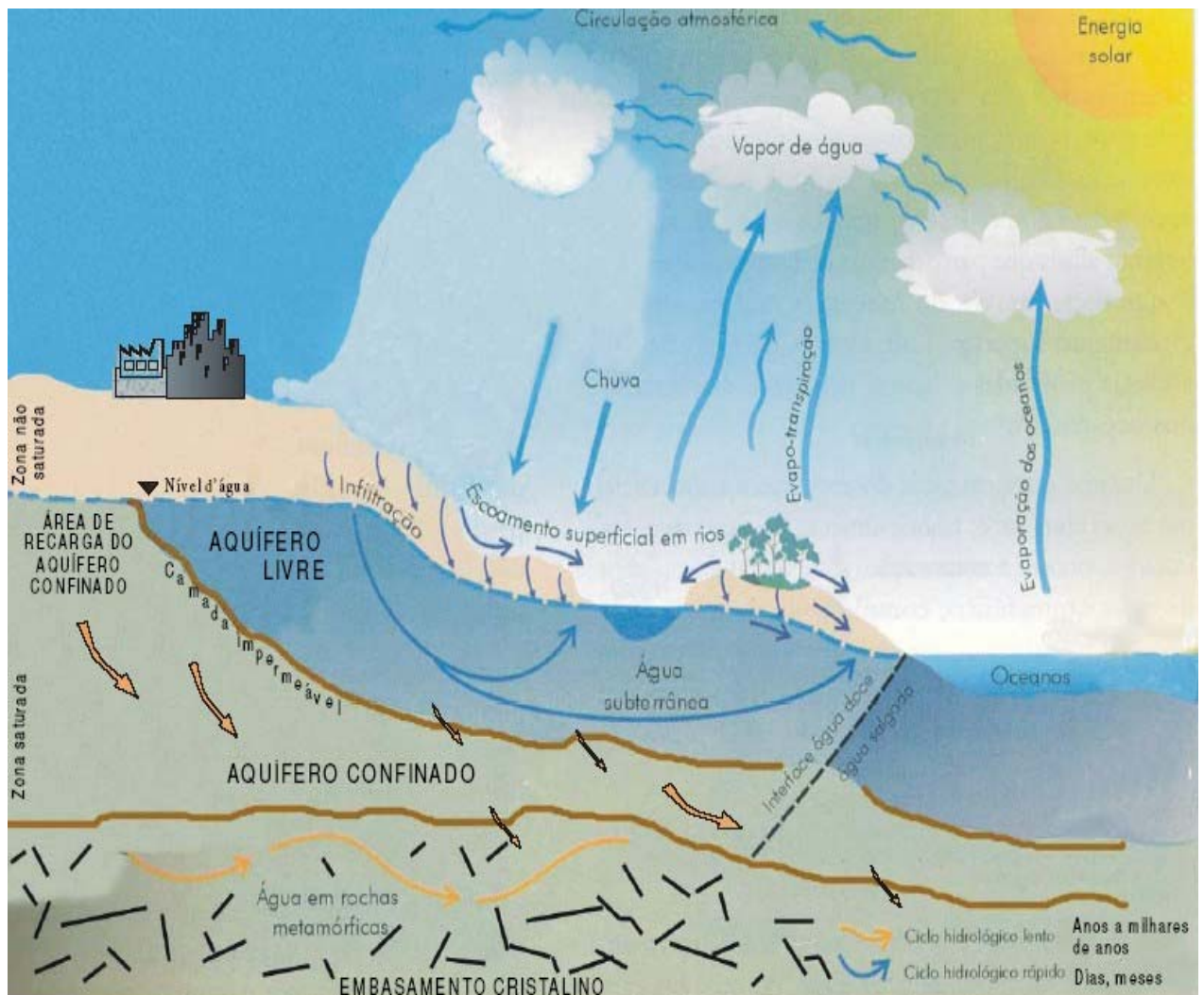


Figura 02 – Ciclo Hidrológico. Adaptado de Teixeira et al, 2000

Por essas razões, nas próximas décadas, o desenvolvimento econômico e a estabilidade política das nações estarão ligados à disponibilidade de água doce em seus territórios. A água será um produto tão importante quanto o petróleo ou a tecnologia e sua escassez ou abundância pode provocar o desencadeamento de conflitos em escalas imprevisíveis (VILLIERS, 2002). Este problema tem como passo inicial para seu equacionamento o conhecimento do ciclo hidrológico, de modo a permitir uma correta avaliação de como funciona os diversos componentes deste ciclo e da disponibilidade dos recursos hídricos de uma região. E uma parte importante é entender o que acontece com as águas subterrâneas, sem dúvida a parte mais desconhecida do referido ciclo, e também conhecer a disponibilidade dos sistemas aquíferos e a qualidade de suas águas é primordial ao estabelecimento de uma política de gestão integrada dos recursos hídricos.

No Brasil, da mesma forma que em outras partes do mundo, nas últimas décadas a utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma acelerada, e as indicações são de que essa tendência deverá continuar. Para comprovar esse fato temos um crescimento contínuo do número de empresas privadas e órgãos públicos com atuação na pesquisa e captação dos recursos hídricos subterrâneos. Também é crescente o número de pessoas interessadas pelas águas subterrâneas, tanto nos aspectos técnico-científico e sócio-econômico como no administrativo e legal. E esse crescimento, da utilização das reservas hídricas subterrâneas se deve ao fato de que, geralmente, elas apresentam excelente qualidade e um custo de produção menor. Afinal dispensam obras caras de captação, adução e tratamento.

O Brasil é um dos países onde estão as maiores reservas de água potável do mundo. Mas, ao mesmo tempo, o país consta também da lista daqueles onde se registram os mais altos índices de desperdício. De acordo com o relatório da reunião do Parlamento Latino Americano, realizada em 2003 no México, o Brasil desperdiça 40% da água potável disponibilizada para o consumo humano. A média admitida pela ONU - Organização das Nações Unidas é de 20%. Na América Latina apenas Argentina e Chile apresentam índices menores que este.

A exploração de água subterrânea está condicionada a três fatores:

- a) Quantitativo: intimamente ligada aos parâmetros físicos e hidrodinâmicos do aquífero, a exemplo da condutividade hidráulica e ao coeficiente de armazenamento (condição do aquífero);
- b) qualitativo: influenciada pela composição das rochas e condições climáticas e de renovação das águas;
- c) econômico: que depende da profundidade do nível d'água e das condições de bombeamento. Muitas vezes o aquífero é superficial, mas o nível estático pode estar profundo. Na concepção de gestão integrada, o aquífero é o pacote rochoso (reservatório).

Devido às dificuldades enfrentadas pelas empresas concessionárias que atuam no setor (Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA e Serviço Autônomo de água e Esgoto de Belém - SAAEB) em atender a demanda hídrica decorrente do crescimento acelerado da população de Belém e Ananindeua, principalmente de pessoas de baixo poder aquisitivo e

imigrantes do interior do Estado, observou-se um aumento da utilização da água subterrânea para abastecimento residencial, com utilização indiscriminada de poços construídos sem assistência e sem técnicas adequadas.

No sentido de prover instrumentos para a tomada de decisão no que se refere ao atendimento da demanda por água potável, principalmente para consumo humano, essa Dissertação apresenta um estudo comparativo da viabilidade econômica de se utilizar água subterrânea proveniente da captação em poços tubulares profundos em Belém e Ananindeua, ou água superficial proveniente da captação no rio Guamá, transportada para os lagos Bolonha e Água Preta e depois aduzida para as estações de tratamento. É apresentada assim, uma avaliação das potencialidades dos aquíferos em termos de suprir essa demanda de conhecimento.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada fisiograficamente na Zona Guajarina. Situa-se entre as coordenadas geográficas 01° 03' e 01° 32' de latitude sul e 48° 11' e 48° 39' de longitude oeste (Figura 03). Faz parte da Região Metropolitana de Belém (RMB) e compreende os municípios de Belém, distritos de Icoaraci e Outeiro com área de aproximadamente 210 km², e o município de Ananindeua com área de 184 km² (PARÁ, 1995). É limitada ao sul pelo rio Guamá, ao oeste pela baía do Guajará, ao norte pela baía do Marajó e ao leste pelos municípios de Marituba e Benevides (Figura 03).

A população estimada de Belém para o ano de 2006 é de 1.444.618 habitantes e para Ananindeua 488.106 habitantes (IBGE, 2004).

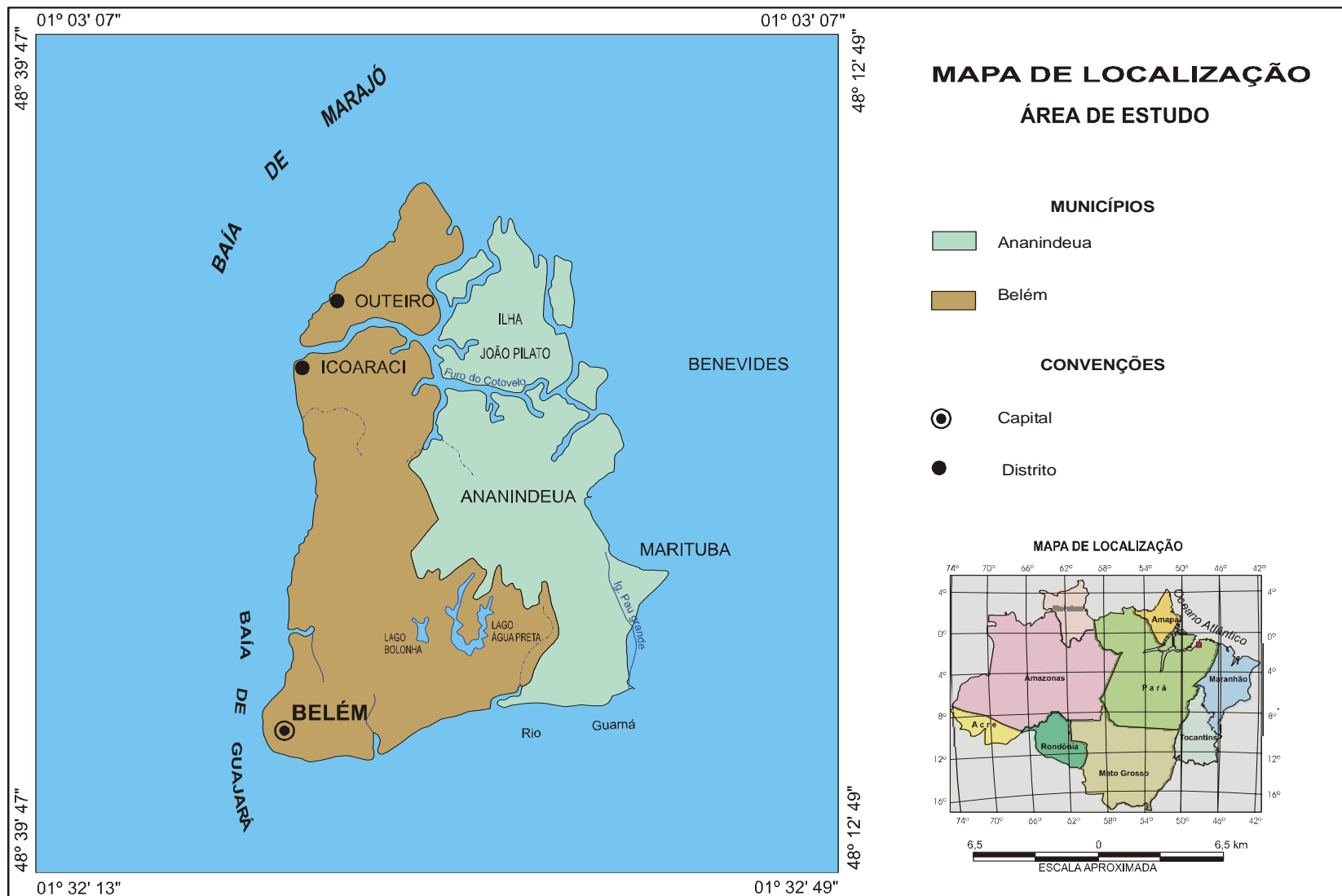


Fig. 03 - Mapa de localização da área de estudo. Fonte: PEHRMB, 2002

3 OBJETIVOS

3.1 O objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo comparativo da viabilidade econômica e técnica da disponibilização de água para abastecimento público da região de Belém e Ananindeua, considerando-se as opções águas superficial e subterrânea.

3.2 Como objetivos secundários podem ser citados:

- Avaliar o potencial de produção dos vários sistemas aquíferos da região com base nos dados técnicos de construção de poços tubulares.
- Avaliar as necessidades de oferta de água para bairros e distritos, considerando-se a densidade populacional dos mesmos e a taxa anual de crescimento populacional.
- Com base no conhecimento da localização da rede pública de distribuição de água existente, avaliar alternativas econômicas de uma expansão ou da construção de redes usando-se água produzida a partir de poços tubulares.
- Estabelecer estratégias para o abastecimento público, considerando informações tais como: densidade populacional, capacidade de produção de aquíferos e disponibilidade da rede pública de distribuição.
- Verificar a relação existente entre a crescente substituição do abastecimento público de água, por abastecimento via poços tubulares particulares e o comportamento das reservas hídricas subterrâneas, se não há prejuízos a sua capacidade, esgotamento ou possibilidades de contaminação.

4 METODOLOGIA

A realização do trabalho compreendeu as etapas e procedimentos metodológicos a seguir descritos:

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A primeira etapa foi um levantamento bibliográfico sobre o tema escolhido e sobre a área em estudo. Na primeira fase dessa atividade, a síntese realizada permitiu compor um quadro reunindo informações sobre aspectos climáticos, geologia regional e local, bem como sobre parâmetros hidrogeológicos dos sistemas aquíferos. Esta foi uma atividade contínua até o final do trabalho.

4.2 LEVANTAMENTO E CADASTRO DE POÇOS

Tendo por objeto os poços tubulares profundos existentes na área de estudo, pesquisou-se as informações contidas nas fichas de poços constantes no banco de dados do Projeto de Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências - PEHRMBA e da Prefeitura Municipal de Belém (SAEEB).

Os dados levantados foram: localização, proprietário, cota do terreno, vazão, nível estático e nível dinâmico, sistema de bombeamento, uso dado à água, perfil geológico.

A análise crítica desses dados permitiu a seleção de poços que possuem coordenadas geográficas e perfis geológicos confiáveis de acordo com os aquíferos explorados.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE BELÉM E ANANINDEUA

A partir de dados do relatório do ano de 2004 da Secretaria Executiva de Produção da Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA e também de dados de produção do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém – SAAEB, se apresenta a caracterização do sistema de abastecimento público de água potável em Belém e Ananindeua, especificando a parcela de população atendida por água superficial e a parcela atendida por água subterrânea.

4.4 ESTUDO COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL

Para realizar esse estudo comparativo uma série de procedimentos foram adotados:

- a) Estabelecimento de uma oferta necessária ao longo dos próximos 20 anos (PFEIFFER, 1993), que é também o tempo utilizado pela concessionária para o planejamento do abastecimento público em longo prazo, havendo revisões quinquenais para possíveis correções;
- b) levantamento do custo das obras necessárias, neste caso para disponibilizar poços tubulares profundos, através de dados obtidos junto a empresas especializadas na construção destes. Foram incluídos os gastos relativos a poço construído na formação indicada, revestimento, cimentação, pré-filtro, laje e desinfecção, ensaios, equipamentos para exploração, equipamentos elétricos, equipamentos de recalque e construção de casas de bombas;
- c) apropriação do custo operacional anual considerando as despesas com funcionários, despesas com produtos químicos e energia elétrica, informações essas fornecidas pelas companhias de águas e energia elétrica;
- d) para determinação do custo anual de produção de água subterrânea adotou-se alguns conceitos de matemática financeira que são aplicados em grandes e pequenos projetos de engenharia (LINSLEY & FRANZINE, 1978; OLIVEIRA *et al.* 2000). Neste método é feita a conversão dos investimentos em uma unidade equivalente, onde os valores referentes ao custo inicial da obra devem ser multiplicados por fatores calculados por juros compostos em função da vida útil provável dos elementos componentes da obra e da taxa anual de juros, através da expressão:

$$Fa = i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$

Onde:

Fa = fator de anualização ou de reposição do capital

i = taxa de juro anual

n = vida útil provável (em anos)

Quando isso é feito, obtém-se uma unidade suficiente para compensar exatamente o capital investido em “n” anos a uma taxa de juros “i”. A divisão do custo anual total pelo volume anual produzido permite a determinação do metro cúbico de água subterrânea tratada.

- e) na metodologia para cálculo do custo de obras, custo operacional anual e conversão dos investimentos em uma unidade equivalente necessária para utilização de água superficial, foram considerados gastos com ampliação do sistema de captação, adução e estação de tratamento de água, onde a quantificação e estimativa de vazão adicional serão as mesmas adotadas para o estabelecimento do custo de água subterrânea. Esses dados foram obtidos junto à Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA, concessionária estadual, que opera o sistema de captação, tratamento e distribuição de água superficial, água essa oriunda do Rio Guamá.

5 CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMÁTICAS E METEOROLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A potencialidade dos recursos hídricos subterrâneos de uma região está relacionado às características climáticas e geológicas. As características climáticas relacionam-se à alimentação da água subterrânea, e as características geológicas indicam o modo de ocorrência e disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos (TANCREDI, 1996).

5.1 CLIMA

A Região Guajarina, onde se localiza a área de estudo, apresenta clima equatorial úmido, do tipo Af, segundo a classificação de Koppen (OLIVEIRA & SOUZA, 1997).

A Tabela 01 apresenta os parâmetros climáticos médios, no período de 1961 a 1990, da estação meteorológica de Belém, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET/Belém.

A Figura 04 e Figura 05 apresentam os gráficos dos valores médios mensais e a variação anual da precipitação pluviométrica, temperatura, umidade relativa do ar e evaporação total.

É uma região muito chuvosa, com precipitação média anual em torno de 2.893,1 mm, com período de chuvas indo de dezembro a maio, enquanto que de junho a novembro ocorre uma significativa diminuição na precipitação pluviométrica (Figura 04), tendo a maior precipitação pluviométrica no mês de março e a menor precipitação no mês de novembro.

Tabela 01 – Parâmetros climáticos médios mensais e anuais da estação meteorológica de Belém, no período de 1960 a 1990

MESES	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA TOTAL (mm)	TEMPERATURA MÉDIA (° C)	UMIDADE RELATIVA (%)	EVAPORAÇÃO TOTAL (mm)
JANEIRO	366,50	26,6	86,0	47,8
FEVEREIRO	417,50	24,5	91,0	38,5
MARÇO	436,20	25,5	91,0	42,0
ABRIL	360,00	26,7	91,0	42,4
MAIO	304,40	25,9	88,0	63,5
JUNHO	140,20	25,9	86,0	65,2
JULHO	152,10	25,8	85,0	76,1
AGOSTO	131,10	26,0	84,0	83,6
SETEMBRO	140,80	26,1	84,0	77,0
OUTUBRO	116,10	26,4	83,0	82,0
NOVEMBRO	111,80	26,4	83,0	82,9
DEZEMBRO	216,40	26,1	86,0	70,1
MÉDIA MENSAL		25,9	86,5	
TOTAL ANUAL	2.893,10			771,1

Fonte : INMET, 1991

As características climáticas médias de Belém e Ananindeua constantes da Tabela 01 são segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/Belém):

- Precipitação pluviométrica total 2.893,1 mm
- Temperatura média anual 25,9 °C
- Umidade relativa média do ar 86,5 %
- Evaporação total 771,6 mm
- Insolação total 2.219,8 horas

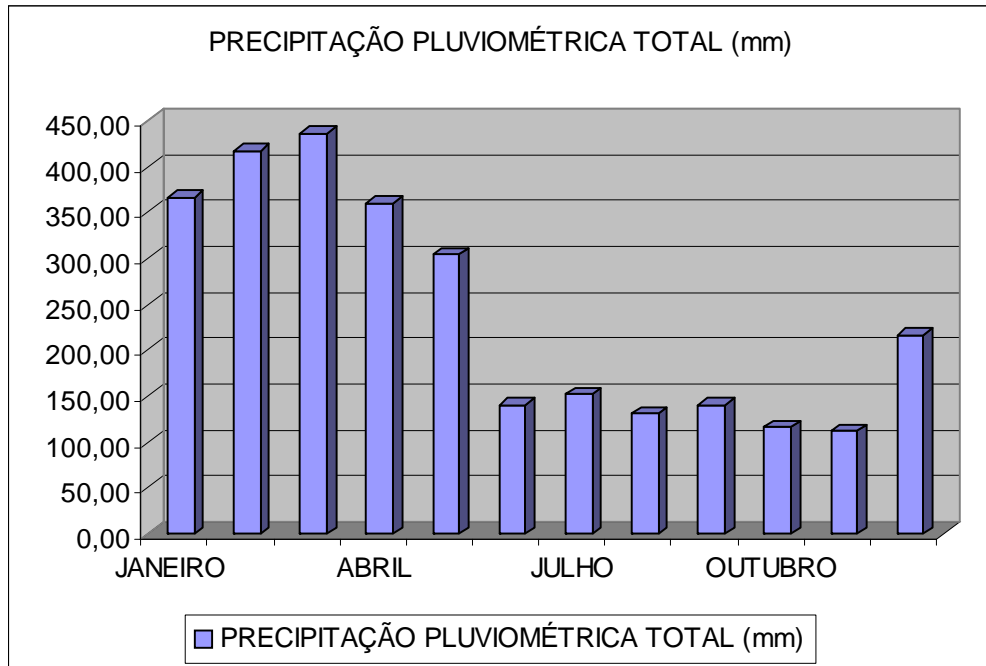


Figura 04 – Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica anual na estação meteorológica de Belém (período 1961 a 1990)

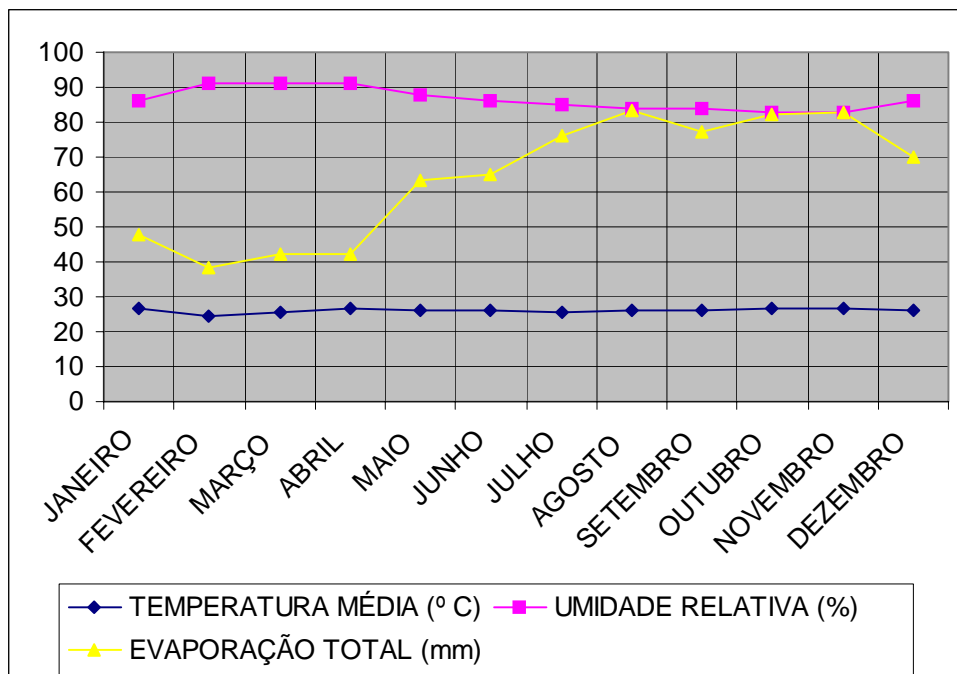


Figura 05 – Distribuição média mensal da temperatura, da umidade relativa do ar, da evaporação total (período 1961 a 1990).

Tabela 02 – Balanço hídrico segundo o método de Thornthwaite & Mather para uma reserva hídrica de 150 mm de solo

MESES	TEMP. (° C)	ETP DIÁRIA	CORR	ETP (mm)	PREC. PLUV. TOTAL (P) (mm)	P-ETP	NEG. ACUM.	ARM. (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JANEIRO	26,6	4,5	31,3	141	366	225	0	150	0,0	141	0,0	225
FEVEREIRO	24,5	2,4	28,3	68	417	349	0	150	0,0	68	0,0	349
MARÇO	25,5	3,4	31,2	106	436	330	0	150	0,0	106	0,0	330
ABRIL	26,7	4,6	30,3	139	360	221	0	150	0,0	139	0,0	221
MAIO	25,9	3,9	31,1	121	304	183	0	150	0,0	121	0,0	183
JUNHO	25,9	3,9	30,2	118	140	22	0	150	0,0	118	0,0	22
JULHO	25,8	3,9	31,2	122	152	30	0	150	0,0	122	0,0	30
AGOSTO	26,0	3,8	31,2	119	131	12	0	150	0,0	119	0,0	12
SETEMBRO	26,1	4,0	30,3	121	141	20	0	150	0,0	121	0,0	20
OUTUBRO	26,4	4,3	31,2	134	116	-18	-18	133	-17,0	133	1,0	0
NOVEMBRO	26,4	4,3	30,4	131	112	-19	-37	116	-17,0	129	2,0	0
DEZEMBRO	26,1	3,9	31,3	122	216	94	0	150	34,0	122	0,0	60
TOTAL	25,90			1.442	2.891	1.449			0,0	1.439	3,0	1.452

5.2 BALANÇO HÍDRICO

Com intuito de entender a parcela de representatividade do clima na matriz dos recursos hídricos da região estudada, calculou-se o balanço hídrico.

Na Tabela 02 está o cálculo do balanço hídrico de Belém, obtido pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), considerando-se uma lâmina d'água no solo de 150 mm, com os dados médios da estação meteorológica de Belém no período 1961 a 1990 (Tabela 01).

O balanço utiliza para seus cálculos a temperatura média mensal (T °C), precipitação pluviométrica, medidas na estação meteorológica, a evapotranspiração potencial (ETP) é obtida pelo produto da evapotranspiração diária (ETP DIÁRIA) e os valores de correção específica para o mês. Esta tabela de correção relaciona a latitude e o hemisfério onde se encontra a área estudada.

Aferição:

$$ALT = 0$$

$$ETP = ETR + DEF = 1.439 + 3 = 1.442 \text{ mm}$$

$$P = ETR + EXC = 1.439 + 1.452 = 2.891 \text{ mm}$$

$$P = ETP + (P-ETP) = 1.442 + 1.449 = 2.891 \text{ mm}$$

$$(P-ETP) = EXC - DEF = 1.452 - 3 = 1.449 \text{ mm}$$

Os dados obtidos no balanço hídrico indicam que no período de janeiro a setembro a precipitação pluviométrica média mensal (P) é maior que a evapotranspiração potencial (ETP) e por conseguinte, há excesso de água, o que resulta em escoamento superficial e infiltração de água no solo. Nos meses de outubro e novembro a precipitação pluviométrica mensal é menor que a evapotranspiração potencial, ocorrendo a retirada de água do meio e há deficiência de água no solo; a partir de dezembro volta a crescer a quantidade de água no solo, quando há primeiramente uma reposição de água neste e depois excesso, retornando aí novamente o ciclo. A figura 06 apresenta assim o balanço hídrico climatológico da região de Belém e Ananindeua, segundo dados da estação meteorológica de Belém (INMET/Belém).

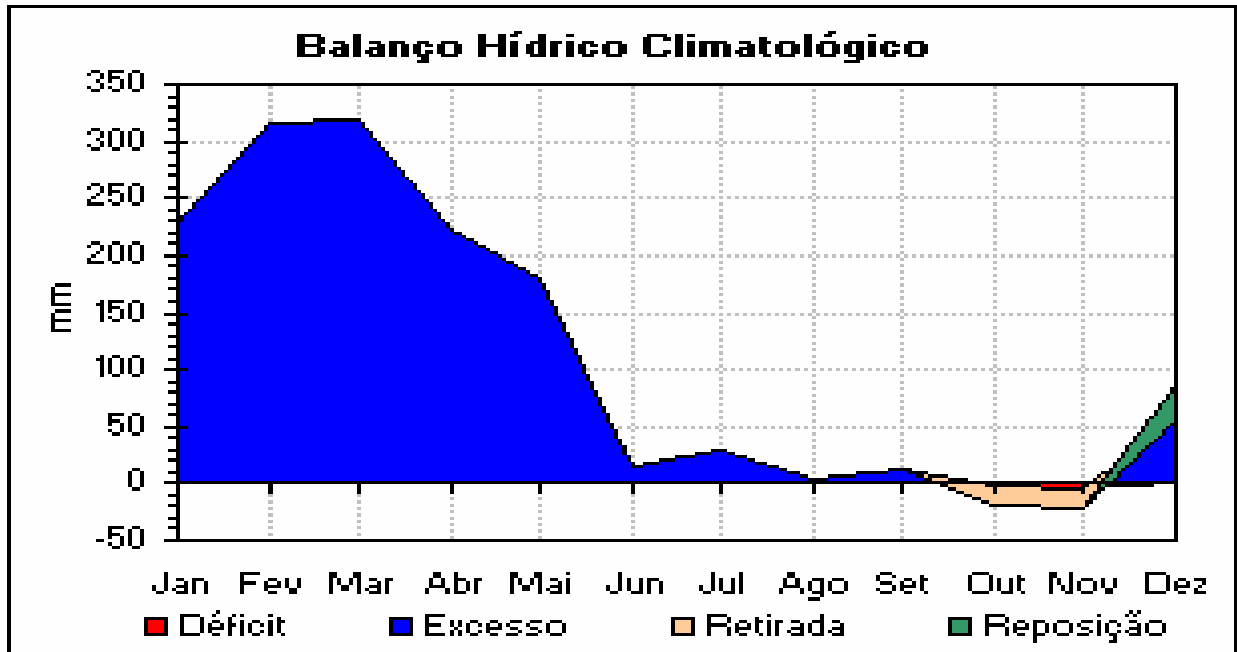


Figura 06 – Balanço hídrico climatológico de Belém e Ananindeua, estação Meteorológica de Belém (período 1961 a 1990)

6 CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Os condicionamentos geológicos controlam os parâmetros que definem a natureza e a distribuição das águas subterrâneas. As formas do terreno resultantes dos processos geomorfológicos condicionam em parte a circulação da água durante o escoamento superficial e a infiltração a partir da superfície do terreno. As formações geológicas constituem as grandes unidades geométricas e cronológicas que governam o comportamento da água subterrânea na crosta terrestre (TANCREDI, 1996).

Vários estudos pontuais realizados na região de Belém e Ananindeua foram importantes para a regionalização do conhecimento sobre os diferentes aspectos desta área. O arranjo temporal das unidades estratigráficas da região de Belém e Ananindeua pode ser visto na Figura 07

6.1 EMBASAMENTO

Formado por rochas cristalinas pertencentes ao Cráton São Luís e provavelmente unidades relacionadas ao Cinturão Gurupi/Araguaia. São gnaisses, anfíbolitos, migmatitos, metagranitóides, rochas sedimentares, vulcano-sedimentares e corpos alcalinos, de idades paleoproterozóicas a neoproterozóicas, e granitos de idade eo-cambriana (ABREU, 1990; PALHETA, 2001).

Esse embasamento situa-se a profundidades, na RMB, no limite oeste da área, de 350 - 400m.

Figura 07 – Arranjo temporal das unidades estratigráficas da região de Belém e Ananindeua

IDADE		LITO-ESTRATIGRAFIA	SEQÜÊNCIA DEPOSICIONAL
PLIOCENO - QUATERNÁRIO		Sedimentos Pós-Barreiras	C Depósitos areno-argilosos amarelados
MIOCENO	SUPERIOR	Paleosolo Laterítico	DS3
	MÉDIO	Formação Barreiras Superior - Médio	B Depósitos continentais (leques aluviais) e de transição (mangue, canais e planícies de maré) - materiais arenosos, conglomeráticos e argilosos
	INFERIOR	Formação Barreiras Inferior Formação Pirabas	DS2 A Depósitos de mangue/planície de maré, plataforma/laguna e plataforma marinha externa - folhelhos negros, argilitos, margas, arenitos, calcários etc.
OLIGOCENO SUPERIOR		Paleosolo Bauxítico - laterítico	DS1
PRÉ-CAMBRIANO EO-CAMBRIANO		Embasamento	Gnaisses, anfibolitos, migmatitos, metagranitóides, rochas sedimentares e vulcano sedimentares, corpos alcalinos e granitos

Fonte : ROSSETTI (2001)

6.2 FORMAÇÃO PIRABAS

A Formação Pirabas aflora descontinuamente nos estados do Pará, Maranhão e Piauí. Representa uma das mais importantes unidades litoestratigráficas do norte do Brasil. O seu conteúdo fossilífero representa um dos melhores testemunhos paleontológicos do Cenozóico marinho brasileiro. No Estado do Pará, a Formação Pirabas é encontrada em subsuperfície em toda a região Bragantina e em superfície na faixa litorânea da zona do salgado.

É formada por calcários ricamente fossilíferos com intercalações de argilas e areia. Estão presentes dolomitos, margas, folhelhos de colorações cinza esverdeado e negro, com alguns níveis de pirita, coquinas, bioclastos e biohermitos.

A paleofauna indica ser sua idade da transição Oligo-Mioceno (FERREIRA 1967, 1980, 1982), porém atribuí-se também ser sua idade do Mioceno Inferior (FERNANDES & TÁVORA, 1990).

O paleoambiente é interpretado como sendo marinho nerítico de águas agitadas, límpidas, rasas, as proximidades de litoral de mar aberto e costa baixa, de clima quente (FERREIRA & CUNHA, 1957; GÓES *et al.*, 1990).

As variações litopaleontológicas sugerem diversas proposições e divisões faciológicas para a Formação Pirabas, segundo FERREIRA (1977) e FRANCISCO & FERREIRA (1988) as diferenciações seriam:

- Ecofácies Castelo: calcários duros diversificados, muito comuns em forma de coquinas, biohermitos, micritos e dolmicritos; associados a ambiente de mar aberto de águas agitadas e quentes, com salinidade normal, aflora no litoral, principalmente em Salinópolis e Fortalezinha.
- Ecofácies Capanema: calcários argilosos (margas), micritos e bioclastos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos, associados a ambientes lacunares, de borda de bacia e estuarino, aflora em Capanema.

- Ecofácies Baunilha Grande: argilas negras com vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros contendo no seu interior crustáceos branquimes (carcinólitos); associados a ambiente de mangue.

A disposição em superfície e subsuperfície dos sedimentos Pirabas sugere que a ecofácies Baunilha Grande é descontínua estando localizada acima da ecofácies Castelo e abaixo da ecofácies Capanema (FERREIRA, 1980).

Segundo GÓES *et al.* (1990), a Formação Pirabas teria sete litofácies: biocalcirudito, biocalcarenito não estratificado, biocalcarenito estratificado, marga, folhelho verde, biohermito e calcilito. Com base nesta subdivisão, estes autores estabeleceram que a Formação Pirabas não apresenta uma posição estratigráfica única, nem são restritas geograficamente.

Estas rochas estão sobrepostas, principalmente e discordantemente, ao embasamento cristalino e as rochas cretáceas (ROSSETTI, 2001). O seu limite superior encontra-se, às vezes, interdigitado com a Formação Barreiras (GÓES *et al. op. cit.*). Não se sabe bem a sua espessura, mas em Capanema encontram-se espessuras de 11 a 48m (ACKERMANN, 1976). As formações Pirabas e Barreiras fazem parte do mesmo sistema deposicional, considerando-se os estágios finais da sedimentação Pirabas e o inicial da deposição Barreiras como sendo contemporâneos (GÓES *et al. op. cit.*, ROSSETTI *op. cit.*).

6.3 FORMAÇÃO BARREIRAS

A Formação Barreiras que é representado por sedimentos continentais argilosos, arenosos e conglomeráticos, de coloração amarelada à alaranjada com níveis de arenito ferruginosos, pouco consolidados, com estruturas sedimentares do tipo estratificações e conteúdo fóssilífero vegetal. A espessura total do Grupo Barreiras atinge em torno de 100 m. Apresenta também estruturas como microfraturas e microfalhas (MATTA, 2002).

GÓES & TRUCKENBRODT (1980) sugeriram relações de contacto concordantes entre as unidades Pirabas e Barreiras, admitindo uma afinidade litológica das argilas cinza esverdeadas

da base do Grupo Barreiras na sua fácies argilo-arenosa com os sedimentos pelíticos do topo da Formação Pirabas e dividiram os sedimentos da Formação Barreiras na região Bragantina em três litofácies: argilo-arenosa, arenosa e conglomerática, sendo cronologicamente do mais novo para o mais antigo.

- fácies argilo-arenosa: litologicamente heterogênea, interdigitação de camadas argilosas, areno-argilosas, argilo-arenosas e arenosas limpas, maciças ou estratificadas.
- fácies arenosa: é a mais representativa, são arenitos amarelados de granulação média e mal selecionados, com microconglomerados moderadamente selecionados que são característicos de suas partes mais basais e medianas.
- fácies conglomerática: assenta-se de forma discordante sobre o embasamento de rochas pré-cambrianas. São seixos de rochas cristalinas, mal selecionados e pouco retrabalhados, com matriz areno-argilosa.

Com base em vários estudos, principalmente sedimentológico e paleontológico, ROSSETTI (*op. cit.*) integralizou informações sobre as formações Pirabas e Barreiras, seqüenciando a região nordeste do Pará (Figura 07)

Seqüência A – compreende a Formação Pirabas e a parte inferior da Formação Barreiras, sendo que ocorre uma gradação lateral e ascendente dos depósitos Pirabas para os argilitos e arenitos Barreiras. Esta seqüência é atribuída a ambientes deposicionais de plataforma marinha externa (associação de fácies carbonáticas), plataforma/laguna restritas (associação de fácies de mistura carbonática-siliciclástica), mangue/planície de maré (associação de fácies folhelho negro), depositada entre Oligoceno Superior - Mioceno Inferior. O seu limite inferior encontra-se em discordância com o embasamento ou com rochas cretácea a terciária inferior, a partir de um paleosolo laterítico-bauxítico. O superior é definido por uma superfície erosiva marcada por um horizonte de paleosolo com abundância de raízes fósseis.

Seqüência B – corresponde à parte intermediária e superior da Formação Barreiras. São depósitos de origens continentais (leques aluviais) e de ambientes transacionais de influência de maré como mangue (associação de fácies folhelho negro), canais de maré (associação de fácies arenosa) e planícies de maré (associação de fácies de acamamento heterolítico). Foi considerada como depositada a partir do Mioceno Médio.

6.4 SEDIMENTOS PÓS-BARREIRAS

A denominação Pós-Barreiras foi adotada por SILVA & LOEWENSTEIN (1968) para designar os sedimentos areno-argilosos amarelados, de granulação grossa, inconsolidados. Esses sedimentos estão em discordância erosional sobre o Grupo Barreiras, cujo contacto é marcado por seixos rolados de arenitos ferruginosos e fragmentos dos sedimentos Barreiras.

Segundo ROSSETTI (1991) os sedimentos Pós-Barreira correspondem à fácies argilo-arenosas, geralmente maciça, marcada por arenitos argilosos, mal selecionados e com grânulos. As características deposicionais dos sedimentos sugerem atuação de movimentos gravitacionais, além dos processos dissipativos de dunas eólicas na faixa litorânea.

A Figura 08 apresenta o mapa geológico da região de Belém e Ananindeua.

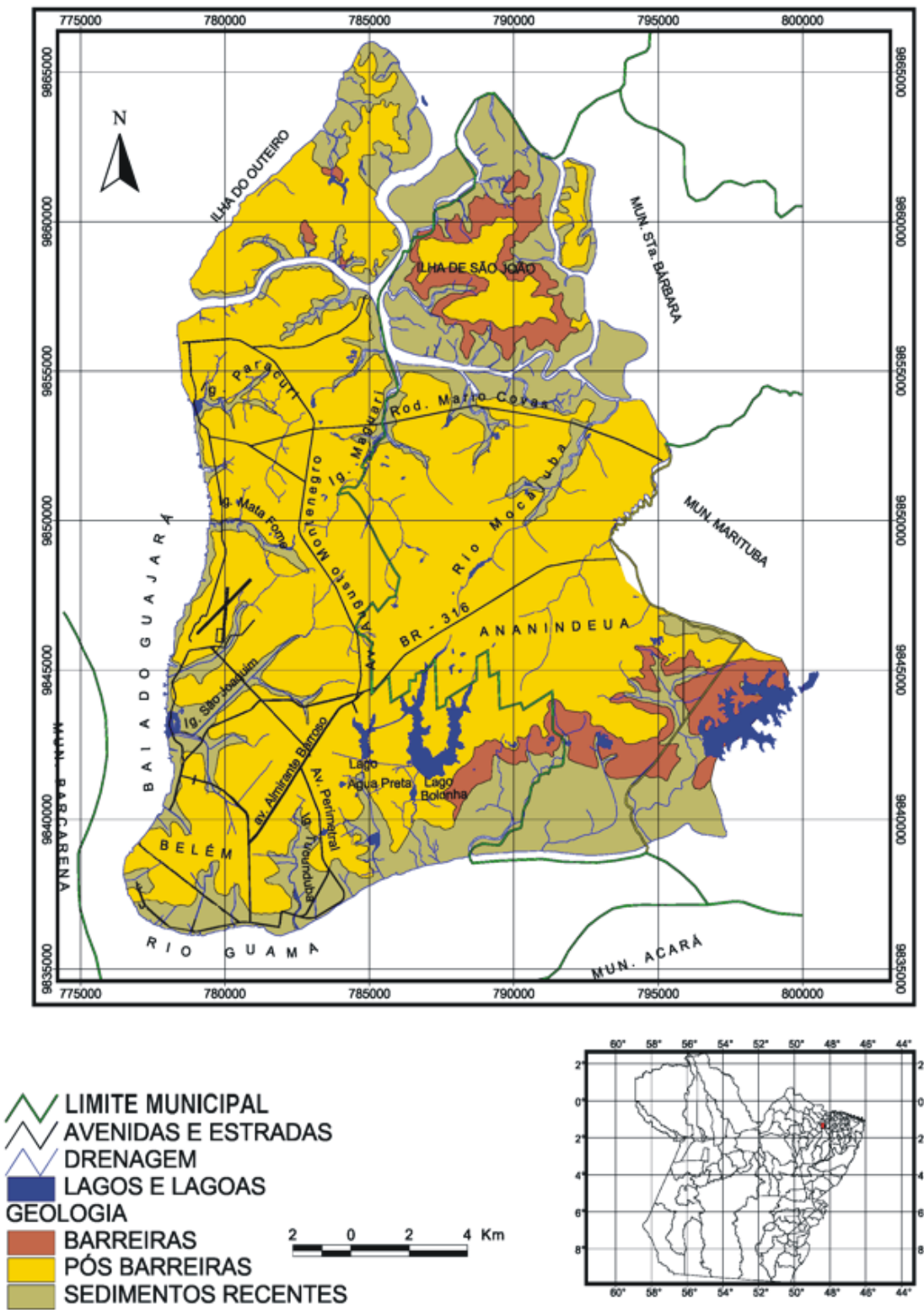


Figura 08 - Mapa geológico da região de Belém e Ananindeua (MATTA, 2002)

6.5 HIDROGEOLOGIA

6.5.1 Sistemas Aquíferos

Adotou-se nesse trabalho o termo “sistemas aquíferos” para definir o conjunto de aquíferos que ocorrem no mesmo pacote sedimentar e possuem características hidrogeológicas e hidrodinâmicas semelhantes.

As Figuras 10 e 11 mostram o perfil básico dos sistemas aquíferos da região de Belém e Ananindeua, com descrição litológica e da perfilagem gama dos poços do Conjunto Eduardo Angelim e do bairro da Guanabara.

Os sistemas aquíferos na região de Belém e Ananindeua, segundo MATTA (2002), incluem aquícludes, aquíferos e aquíferos, consistindo principalmente de estratos horizontais ou sub-horizontais.

Os principais sistemas são constituídos pelos sedimentos clásticos arenosos de origem continental do Quaternário e do Grupo Barreiras, e pelos arenitos de origem marinha da Formação Pirabas, estes em profundidades maiores de 80 m. A distribuição desses é irregular da superfície até uma profundidade de aproximadamente 100 m.

As características hidrodinâmicas desses sistemas aquíferos também apresentam uma grande amplitude de variação e estão razoavelmente estudados até uma profundidade em torno de 280m. A partir daí, as características hidrodinâmicas e as espessuras das camadas de sedimentos não são conhecidas. O gradiente hidráulico e a velocidade de escoamento das águas subterrâneas são pequenos devido ao relevo relativamente plano e a presença de sedimentos argilosos.

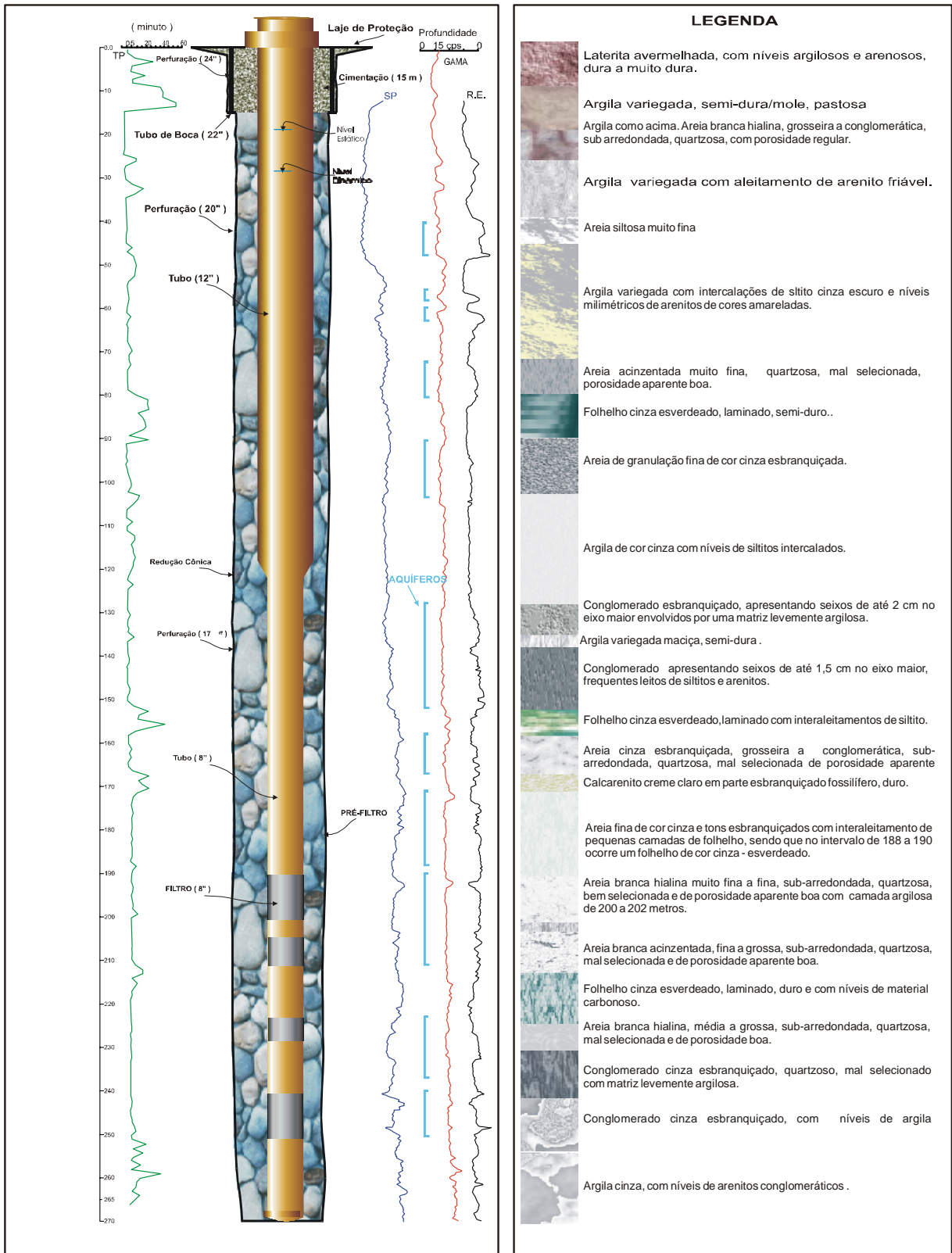


Figura 09 - Poço do Conjunto Eduardo Angelin - Perfil Composto Fonte: CPRM (2002)

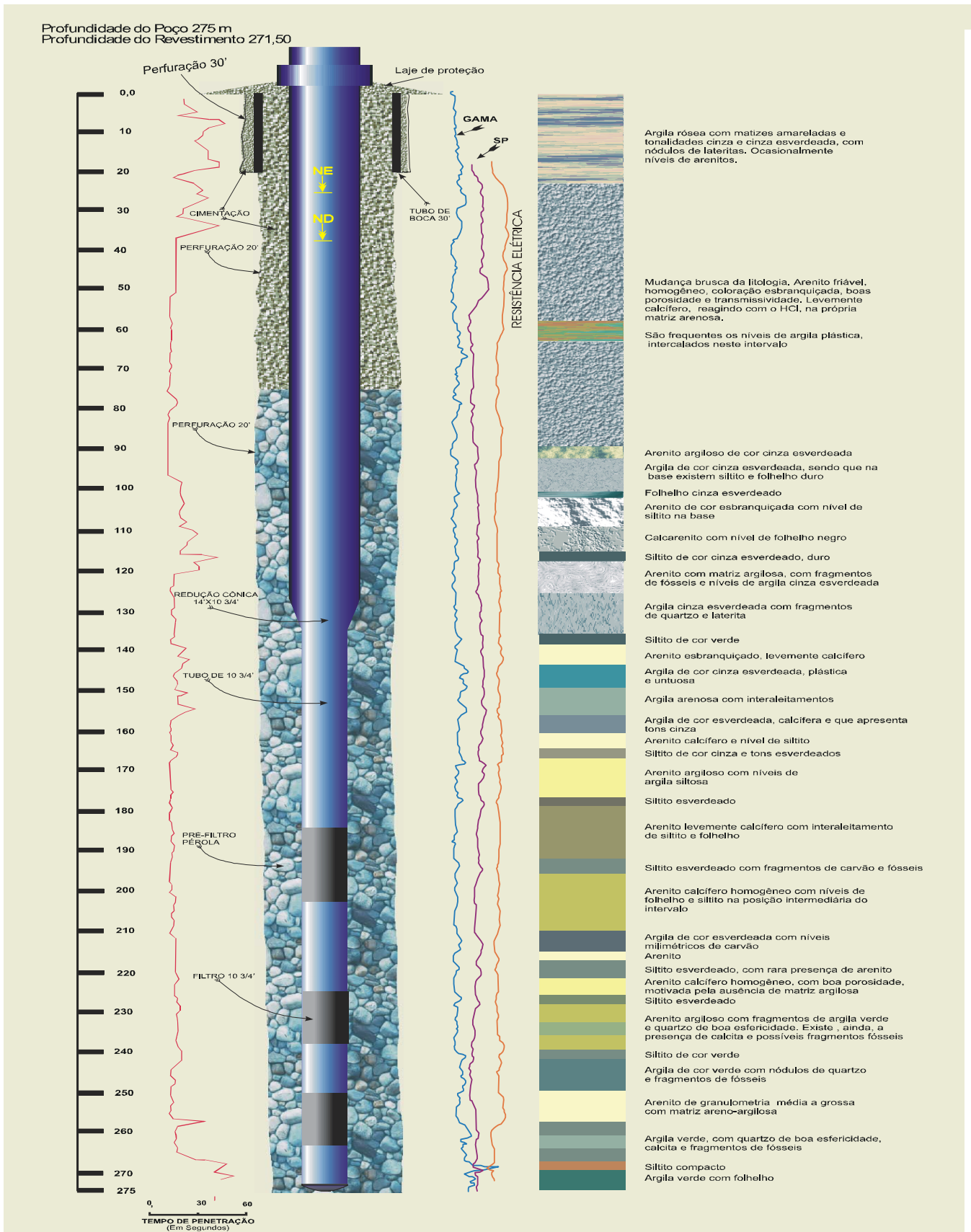


Figura 10 - Perfil composto do poço Guanabara Fonte: CPRM (2002)

Esses sistemas mostram uma complexidade geométrica de suas unidades aquíferas, com espessuras saturadas de até 30 metros, interaleitadas com camadas impermeáveis de espessuras equivalentes, as quais não possuem comunicações hidráulicas. Aquíferos confinados aparecem a partir dos 25 metros.

MATTA (2002) sugeriu a ocorrência de cinco sistemas aquíferos na região de Belém e Ananindeua:

- ALUVIÕES: areias de granulação fina a média, intercaladas com argilas escuras. Tem boa capacidade armazenadora de água com vazões em torno de 10 m³/h. Na maioria das vezes os aquíferos apresentam água de boa qualidade para consumo humano, porém de pouca significância na área de Belém e Ananindeua em função de suas espessuras inferiores a 10m.

São aquíferos livres, cuja recarga se dá unicamente pela precipitação pluviométrica, enquanto a descarga ocorre através dos rios, igarapés, evapotranspiração e poços de captação de água.

- PÓS-BARREIRAS: sedimentos inconsolidados, areno-argilosos, finos a médios, com concreções ferruginosas, existentes até 25 metros. Apresenta potencial hidrogeológico fraco, atestado pelas vazões normalmente abaixo de 5 m³/h. Disponibiliza água de boa qualidade para consumo humano, muito utilizado pela população através de poços tubulares rasos. Tem alguns casos em que essa água pode não ser potável em função do teor excessivo de ferro, fazendo com que seja necessário, para consumo humano, a construção de aeradores e filtros para desferrificação, tornando-os assim, por vezes, inviáveis economicamente.

São aquíferos livres ou semi-confinados e sua recarga se dá pelas precipitações pluviométricas. Em função de sua profundidade quase sempre inferior a 25 metros, são

aquíferos que apresentam alta vulnerabilidade junto a fontes pontuais de contaminação das águas subterrâneas, tais como: fossas sépticas, postos de combustíveis e cemitérios.

- **BARREIRAS:** É o sistema mais conhecido e explorado da região de Belém e Ananindeua. É constituído pelos sedimentos do Grupo Barreiras, com litotipos heterogêneos, de argilitos intercalados com arenitos grossos, de níveis conglomeráticos. Apresenta, também, níveis lateríticos e níveis argilosos caulinizados.

Este sistema apresenta aquíferos de natureza semi-livre a confinada. A recarga se dá por contribuição das camadas sobrepostas e através da precipitação pluviométrica nas áreas de afloramento dessa unidade.

São aquíferos com até 70 metros de espessura e disponibilizam vazões entre 15 e 80 m³/h, que têm o inconveniente de apresentarem, em muitos casos, teor de ferro acima do padrão recomendado pelo Ministério da Saúde, que é de 0,3 mg/L.

- **PIRABAS SUPERIOR:** São sedimentos marinhos fossilíferos da Formação Pirabas, caracterizados por calcários, arenitos calcíferos, calcários argilosos (margas), folhelhos cinza esverdeados e abundante conteúdo fossilífero.

São aquíferos de natureza confinada, com espessuras em torno de 80 metros e que disponibilizam vazões entre 100 e 200 m³/h.

- **PIRABAS INFERIOR:** areias de granulação fina, média e grossa, com intercalações mais espessas de argila e siltitos esverdeados. Apresenta potencialidade hidrogeológica excelente.

Em geral os aquíferos deste sistema possuem grande extensão lateral e boa espessura e disponibilizam vazões acima de 300 m³/h. São muito utilizados para abastecimento público e para indústrias.

A tabela 03 sintetiza as principais características desses sistemas aquíferos existentes na região de Belém e Ananindeua.

Tabela 03 – Principais sistemas aquíferos da região de Belém e Ananindeua.

AQUIFEROS	ALUVIÕES	PÓS-BARREIRAS	BARREIRAS	PIRABAS SUPERIOR	PIRABAS INFERIOR
PROFUNDIDADE	Até 10 m	Inferior a 25 m	de 25 a 90 m	90 a 180 m	até mais de 300 m
CONSTITUIÇÃO	Areias de granulação fina a média, intercalações de argilas escuras.	Sedimentos inconsolidados, areno-argilosos, finos a médios, com concreções ferruginosas.	Argilitos e arenitos grossos com níveis conglomeráticos, com a ocorrência também de níveis lateríticos e níveis argilosos caulinizados.	Sedimentos marinhos: calcários fossilíferos, camadas de argilas calcíferas cinza esverdeadas, leitos de calcário duro, cinza esbranquiçada. Intercaladas com camadas de arenito calcífero, siltitos e areias.	Camadas repetitivas de arenitos de cor cinza esbranquiçada, granulação fina a conglomerática, com intercalações mais espessas de argilas e siltitos avermelhados.
VAZÃO	até 10 m ³ /h	até 5 m ³ /h	até 80 m ³ /h	100 a 200 m ³ /h	> 300 m ³ /h
OBSERVAÇÕES	Aquíferos livres cuja recarga se dá diretamente através das precipitações pluviométricas. As descargas se dão através dos rios, fontes, evapotranspiração e poços.	Potencial hidrogeológico fraco; água de boa qualidade para consumo humano; em alguns casos apresenta alto teor de ferro. Alta vulnerabilidade à contaminação.	De natureza semilivre tem distribuição irregular e são os mais explorados na região de Belém e Ananindeua. Suas águas freqüentemente possuem elevados teores de ferro, o que implica na necessidade de tratamento por aeração e filtragem.	Aquíferos confinados; camadas aquíferas de grande extensão lateral e boa espessura. Necessitam de obras caras de captação, restringindo sua utilização ao abastecimento público e ao uso industrial.	Os altos custos das obras de captação de água restringem sua utilização. São excelentes aquíferos quanto à vazão e qualidade da água, para consumo humano.

Fonte: MATTA (2002).

6.5.2 Parâmetros Hidrodinâmicos

O teste de aquífero realizado em um poço da COSANPA, na Ilha do Mosqueiro, com 280m de profundidade, teve como poços de observação um poço com 270 m de profundidade, distante 59 m do poço bombeado e o poço Carajás com 120 m de profundidade e distante 80 m. No teste não houve rebaixamento no poço Carajás, atestando que, localmente não há conexão hidráulica entre os sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas. No outro poço que explora o mesmo aquífero foi determinado, através do diagrama de rebaixamento com o tempo, os parâmetros: a) T = transmissividade [L^2/T] que corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero; b) K = condutividade hidráulica [L/T] que é a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. Refere-se à facilidade da formação aquífera de exercer a função de condutor hidráulico, c) S = coeficiente de armazenamento [adimensional] (CPRM-PEHRMB, 2002).

A Figura 11 mostra os perfis hidrogeológicos dos poços Guanabara I e Guanabara II, distantes 70,18 m entre si, onde foram também realizados testes de aquíferos para obtenção de parâmetros hidrodinâmicos dos sistemas aquíferos Pirabas. A interpretação dos ensaios do teste de aquíferos se faz com a utilização do método de Jacob. A Figura 12 apresenta o gráfico da curva rebaixamento com o tempo e o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos (T , S e K).

A condutividade hidráulica varia com a seleção dos grãos nos estratos da camada aquífera. Os aquíferos constituídos por areias bem selecionadas e grãos bem arredondados tem alta produção de água (TANCREDI, 1996). O valor da condutividade hidráulica obtido no teste de aquífero é de 47,70 m/dia, que é considerado bom no que diz respeito à produção de água para abastecimento público.

Quando a transmissividade atinge valores acima de 154 m^2 /dia, a produção pode ser adequada para fins de abastecimento público (DRISCOLL, 1987). O valor obtido no teste de aquífero é de 2.290 m^2 /dia.

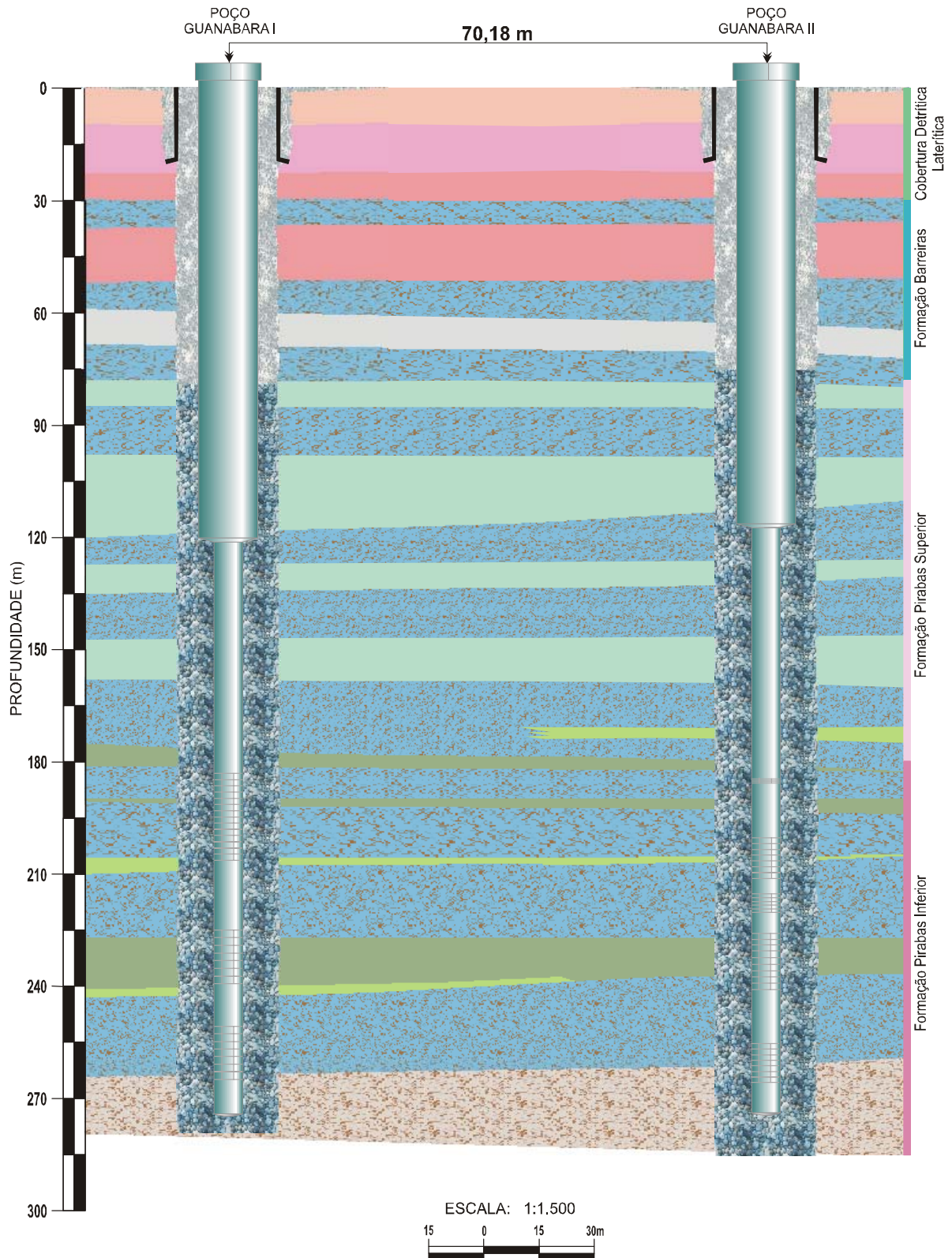
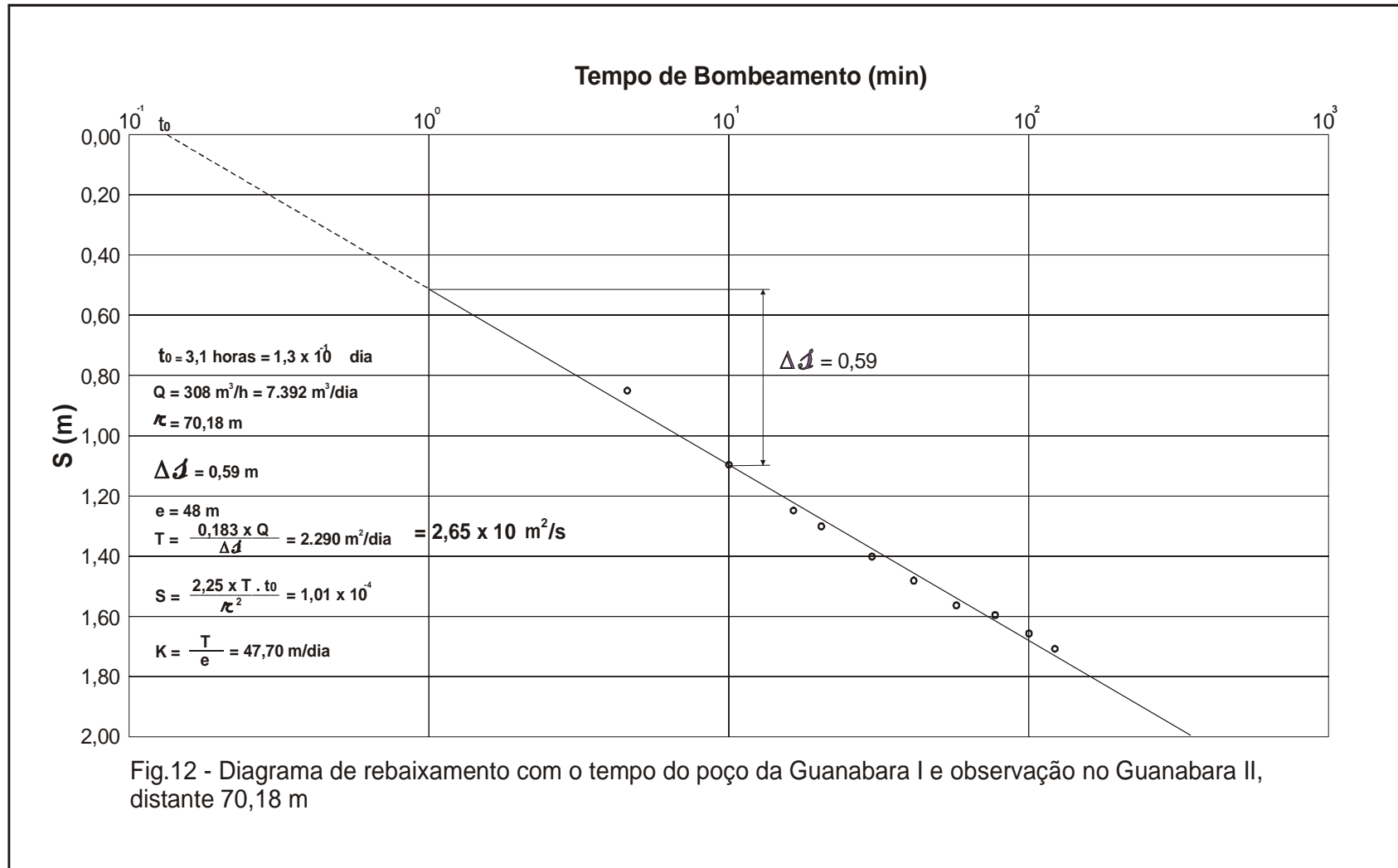


Figura 11 - Perfil hidrogeológico dos poços Guanabara I e Guanabara II na realização do teste de aquífero Fonte: PEHRMB (2002)



Fonte: PEHRMB,2002

7 CADASTRO DE POÇOS TUBULARES

Como o objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo comparativo de viabilidade econômica e técnica da disponibilização de água para abastecimento público da região de Belém e Ananindeua, considerando-se as opções água superficial e água subterrânea, e sendo os aquíferos da Formação Pirabas os que melhores condições reúnem para o acúmulo e a produção de vazões elevadas de água subterrânea indicadas para abastecimento público, utilizou-se o cadastro de poços tubulares profundos que exploram apenas estes aquíferos (Tabela 04)

Tabela 04 – Cadastro de poços profundos da região de Belém e Ananindeua
(continua)

Nº DO POÇO	CADASTRO DA CPRM	PROPRIETÁRIO DO POÇO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	PROF. (m)
01	03	SAAEB	Belém	9.856.451	781.001	280,00
02	04	SAAEB	Belém	9.856.269	780.832	280,00
03	202	SAAEB	Belém	9.854.879	780.792	256,00
04	293	SAAEB	Belém	9.857.369	782.783	272,00
05	331	SAAEB	Belém	9.856.465	781.883	240,00
06	340	FSESP	Belém	9.856.555	782.015	252,00
07	342	FSESP	Belém	9.853.506	780.341	254,00
08	343	SAAEB	Belém	9.855.031	781.105	270,00
09	395	Condomínio	Belém	9.850.443	785.178	285,00
10	396	SAAEB	Belém	9.855.744	780.726	270,00
11	397	Petrobrás	Belém	9.852.211	780.256	270,00
12	400	Cerpasa	Belém	9.848.656	780.531	297,00
13	401	Cerpasa	Belém	9.848.924	780.610	302,00
14	402	Cerpasa	Belém	9.848.632	780.390	289,00
15	406	COSANPA	Belém	9.851.503	784.695	271,00
16	407	SAAEB	Belém	9.854.713	783.067	266,00
17	529	COSANPA	Belém	9.854.879	780.898	285,00
18	530	SAAEB	Belém	9.858.410	781.041	264,00
19	531	COSANPA	Belém	9.847.779	784.628	300,00
20	532	COSANPA	Belém	9.838.322	778.131	270,00
21	533	COSANPA	Belém	9.847.210	783.104	258,00
22	560	Antártica	Belém	9.843.105	784.356	204,00
23	567	COSANPA	Belém	9.838.781	784.368	268,00
24	569	FACEPA	Belém	9.844.039	781.303	260,00
25	587	COSANPA	Belém	9.849.776	784.087	274,00
26	588	COSANPA	Belém	9.847.507	784.780	276,00
27	595	COSANPA	Belém	9.847.781	784.377	248,00
28	598	UFPA	Belém	9.836.861	783.777	258,00
29	601	Shop.Iguatemi	Belém	9.838.805	778.686	184,00
30	606	COSANPA	Belém	9.844.603	780.461	271,00
31	610	COSANPA	Belém	9.850.722	782.122	280,00

Nº DO POÇO	CADASTRO DA CPRM	PROPRIETÁRIO DO POÇO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	PROF. (m)
32	611	COSANPA	Belém	9.844.656	784.212	267,00
33	612	COSANPA	Belém	9.848.515	786.061	248,00
34	613	UFPA	Belém	9.836.861	783.670	296,00
35	614	COSANPA	Belém	9.848.500	783.500	246,00
36	615	COSANPA	Belém	9.838.237	781.679	260,00
37	617	COSANPA	Belém	9.844.655	784.205	270,00
38	618	COSANPA	Belém	9.844.550	781.550	260,00
39	619	COSANPA	Belém	9.861.185	783.710	257,00
40	620	COSANPA	Belém	9.856.181	781.868	253,00
41	644	SAAEB	Mosqueiro	9.871.934	781.838	218,00
42	645	SAAEB	Mosqueiro	9.871.848	781.535	274,00
43	1124	COSANPA	Mosqueiro	9.875.496	784.689	266,00
44	1129		Mosqueiro	9.882.141	796.537	274,00
45	1453	INCA	Ananindeua	9.849.091	794.009	210,00
46	1829	COSANPA	Ananindeua	9.848.490	788.300	267,00
47	1830	COSANPA	Ananindeua	9.848.428	788.296	259,00
48	1831	COSANPA	Ananindeua	9.848.522	788.311	256,00
49	1832	COSANPA	Ananindeua	9.850.421	788.477	239,00
50	1833	COSANPA	Ananindeua	9.850.650	788.313	237,00
51	1834	COSANPA	Ananindeua	9.845.336	787.285	275,00
52	1835	COSANPA	Ananindeua	9.845.340	787.157	275,00
53	1836	COSANPA	Ananindeua	9.852.036	791.221	256,00
54	1837	COSANPA	Ananindeua	9.852.113	791.179	286,00
55	1839	COSANPA	Ananindeua	9.846.942	786.581	254,00
56	1840	COSANPA	Ananindeua	9.846.443	786.577	260,00
57	1841	COSANPA	Ananindeua	9.848.457	788.259	276,00
58	1846	COSANPA	Ananindeua	9.851.973	791.207	256,00
59	1847	COSANPA	Ananindeua	9.853.200	789.382	258,00
60	1848	COSANPA	Ananindeua	9.851.147	787.610	287,00
61	1849	COSANPA	Ananindeua	9.850.668	789.450	272,00
62	1998	COSANPA	Marituba	9.848.405	795.626	229,00
63	1999	COSANPA	Marituba	9.847.786	796.910	285,00
64	2233	COSANPA	Belém	9.844.600	780.310	270,00
65	2235	Schahim	Belém	9.844.060	782.546	174,00
66	2237	UFPA	Belém	9.836.840	783.690	168,00
67	2238		Belém	9.847.745	780.440	272,00
68	2239	UFPA	Belém	9.836.710	783.777	258,00
69	2240	COSANPA	Belém	9.848.565	786.170	268,00
70	2241	COSANPA	Belém	9.844.623	780.261	275,00
71	2242	COSANPA	Belém	9.844.583	780.361	259,00
72	2243	COSANPA	Belém	9.844.553	780.301	258,00
73	2244	COSANPA	Belém	9.844.683	780.491	272,00
74	2245	SAAEB	Belém	9.853.104	783.327	278,00
75	2246	COSANPA	Belém	9.848.593	781.526	270,00

Fonte: PEHRMB, 2002

Com o cadastro dos poços profundos¹ da região de Belém e Ananindeua obteve-se dados como: coordenadas geográficas em UTM, proprietário do poço, município onde está localizado, profundidade, vazão, nível estático, cota da boca do poço em relação ao nível do mar. Para tal utilizou-se o banco de dados da CPRM, constante no Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências (PEHRMB, 2002).

Foram cadastrados 75 poços, sendo a menor profundidade de 168 m e a maior de 302m. As vazões situaram-se entre 22 m³/h e 360 m³/h, não tendo sido estabelecida relação comprovada entre a profundidade e a vazão. Também não há relação entre as profundidades e as vazões específicas dos poços (Tabela 05). A razão da falta de correspondência pode estar relacionada a diferentes posicionamentos dos filtros utilizados nos poços.

Dos 75 poços cadastrados, 72 foram completados no Sistema Aquífero Pirabas Inferior, e apenas 3 completados no Sistema Aquífero Pirabas Superior. Na análise das vazões desses poços verificou-se que os de número 29 e 65 apresentam valores baixos desse parâmetro, já no poço de número 66 a vazão ficou próximo aos valores encontrados para poços que exploram o Sistema Aquífero Pirabas Inferior.

¹ Informalmente na região utilizam-se os seguintes limites para a classificação de poços quanto à profundidade dos mesmos: rasos até 60m; médio 60-150m, profundos acima de 150m.

Tabela 05 – Características dos poços tubulares profundos da região de Belém e Ananindeua

(continua)

Nº DO POÇO	CADASTRO DA CPRM	PROPRIETÁRIO DO POÇO	MUNICÍPIO	DATA DE CONSTRUÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PROF. (m)	VAZÃO (m³/h)	NE (m)	ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	CAPACIDADE ESPECÍFICA [(m³/h)/m]
01	03	SAAEB	Belém	fev/80	9856451	781001	303,00	144,00	6,30	18,30	12,00	12,00
02	04	SAAEB	Belém	abr/80	9856269	780832	280,00	300,00	13,00	44,00	31,00	9,68
03	202	SAAEB	Belém	set/91	9854879	780792	256,00	180,00	6,00	40,00	34,00	5,29
04	293	SAAEB	Belém		9857369	782783	272,00					
05	331	SAAEB	Belém		9856465	781883	240,00	140,00				
06	340	FSESP	Belém	jun/80	9856555	782015	252,00	144,00				
07	342	FSESP	Belém	ago/80	9853506	780341	254,00	120,00				
08	343	SAAEB	Belém	abr/89	9855031	781105	270,00	80,00	16,00	34,00	18,00	4,44
09	395	Condomínio	Belém	fev/92	9850443	785178	285,00					
10	396	SAAEB	Belém	abr/98	9855744	780726	270,00	211,70	11,25	21,90	10,65	19,88
11	397	Petrobrás	Belém	dez/69	9852211	780256	270,00	22,00				
12	400	Cerpasa	Belém	out/87	9848656	780531	297,00	360,00	9,95	19,40	9,45	38,10
13	401	Cerpasa	Belém	mai/94	9848924	780610	302,00	140,00	10,00	20,49	10,49	13,35
14	402	Cerpasa	Belém		9848632	780390	289,00	66,30				
15	406	COSANPA	Belém	dez/82	9851503	784695	271,00	128,00	6,47	16,30	9,83	13,02
16	407	SAAEB	Belém	set/97	9854713	783067	266,00	189,40	18,92	28,52	9,60	19,73
17	529	COSANPA	Belém	dez/97	9854879	780898	285,00	162,00	17,50	32,42	14,92	10,86
18	530	SAAEB	Belém	jun/99	9858410	781041	264,00	131,70	18,80	28,80	10,00	13,17
19	531	COSANPA	Belém	mai/94	9847779	784628	300,00	90,00	19,00	30,30	11,30	7,96
20	532	COSANPA	Belém	jan/83	9838322	778131	270,00	160,00	1,80	8,00	6,20	25,81
21	533	COSANPA	Belém	jun/87	9847210	783104	258,00	70,00	21,00	35,00	14,00	5,00
22	560	Antártica	Belém		9843105	784356	204,00	102,00	22,80	29,10	6,30	16,19
23	567	COSANPA	Belém		9838781	784368	268,00	186,20	8,41	27,97	19,56	9,52
24	569	FACEPA	Belém	jul/90	9844039	781303	260,00					
25	587	COSANPA	Belém		9849776	784087	274,00	180,00	27,03	55,53	28,50	6,32
26	588	COSANPA	Belém	set/98	9847507	784780	276,00	186,94	28,06	47,70	19,64	9,52
27	595	COSANPA	Belém		9847781	784377	248,00	140,00	13,70	45,43	31,73	4,41
28	598	UFPA	Belém		9836861	783777	258,00					
29	601	Shop.Iguatemi	Belém	jul/00	9838805	778686	184,00	36,00	7,90	27,15	19,25	1,87
30	606	COSANPA	Belém	abr/98	9844603	780461	271,00	153,24	14,32	38,29	23,97	6,39
31	610	COSANPA	Belém	dez/98	9850722	782122	280,00	162,00	23,97	46,66	22,69	7,14

Nº DO POÇO	CADASTRO DA CPRM	PROPRIETÁRIO DO POÇO	MUNICÍPIO	DATA DE CONSTRUÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PROF. (m)	VAZÃO (m³/h)	NE (m)	ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	CAPACIDADE ESPECÍFICA [(m³/h)/m]
32	611	COSANPA	Belém	dez/82	9844656	784212	267,00	225,00	9,98	28,82	18,84	11,94
33	612	COSANPA	Belém	abr/96	9848515	786061	392,00	174,50	21,68	32,18	10,50	16,62
34	613	UFPA	Belém	jun/00	9836861	783670	296,00	144,00	7,15	24,40	17,25	8,35
35	614	COSANPA	Belém		9848500	783500	246,00	140,00	13,70	45,43	31,73	4,41
36	615	COSANPA	Belém		9838237	781679	260,00	300,00	1,89	10,68	8,79	34,13
37	617	COSANPA	Belém		9844655	784205	270,00	226,00	9,98	28,82	18,84	12,00
38	618	COSANPA	Belém	dez/97	9844550	781550	260,00	144,80	23,05	36,73	13,68	10,58
39	619	COSANPA	Belém	set/99	9861185	783710	257,00	300,00	16,53	31,45	14,92	20,11
40	620	COSANPA	Belém	jun/99	9856181	781868	253,00	147,95	22,85	31,98	9,13	16,20
41	644	SAAEB	Mosqueiro		9871934	781838	218,00	180,00				
42	645	SAAEB	Mosqueiro		9871848	781535	274,00	150,00				
43	1124	COSANPA	Mosqueiro	ago/98	9875496	784689	266,00	189,50	5,23	20,52	15,29	12,39
44	1129		Mosqueiro		9882141	796537	274,00	186,20	6,61	25,94	19,33	9,63
45	1453	INCA	Ananindeua	nov/87	9849091	794009	210,00	105,00	12,00	35,00	23,00	4,57
46	1829	COSANPA	Ananindeua	jan/82	9848490	788300	267,00	211,50	16,65	29,02	12,37	17,10
47	1830	COSANPA	Ananindeua	abr/96	9848428	788296	259,00	171,42	24,10	33,15	9,05	18,94
48	1831	COSANPA	Ananindeua	mai/97	9848522	788311	256,00	140,26	27,90	36,50	8,60	16,31
49	1832	COSANPA	Ananindeua	ago/82	9850421	788477	239,00	240,00	12,35	24,25	11,90	20,17
50	1833	COSANPA	Ananindeua	jun/82	9850650	788313	237,00	225,00	11,94	29,40	17,46	12,89
51	1834	COSANPA	Ananindeua	abr/97	9845336	787285	275,00	137,00	25,40	37,20	11,80	11,61
52	1835	COSANPA	Ananindeua	mai/97	9845340	787157	275,00	202,20	25,00	57,88	32,88	6,15
53	1836	COSANPA	Ananindeua	abr/88	9852036	791221	256,00	120,00	18,30	24,60	6,30	19,05
54	1837	COSANPA	Ananindeua	jul/97	9852113	791179	286,00	160,00	22,00	36,00	14,00	11,43
55	1839	COSANPA	Ananindeua	mar/94	9846942	786581	254,00	250,00	17,60	22,20	4,60	54,35
56	1840	COSANPA	Ananindeua	jun/87	9846443	786577	260,00	55,00	21,40	25,40	4,00	13,75
57	1841	COSANPA	Ananindeua		9848457	788259	276,00					
58	1846	COSANPA	Ananindeua		9851973	791207	256,00	144,00	21,74	34,80	13,06	11,03
59	1847	COSANPA	Ananindeua	out/98	9853200	789382	258,00	147,90	18,45	34,70	16,25	9,10
60	1848	COSANPA	Ananindeua	set/98	9851147	787610	287,00	189,00	23,70	42,40	18,70	10,11
61	1849	COSANPA	Ananindeua	fev/99	9850668	789450	272,00	198,00	23,80	56,76	32,96	6,01
62	1998	COSANPA	Marituba	fev/82	9848405	795626	229,00	194,00	20,30	40,00	19,70	9,85
63	1999	COSANPA	Marituba	out/98	9847786	796910	285,00	189,00	23,70	42,40	18,70	10,11

Nº DO POÇO	CADASTRO DA CPRM	PROPRIETÁRIO DO POÇO	MUNICÍPIO	DATA DE CONSTRUÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	PROF. (m)	VAZÃO (m³/h)	NE (m)	ND (m)	REBAIXAMENTO (m)	CAPACIDADE ESPECÍFICA [(m³/h)/m]
64	2233	COSANPA	Belém	mai/98	9844600	780310	270,00	183,05	14,84	26,44	11,60	15,78
65	2235	Schahim	Belém	ago/99	9844060	782546	174,00	29,33	19,48	22,87	3,39	8,65
66	2237	UFPA	Belém		9836840	783690	168,00	158,40	4,60	14,50	9,90	16,00
67	2238	COSANPA	Belém		9847745	780440	272,00	130,50	7,20	20,50	13,30	9,81
68	2239	UFPA	Belém		9836710	783777	258,00	181,50	2,00	11,50	9,50	19,11
69	2240	COSANPA	Belém	mar/94	9848565	786170	268,00	120,00	17,75	25,30	7,55	15,89
70	2241	COSANPA	Belém	mai/98	9844623	780261	275,00	211,76	12,83	23,80	10,97	19,30
71	2242	COSANPA	Belém	mai/95	9844583	780361	259,00	120,00	10,30	19,74	9,44	12,71
72	2243	COSANPA	Belém	jun/95	9844553	780301	258,00	124,00	11,25	16,45	5,20	23,85
73	2244	COSANPA	Belém	jun/98	9844683	780491	272,00	216,00	14,35	20,56	6,21	34,78
74	2245	SAAEB	Belém	fev/00	9853104	783327	278,00	167,32	22,39	36,03	13,64	12,27
75	2246	COSANPA	Belém	jun/00	9848593	781526	270,00	158,40	26,00	32,28	6,28	25,22

Fonte: PEHRMB, 2002

8 O SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA EM BELÉM E ANANINDEUA

Os municípios de Belém e Ananindeua vêm sofrendo nas últimas décadas um crescimento populacional acentuado, em decorrência do êxodo rural para os grandes centros urbanos e do crescimento vegetativo da população. Este crescimento acelerado acarreta problemas urbanísticos representados pela ocupação desordenada das áreas periurbanas. Nelas a infra-estrutura é carente de saneamento e abastecimento de água, e problemas ambientais como poluição das águas superficiais e subterrâneas são comuns à ocupação das áreas de recarga dos aquíferos rasos.

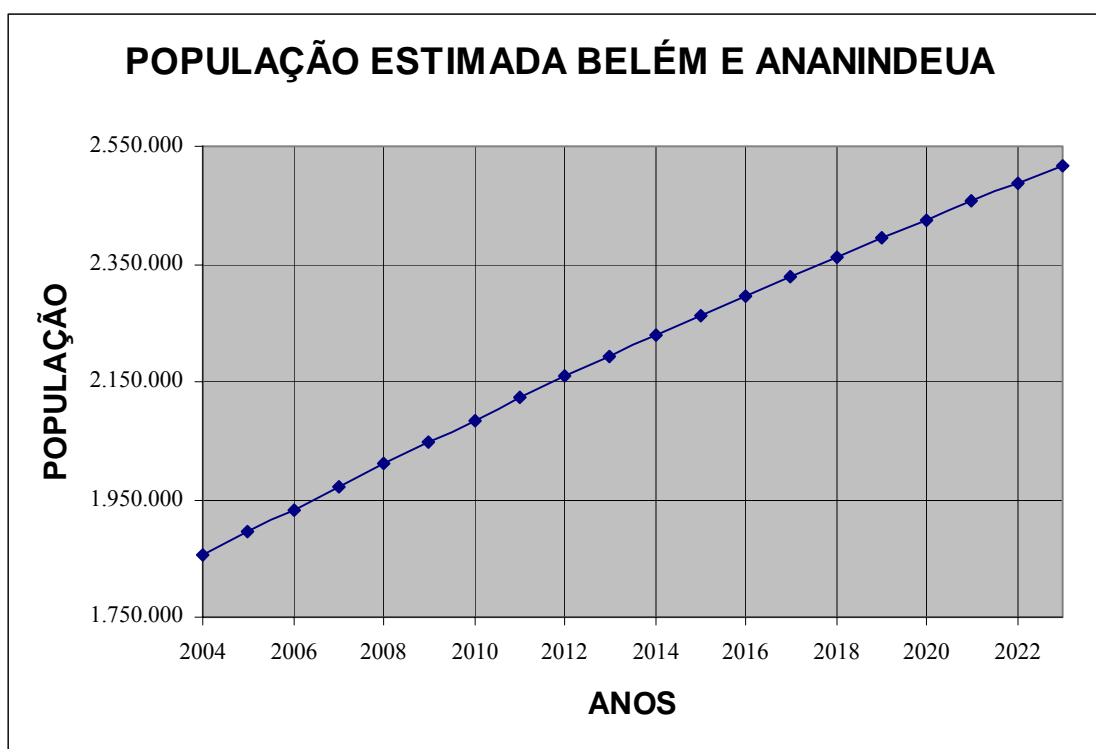


Figura 13 – Crescimento estimado da população de Belém e Ananindeua (período 2004 a 2023)

Este crescimento urbano e populacional de Belém e Ananindeua (Tabela 06), atrelado ao desenvolvimento industrial, está exigindo uma grande demanda de recursos hídricos, demanda essa não suprida satisfatoriamente pelas concessionárias de água do Estado e do Município. Este déficit hídrico está sendo suprido com a construção, por parte de particulares, de poços tubulares rasos, que captam água do sistema aquífero livre, mais superior. Esses poços são, via de regra mal construídos, perfurados por processos manuais, sem cimentação adequada, sem atenderem as normas técnicas recomendadas e sem assistência técnica de profissional habilitado. Todos esses fatores acarretam baixa vazão, custo elevado da água e, principalmente e mais grave, o aumento do risco à poluição do aquífero.

Tabela 06 - Projeção do crescimento populacional em Belém e Ananindeua (período 2006 a 2025)

ANO	*TAXAS DE CRESCIMENTO	POPULAÇÃO BELÉM (HAB)	POPULAÇÃO ANANIND. (HAB)	POPULAÇÃO BELÉM + ANANIND.	DEMANDA (M³/DIA)	DEMANDA (M³/H)
2006	1,02010	1.444.618	488.106	1.932.724	483.181	20.133
2007	1,01950	1.473.655	497.917	1.971.572	492.893	20.537
2008	1,01890	1.502.391	507.626	2.010.017	502.504	20.938
2009	1,01830	1.530.786	517.220	2.048.007	512.002	21.333
2010	1,01770	1.558.800	526.686	2.085.485	521.371	21.724
2011	1,01710	1.586.390	536.008	2.122.398	530.600	22.108
2012	1,01650	1.613.518	545.174	2.158.691	539.673	22.486
2013	1,01590	1.640.141	554.169	2.194.310	548.577	22.857
2014	1,01530	1.666.219	562.980	2.229.199	557.300	23.221
2015	1,01480	1.691.712	571.594	2.263.306	565.827	23.576
2016	1,01430	1.716.749	580.053	2.296.803	574.201	23.925
2017	1,01390	1.741.299	588.348	2.329.647	582.412	24.267
2018	1,01350	1.765.503	596.526	2.362.029	590.507	24.604
2019	1,01310	1.789.337	604.579	2.393.917	598.479	24.937
2020	1,01270	1.812.778	612.499	2.425.277	606.319	25.263
2021	1,01230	1.835.800	620.278	2.456.078	614.020	25.584
2022	1,01190	1.858.380	627.908	2.486.288	621.572	25.899
2023	1,01150	1.880.495	635.380	2.515.875	628.969	26.207
2024	1,01110	1.902.121	642.687	2.544.807	636.202	26.508
2025	1,01070	1.923.234	649.820	2.573.055	643.264	26.803

*** Taxas médias geométricas de crescimento anual**

Fonte: IBGE/Diretoria de Pesquisas. Departamento de População e Indicadores

Sociais. Divisão de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica.

Projeção da População do Brasil para o período 1980-2050 - Revisão 2000

Promovem o abastecimento público de água em Belém e Ananindeua o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém – SAAEB, concessionária municipal que utiliza integralmente água subterrânea, através de 14 poços com profundidades entre 180 m e 270 m, fornecendo 4.500 m³/h para seus usuários, e a Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA, concessionária estadual que utiliza um sistema misto, no qual 70% de água é superficial proveniente dos mananciais Bolonha e Água Preta, a partir de adução do Rio Guamá. A água captada é tratada, 4.320 m³/h pela E.T.A São Braz, 2.520 m³/h pela E.T.A 5º Setor e 14.400 m³/h pela E.T.A Bolonha. Os outros 30% são de água subterrânea proveniente de cerca de 45 poços com profundidades entre 229 m e 392 m. (PEHRMB, 2002).

O sistema de captação e tratamento de água superficial proveniente dos lagos Bolonha e Água Preta que tem um limite físico de processamento da água captada são insuficientes para atender a demanda da população, além de estarem contaminadas por dejetos e esgotos que neles são jogados. Por isso é necessário que o abastecimento seja complementado por água proveniente de poços profundos. (PEHRMB, 2002).

Os dois grandes reservatórios de água superficial que abastecem Belém e Ananindeua estão localizados na área do Parque Ambiental do Utinga de propriedade da COSANPA, com uma área total de 8.989.500 m². Esta área passa por um processo de degradação decorrente da crescente e desordenada urbanização que ocorre nos municípios de Belém e Ananindeua. Mais acentuado é esse processo no estreito corredor ao longo da Av. Almirante Barroso e BR-316 com o surgimento de conjuntos residenciais e invasões que resultam no surgimento de favelas. São nesses locais onde se encontram as nascentes dos lagos Bolonha e Água Preta, o que torna esses mananciais mais vulneráveis à ação poluidora oriunda dos efluentes domésticos. (Figura 14)

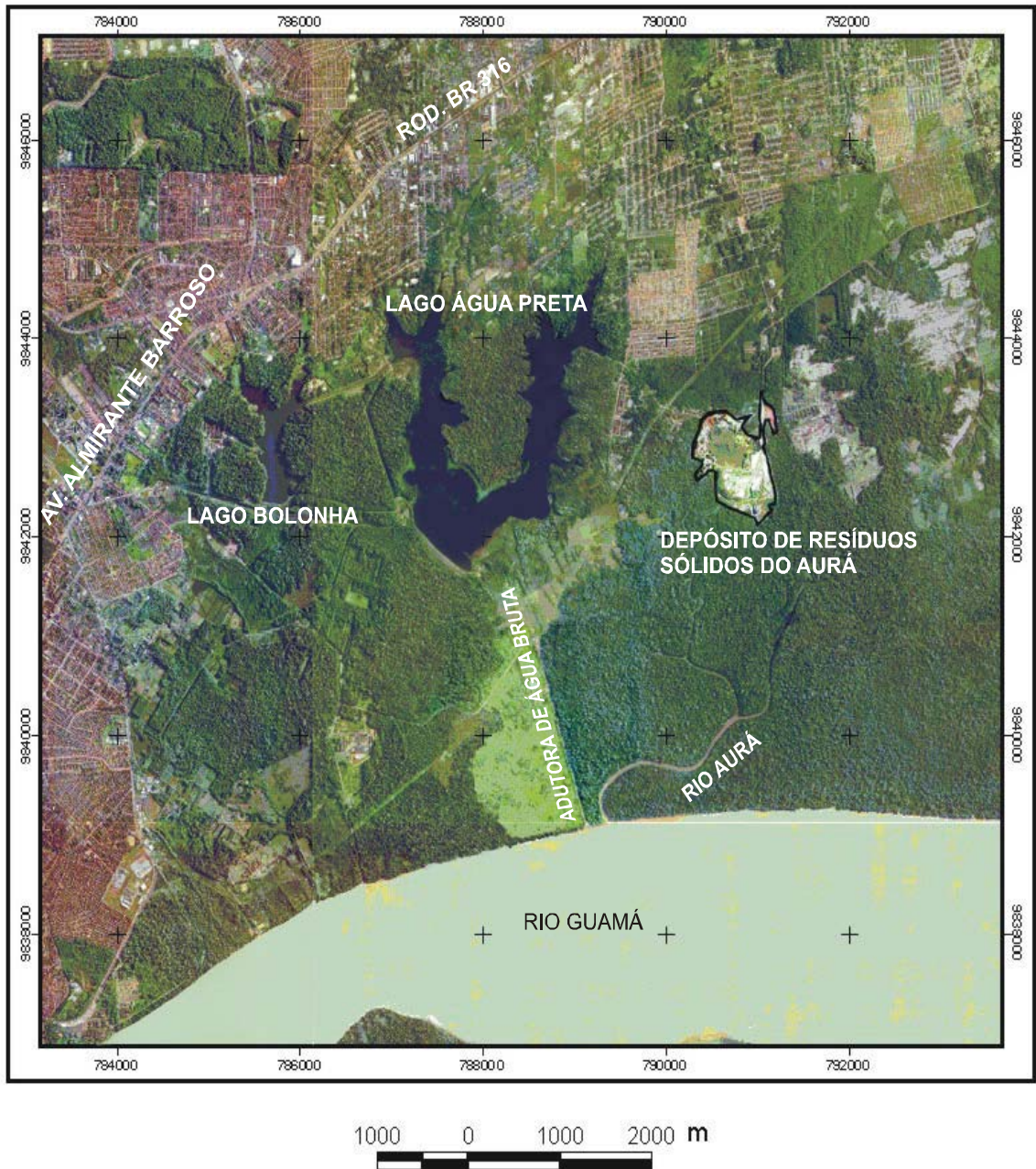


Figura 14 - Fotografia aérea do Parque Ambiental do Utinga (modificado de Matta, 2002)

Existe também a contribuição poluidora oriunda do Aterro Sanitário do Aurá. Porém, resultados obtidos no ponto de captação da COSANPA no rio Guamá para adução aos lagos Bolonha e Água Preta não permitem afirmar que esses recursos estão sendo atingidos pelo deslocamento superficial do chorume, evidenciando que os parâmetros traçadores de chorume podem estar sendo atenuados por fatores biológicos, químicos e físicos, especialmente os efeitos de diluição (MORALES, 2002).

Esse quadro reforça a necessidade de modificação ou de implantação de meios alternativos ao sistema atual de abastecimento público de água em Belém e Ananindeua, sendo opção o incremento a exploração de águas subterrâneas.

O sistema de abastecimento da COSANPA tem início com a captação de água através da estação elevatória de produção de água bruta à margem do Rio Guamá, onde funcionam 4 conjuntos motor-bombas de eixo vertical, que produzem 20.511 m³/hora, aduzidas por meio de duas adutoras de aço com diâmetro de 1.500 mm e 1.750 mm, e uma de concreto com diâmetro de 800 mm. Essa água é lançada no lago Água Preta, e este por sua vez está ligado ao lago Bolonha através do canal Água Preta-Bolonha, de concreto armado com extensão de 1.052 m (COSANPA, 2004).

O lago Bolonha (Figura 15) possui uma área total de 666.000 m² e um volume de água armazenada na ordem de $2,6 \times 10^6$ m³, possuindo duas nascentes. Uma se situa nos fundos da Granja Santa Lúcia, pertencente ao Ministério da Agricultura, e a outra em área de terceiros, onde ocorre o lançamento de detritos no manancial. No lago Bolonha existe uma estação elevatória de água bruta com 4 conjuntos motor-bombas de eixo vertical, produzindo uma vazão de 14.398 m³/hora, a qual é aduzida até a estação de tratamento de água do Bolonha (COSANPA, 2004).



Figura 15 – Lago Bolonha

Existe, ainda, no lago Bolonha, uma tomada d'água, cuja função é controlar o fluxo de água para o canal a céu aberto denominado de Yuna, que por sua vez, conduz a água, por gravidade, até a estação elevatória do Utinga (COSANPA, 2004).

A estação elevatória do Utinga consiste de 5 conjuntos motor-bombas de eixo vertical, sendo que 3 conjuntos recalcam água para a estação de tratamento de São Braz e 2 conjuntos para estação de tratamento do 5º setor, com vazões de 3.940 m³/hora e 2.173 m³/hora, respectivamente (COSANPA, 2004).

O lago Água Preta (Figura 16) ocupa uma área total de 3.116.000 m², com uma capacidade de armazenamento de 9,905 x 10⁶ m³.



Figura 16 – Lago Água Preta

Em cada ETA existe uma Calha Parshall que permite calcular o volume de água a ser tratada, servindo também como ponto de aplicação dos produtos químicos que são utilizados na água. Em Belém existem três Estações de Tratamento de Água.

A primeira Estação de Tratamento de Água – São Brás, é a mais antiga, localizada na sede da COSANPA, e é responsável pelo tratamento e distribuição de água à população dos bairros de São Brás, Umarizal, Comércio e Batista Campos. Tem capacidade para tratar até 1.200 litros por segundo (COSANPA, 2004).

A segunda ETA funciona no 5º Setor Operacional, no bairro do Marco, sendo responsável pelo tratamento e distribuição da água à população dos bairros do Marco e parte do Souza, e produz 700 litros por segundo (COSANPA, 2004).

A terceira ETA-Bolonha fica localizada próximo ao Lago Bolonha, no Utinga, e é responsável tanto pelo tratamento quanto pela distribuição de água à população dos bairros e adjacências da Marambaia, São Brás, Cidade Nova, Pedreira, Terra Firme, Jurunas e Guamá, produzindo atualmente 4 mil litros por segundo. (COSANPA, 2004).

Após o tratamento, a água é armazenada em um reservatório apoiado e distribuída às estações elevatórias de água tratada, situadas em diversos bairros de Belém e Ananindeua, da seguinte maneira:

- a) Do Complexo de Bolonha para a Zona Central a água tratada é distribuída através de uma tubulação em aço com diâmetro de 1500 mm para setores: 4º Setor no bairro Guamá, 6º Setor no bairro de São Braz, 7º Setor no bairro Terra Firme, 8º Setor no bairro do Jurunas, 9º no bairro da Pedreira;
- b) do Complexo Bolonha para a Zona de Expansão a água tratada é distribuída através de uma tubulação em aço com diâmetro de 9000mm para os bairros da Marambaia e Cidade Nova;
- c) do complexo do Utinga a água bruta é aduzida a Estação de Tratamento de Água do 5º Setor; a partir daí, a água tratada é distribuída através de uma tubulação em ferro fundido de 500 mm de diâmetro para os bairros do Marco e Souza;
- d) do Complexo do Utinga a água bruta é aduzida a Estação de Tratamento de Água de São Braz, a partir daí, a água tratada é distribuída através de uma tubulação em ferro fundido de 600 mm de diâmetro para os setores: 1º Setor no bairro do Comércio, 2º Setor no bairro de Batista Campos, 3º Setor no bairro do Umarizal, 4º Setor no bairro Guamá.

Os bairros de Val-de-Cans, Benguí, Coqueiro, PAAR, Guanabara e os municípios de Marituba e parte de Ananindeua pertencem a Zona de Expansão. São setores operacionais independentes. A água é extraída de poços profundos, com controle bacteriológico, e distribuída

através de reservatórios. Nos bairros Benjamin Sodré, Satélite, Cordeiro de Farias e no Distrito de Mosqueiro, a COSANPA possui um sistema de pequenas estações de tratamento de água independentes.

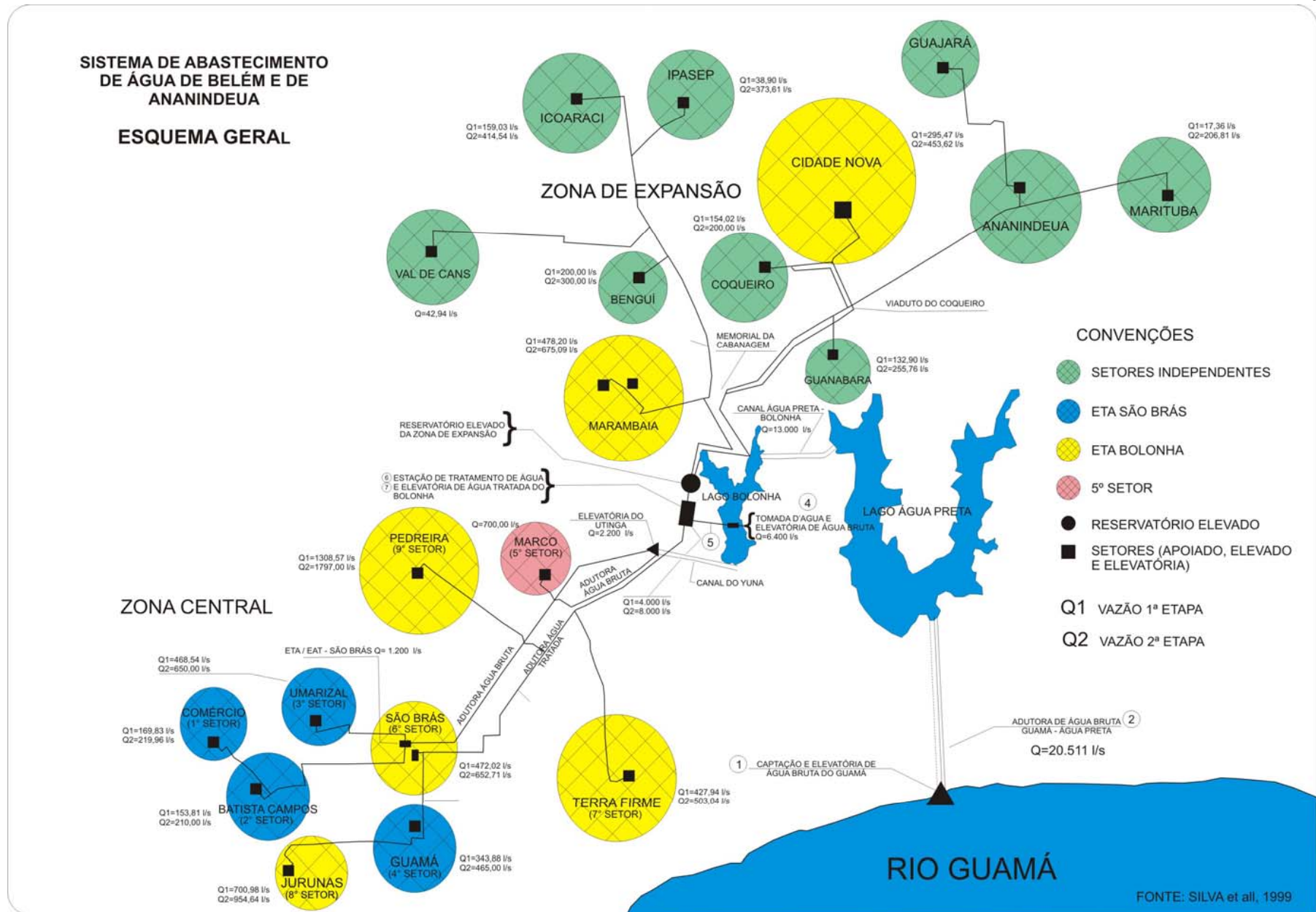


Figura 17 – Esquema geral do sistema de abastecimento de água de Belém e Ananindeua

9 QUALIDADE E VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM E ANANINDEUA.

A qualidade das águas subterrâneas está associada ao seu estado natural, a seu estado físico, à sua composição química, e à ação antrópica sobre ela. O conceito de qualidade das águas está, geralmente, associado à sua utilização, seja esta para consumo humano, uso na agricultura ou uso industrial.

A alta capacidade de dissolução da água e sua elevada reatividade fazem com que as águas naturais contenham uma grande variedade de substâncias dissolvidas, fazendo com que suas características físico-químicas sejam resultado das dissoluções e outras reações químicas com sólidos, líquidos e gases, com as quais a água entra em contacto durante o ciclo hidrológico (TANCREDI, 1996).

Para a determinação da qualidade das águas subterrâneas da região de Belém e Ananindeua utilizou-se os resultados analíticos constantes do banco de dados da CPRM, através do Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências - PEHRMB. O conhecimento das suas propriedades químicas, físicas e bacteriológicas são fundamentais para determinação de sua potabilidade. Os parâmetros de potabilidade (Tabela 08) são os determinados pela Portaria 518, de 26 de março de 2004 do ministério da Saúde, e pela Organização Mundial de Saúde – OMS.

As análises químicas consistem na determinação dos íons que estão presentes na água, pois a maioria das substâncias dissolvidas se encontram em estado iônico (Tabela 07).

Tabela 07 – Resultados analíticos das águas subterrâneas da região de belém e Ananindeua

Nº do Poço	Cadastramento CPRM	pH	Prof. (m)	Cond. Elét. ns/cm	STD mg/l	Dureza Total mg/lCaCO3	Cl mg/l	Ferro Total (mg/l)	Alcalinidade Bicarbonato mg/lCaCO3	SO4 mg/l	NO3 mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	HCO3 mg/l	Classificação das águas	Coliformes Fecais NMP/100 ml	Coliformes Totais NMP/100 ml
01	1453	6,8	210	346,0	383	235,9	14,38	0,39	170,0	4,536	0,36	1,93	3,75	80,83	8,07	207,35	Bicarbonatada Cálcica	NA	NA
02	1836	7,0	256	298,0	339	210,7	9,59	0,27	162,0	6,513	0	2,33	3,46	74,85	5,62	197,59	Bicarbonatada Cálcica	NA	NA
03	1830	7,0	276	334,0	368	208,8	19,17	0,67	164,0	4,416	0	2,60	3,58	65,86	10,53	200,03	Bicarbonatada Cálcica	NA	NA
04	406	7,4	271	290,0	314	216,9	5,75	0,49	168,0	6,446	0,0186	3,17	2,09	72,85	8,28	204,91	Bicarbonatada Cálcica	NA	NA
05	407	8,0	266	266,0	285	216,0	9,59	0,33	182,0	6,993	0,031	2,74	1,98	70,67	9,39	221,99	Bicarbonatada Cálcica	NA	NA
06	532	7,5	270	295,0	205	221,6	19,17	0,08	175,0	6,926	0,031	8,16	2,00	74,85	8,23	213,45	Bicarbonatada Cálcica	NA	NA
07	609	4,5	120	42,0	28	5,4	5,90	0,13	3,0	0,868	1,407	2,00	0,19	0,31	0,29	61,06	Bicarbonatada Sódica	0	< 2
08	605	6,0	80	94,1	63	16,9	50,20	10,27	40,0	10,276	0,582	1,00	2,59	8,38	1,58	48,78	Bicarbonatada Cálcica	0	8
09	604	5,8	60	36,6	24	9,9	7,90	4,57	15,0	0,772	0,341	1,00	1,89	1,09	0,89	18,29	Bicarbonatada Cálcica	0	< 2
10	548	4,2	60	103,4	69	59,5	7,90	1,04	52,0	3,768	0,111	2,00	0,30	0,02	0,29	63,42	Bicarbonatada Sódica	0	< 2
11	578	5,2	40	42,6	29	6,9	8,90	0,82	8,0	12,979	0,111	2,00	0,59	1,09	0,29	9,75	Cloretada Sódica	0	< 2
12	608	6,0	40	97,0	65	39,7	9,90	0,22	40,0	1,569	0,527	3,00	0,80	0,51	0,29	48,78	Bicarbonatada Sódica	0	< 2
13	1483	4,6	43	74,5	82	28,2	12,46	0,95	6,0	13,281	2,988	7,15	1,80	10,04	0,74	7,32	Sulfatada Cálcica	0	0
14	621	5,2	38	181,9	122	27,7	18,50	0,02	24,0	20,736	0,1116	12,00	3,68	6,38	8,28	29,27	Bicarbonatada Sódica	0	< 2
15	594	6,0	36	333,0	223	59,5	59,50	0,09	40,0	25,992	12,59	26,01	6,18	18,96	2,07	48,78	Bicarbonatada Sódica	0	< 2
16	579	5,0	35	80,9	54	37,2	8,50	1,83	39,7	0,561	0,1488	2,00	0,90	5,09	5,91	49,21	Bicarbonatada Cálcica	0	< 2
17	1395	3,6	30	81,0	91	15,0	14,38	0,69	2,0	0,705	11,20	8,55	0,69	4,49	8,97	2,44	Cloretada Sódica	0	0
18	1729	3,4	30	309,0	339	32,7	46,01	0,08	1,0	1,617	56,32	34,76	9,54	9,46	2,17	1,21	Cloretada Sódica	3,60	3,60
19	1584	3,8	30	54,2	60	9,8	15,34	0,09	1,5	1,617	18,06	10,07	0,53	2,62	0,78	1,82	Cloretada Sódica	0	0
20	1752	3,6	24	44,0	49	12,4	8,54	0,08	0,5	1,454	12,94	2,12	0,91	3,55	0,83	0,61	Sulfatada Cálcica	0	0
21	541	4,5	28	323,0	216	53,6	51,50	0,01	40,0	28,003	10,83	22,01	6,28	3,79	0,67	48,78	Bicarbonatada Sódica	0	< 2
22	1424	3,5	24	47,2	52	11,2	7,67	0,15	3,0	0,537	10,83	4,28	0,37	3,36	0,68	3,66	Sulfatada Cálcica	3,6	3,6
23	1820	5,3	25	209,0	224	75,0	14,38	0,06	22,5	35,02	12,22	9,59	4,73	26,47	2,09	25,01	Sulfatada Cálcica	0	0
24	1451	3,9	18	137,0	151	16,9	28,76	0,49	1,5	11,236	10,45	20,97	3,63	5,39	0,83	1,83	Cloretada Sódica	0	3,6
25	1374	5,7	18	470,0	504	106,70	33,55	0,08	55,0	36,926	22,20	44,19	11,31	37,95	2,85	67,1	Bicarbonatada Sódica	0	0
26	1842	4,3	18	228,0	248	35,50	38,34	0,36	1,5	6,177	11,99	20,74	6,96	10,94	1,93	1,83	Cloretada Sódica	NA	NA
27	589	6,0	12	387,0	259	73,40	47,90	1,35	60,0	27,091	0,911	35,01	7,48	18,96	1,67	73,18	Bicarbonatada Sódica	8	21
28	1766	5,3	12	272,0	299	67,00	52,72	0,08	23,0	22,056	30,91	28,71	10,29	22,82	2,36	28,06	Cloretada Sódica	0	0
29	1844	3,8	9,8	78,50	88	11,50	11,50	0,31	2,0	1,459	10,83	10,38	0,86	3,72	0,52	2,44	Cloretada Sódica	NA	NA
30	1561	3,8	7,53	23,00	25	11,10	5,75	0,57	2,0	0,518	4,19	0,48	0,49	3,54	0,54	2,44	Sulfatada Cálcica	23	>1100

Fonte: PEHRMB, 2002

Tabela 08 – Parâmetros de probabilidade da água para consumo humano

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP (PORTARIA 518)	VMP (OMS)
STD	mg/l	1.000	1.000
DUREZA TOTAL	mg/l	500	500
CLORETO	mg/l	250	250
FERRO TOTAL	mg/l	0,30	0,30
SULFATO	mg/l	250	250
NITRATO	mg/l	10	10
SÓDIO	mg/l	200	50
POTÁSSIO	mg/l	-	50
MAGNÉSIO	mg/l	-	50
COLIFORMES FECAIS	MVP/100 ml	0	0
COLIFORMES TOTAIS	MVP/100 ml	0	0
pH		6,0 - 9,5	6,5 - 8,5

Fonte: D.O.U nº 59 de 26/03/2004 e Organização Mundial de Saúde

Dentre os constituintes fundamentais, destacam-se os cátions sódio, cálcio e magnésio; e os ânions cloreto, sulfato e bicarbonato. Também são mostrados os constituintes secundários: nitrato, carbonato, potássio e ferro. Estes constituintes permitem definir a forma de uso da água, como também fornecem informações importantes sobre a origem e a evolução da composição da água e, conseqüentemente, da sua qualidade.

As análises físicas correspondem às determinações, entre outras, de temperatura, turbidez e odor, cuja importância é de ordem fundamentalmente estética. As características físicas da água são perceptíveis pelo homem, pois se espera que ela seja insípida, incolor e inodora. Com relação ao conteúdo bacteriológico, é necessário que a água esteja isenta de bactérias patogênicas. (CPRM-PEHRMB, 2002).

Nas trinta análises selecionadas no banco de dados do Projeto de Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências – PEHRMB (Tabela 07), seis delas (poços de 1 a 6) são de poços profundos tendo o mais raso 210 e o mais profundo 276 metros, estes alcançam os calcários ou arenitos calcíferos da Formação Pirabas, apresentando água de boa qualidade. São águas provenientes do sistema aquífero Pirabas Inferior, e se encontram dentro dos parâmetros de

potabilidade estabelecidos pela Portaria 518 do Ministro da Saúde, exceto em três deles onde os valores de ferro total se encontram um pouco acima dos valores estabelecidos na portaria.

Já as águas provenientes de poços tubulares mais rasos entre 24 e 120 metros, que exploram aquíferos do sistema Aluviões, Pós – Barreiras e Barreiras apresentam resultados fora dos padrões adotados pelo Ministério da Saúde, com teores excessivos de ferro. As águas provenientes dos poços tubulares rasos, com profundidade de até 60 metros apresentam teores excessivos de ferro e nitrato e presença de coliformes fecais.

Pode-se observar a relação existente entre os valores obtidos nas análises e as profundidades dos poços. Nos poços rasos com profundidades abaixo de 30 metros, os valores de pH entre 3,4 e 5,7 estão relacionados com os valores baixos de condutividade elétrica, dureza e alcalinidade de bicarbonato. Os valores de pH entre 6,8 e 8,0 correspondem aos poços com profundidades acima de 210 metros que exploram o sistema aquífero Pirabas, e apresentam valores elevados de condutividade elétrica, dureza e alcalinidade de bicarbonato.

A vulnerabilidade é uma propriedade intrínseca de um sistema aquífero e depende de sua sensibilidade a impactos naturais e àqueles causados por seres humanos, ou seja maior ou menor grau de disponibilidade que esse aquífero apresenta de sofrer uma contaminação. A idéia da vulnerabilidade intrínseca baseia-se no fato de que o contexto físico dos aquíferos oferece um certo grau de proteção às águas subterrâneas contra contaminações de diversas origens. Desta forma algumas áreas são mais vulneráveis a contaminações que outras. A vulnerabilidade é determinada a partir das características de um dado sistema aquífero, aos fatores hidrogeológicos, às características do aquífero e do solo e de sua geologia (COSTA, 2000)

Os elementos principais utilizados para se calcular a vulnerabilidade de um aquífero tem como base principalmente as características geológicas, litológicas e hidrogeológicas do território em que ele está. A espessura de cada camada de solo, a condutividade hidráulica, a capacidade de recarga, a profundidade e o tipo de solo são alguns dos principais meios que devem ser estudados nestes mapeamentos das águas subterrâneas.

Os critérios adaptados para avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos da região de Belém e Ananindeua (Figura 18), são:

- Tipo de ocorrência da água subterrânea, que é a condição do aquífero, se livre, livre com cobertura e confinado;
- Características litológicas (da zona não saturada);
- Profundidade do nível d'água (espessura da zona não saturada).

A determinação teórica da vulnerabilidade dos aquíferos da região de Belém e Ananindeua (Tabela 09) indica que as dos sistemas aquíferos confinados Pirabas Inferior e Pirabas Superior é considerada negligenciável. Essa proteção natural é devida à presença dos aquíferos e aquíclides intercalados entre os aquíferos livres e o confinado.

A vulnerabilidade teórica do sistema aquífero Barreiras é baixa quando livre com cobertura e negligenciável quando confinado, uma vez que a água nos aquíferos desse sistema está sob pressão e eles se encontram protegidos por aquíferos e aquíclides que, além de criarem uma proteção adicional, favorecem a geração de fluxos ascendentes das águas que impedem o ingresso de contaminantes.

A vulnerabilidade é moderada a alta para o sistema aquífero Pós-Barreiras e Aluviões que se caracterizam por constituir aquíferos livres, com níveis freáticos sub-aflorantes.

Segundo FOSTER & HIRATA (1988), um aquífero com alto índice de vulnerabilidade é aquele passível de ser contaminado por quase todos os tipos de contaminantes. A vulnerabilidade média está relacionada aos contaminantes com maior persistência e/ou mobilidade, como os metais pesados e alguns produtos orgânicos sintéticos incluindo hidrocarbonetos aromáticos. A baixa vulnerabilidade está associada a aquíferos susceptíveis a contaminação por produtos muito persistentes e móveis, como os solventes sintéticos. Sendo assim, foi estabelecido por CABRAL (2004) que os domínios dos índices de vulnerabilidade nos bairros de Nazaré, Reduto e Umarizal em Belém indicam que o aquífero Barreiras nessa área, a exemplo da situação regional, apresenta perigo de contaminação, sendo a área urbana que concentra várias atividades potencialmente poluidoras, como o sistema de saneamento que se utiliza de fossas sépticas, vazamentos na rede de esgoto sanitário e, ainda, a grande concentração de postos de combustíveis. Esses resultados

práticos vão de encontro à situação teórica apresentada na Tabela 10, onde a vulnerabilidade do aquífero Barreiras é considerada baixa a negligenciável.

No esquema conceitual de risco de contaminação das águas subterrâneas (Figura 19) e com critérios adaptados para a região de Belém e Ananindeua, observa-se que há a possibilidade de uma alta vulnerabilidade sem risco de contaminação, pela ausência de uma carga significativa de contaminante, assim como a baixa vulnerabilidade não garante a segurança quanto à possibilidade da não contaminação do aquífero (FOSTER & HIRATA, 1988).

Além disso, os aquíferos de menor vulnerabilidade à contaminação, em termos gerais, tendem a ser os mais difíceis de reabilitar uma vez contaminados (FOSTER & HIRATA, 1991).

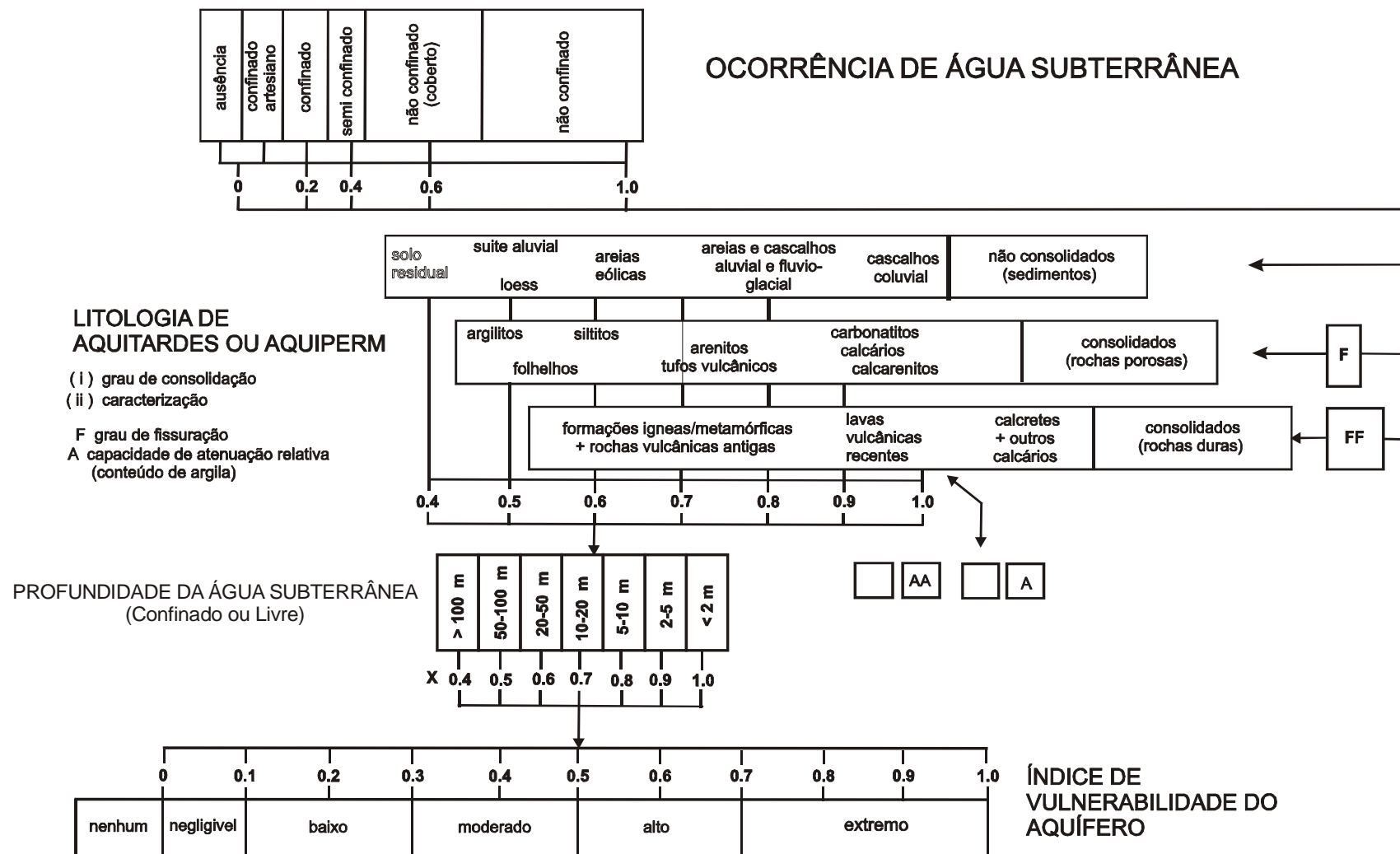


Fig. 18 - Esquema para avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero - Fonte FOSTER & HIRATA, 1988

Tabela 09 – Índices e graus de vulnerabilidade da água subterrânea da região de Belém e Ananindeua.

ZONA NÃO SATURADA	Espessura (m)	< 5 m	5 a 15 m	15 a 25 m	25 a 35 m	> 35 m
	Índice	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50

OCORRÊNCIA		AQUÍFERO		GRAU DE VULNERABILIDADE				
Tipo Litológico	Índice	Tipo	Índice					
Arenoso	0,75	Livre	1,00	0,68	0,60	0,53	0,45	0,38
				Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
		Livre com Cobertura	0,60	0,41	0,36	0,32	0,27	0,23
				Moderada	Moderada	Baixa	Baixa	Baixa
		Confinado	0,20	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08
				Baixa	Baixa	Baixa	Neglig.	Neglig.
Argilo Arenoso	0,50	Livre	1,00	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
				Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baixa
		Livre com Cobertura	0,60	0,27	0,24	0,21	0,18	0,15
				Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
		Confinado	0,20	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
				Neglig.	Neglig.	Neglig.	Neglig.	Neglig.
Argiloso	0,35	Livre	1,00	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18
				Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
		Livre com Cobertura	0,60	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11
				Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Neglig.
		Confinado	0,20	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04
				Neglig.	Neglig.	Neglig.	Neglig.	Neglig.

Fonte: PEHRMB, 2002

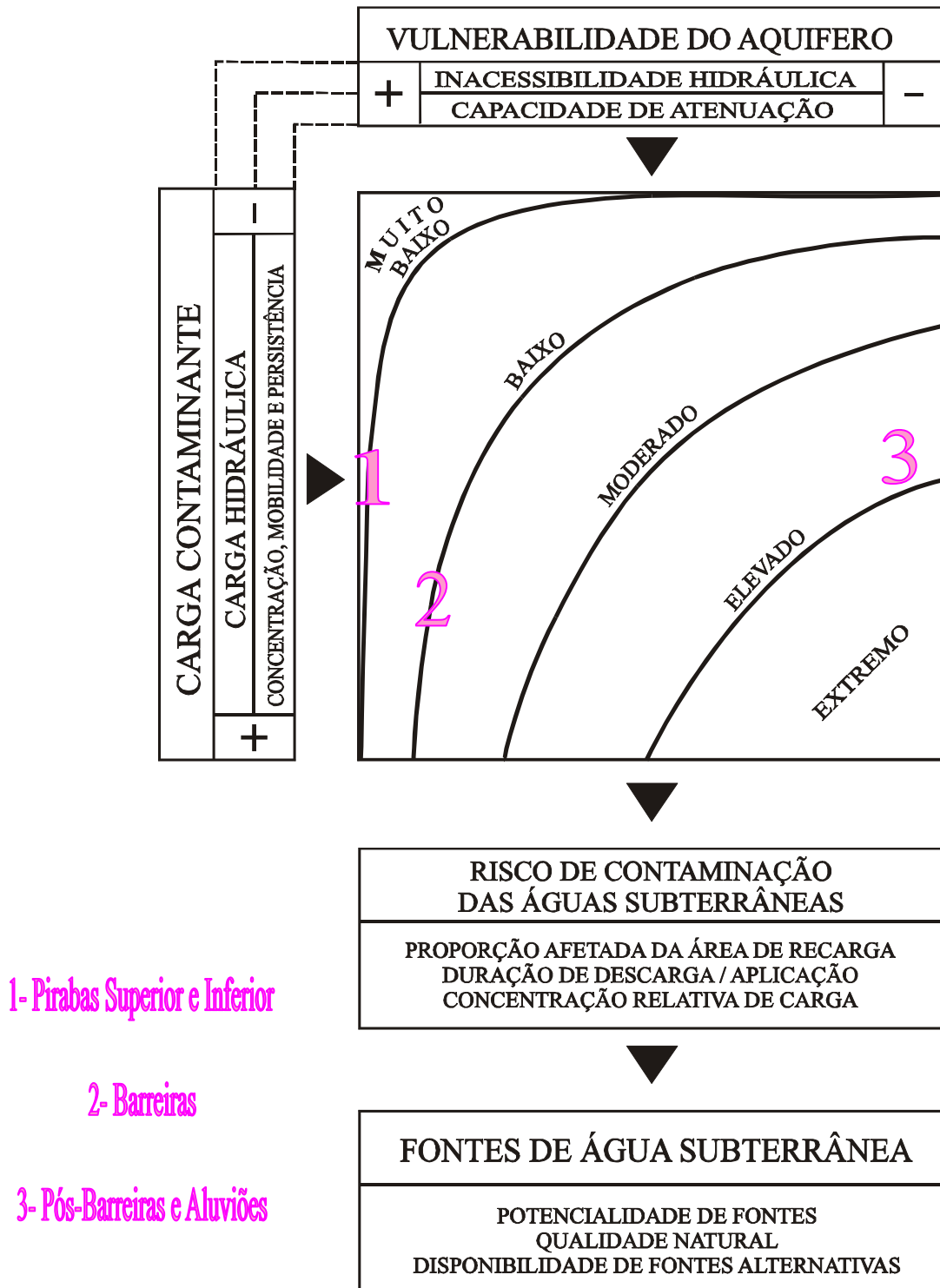


Figura 19 - Esquema conceitual de risco de contaminação - Fonte: FOSTER & HIRATA, 1988

10 RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE BELÉM E ANANINDEUA

Um dos aspectos mais controversos da hidrogeologia é o da conceituação e a avaliação das reservas hídricas e dos recursos passíveis de exploração, principalmente quando a conceituação leva em conta:

- a) **Potencialidade:** termo que se refere ao volume de água utilizável anualmente, podendo incluir uma parcela das reservas permanentes, desde que explorada durante um determinado período de tempo, com descarga constante (MATTA, 2002).
- b) **Disponibilidade:** que se refere ao volume de água que pode ser extraído de um aquífero, sem que se corra o risco da exaustão do sistema aquífero (MATTA, 2002 *apud* CAVALCANTE, 1998).

De um modo geral, as reservas hídricas subterrâneas constituem as quantidades de água existentes nos sistemas aquíferos da área, que podem ser mobilizadas de alguma forma (MATTA, *op cit*).

As reservas hídricas subterrâneas são classificadas segundo a conceituação da escola francesa de hidrogeologia em quatro tipos: reservas reguladoras ou renováveis, reservas permanentes ou seculares, reservas totais ou naturais e reservas de exploração.

10.1 RESERVA REGULADORA (Rr)

A reserva reguladora representa a quantidade de água no aquífero livre entre os níveis máximo e mínimo, ou seja, são submetidas ao efeito da sazonalidade das precipitações. O cálculo da reserva reguladora para a região de Belém e Ananindeua, estabelecido por MATTA (2002), pode ser realizado a partir da expressão:

$$Rr = A \cdot \eta e \cdot \Delta h$$

onde:

A = área de ocorrência do aquífero (L²)

ηe = porosidade efetiva ou eficaz (adimensional %)

Δh = variação sazonal do nível d'água (L)

Considerando-se uma precipitação pluviométrica média anual de 2.893,10 mm, chega-se ao volume de 1.139.881.400 m³/ano de água precipitado sobre a área do sistema Barreiras, Pós-Barreiras e Aluviões.

A área de ocorrência dos aquíferos é de 394 km², (394.000.000 m²) é a mesma da área de estudo já aqueles ocorrem por toda ela. Segundo Matta (2002), a variação sazonal do nível d'água é de 1,80 m, que foi a variação sazonal média encontrada em poços de monitoramento na área de ocorrência dos aquíferos.

Para a porosidade efetiva ou eficaz os valores de porosidades efetivas médias conhecidas na literatura para areias e cascalhos aluviais são em torno de 15%. Como os sedimentos arenosos deste sistema aquífero são impuros, produto de drenagem de sedimentos clásticos amazônicos e que mostraram em análises sedimentológicas cerca de 15% de argilas, foi adotado 10% como o valor da porosidade efetiva utilizado para o cálculo das reservas (MATTA, 2002).

Assim, aplicando-se a fórmula a seguir tem-se uma reserva reguladora cujo volume é de 70,92 milhões de metros cúbicos por ano, conforme os cálculos abaixo:

$$\mathbf{Rr = A . \eta e . \Delta h}$$

onde:

$$A = 394.000.000 \text{ m}^2$$

$$\eta e = 10 \% = 0,1$$

$$\Delta h = 1,80 \text{ m}$$

10.2 RESERVA PERMANENTE OU SECULAR (R_p)

As reservas permanentes ou seculares referem-se às águas acumuladas no meio aquífero em função da porosidade efetiva, ou eficaz, e do coeficiente de armazenamento e que não variam em função da sazonalidade das precipitações. A reserva permanente é o volume de água armazenada nos aquíferos, enquanto que a reserva reguladora indica as condições de recarga/descarga.

Para o cálculo da reserva permanente foram considerados os volumes de água de saturação (V_s) e as acumuladas sob pressão (V_p).

A reserva permanente para o aquífero livre é dado por:

$$R_p = V_s$$

$$V_s = A \cdot h_o \cdot \eta_e$$

onde:

A = área de ocorrência do aquífero (L^2)

h_o = espessura saturada do aquífero livre (L)

η_e = porosidade efetiva ou eficaz (adimensional %)

A área de ocorrência do aquífero para o cálculo da reserva permanente é a mesma utilizada para o cálculo da reserva reguladora (394.000.000 m^2).

Por se tratar da mesma unidade litológica analisada anteriormente, adotamos também o mesmo valor utilizado anteriormente para porosidade efetiva ($\eta_e = 10\%$). A espessura saturada do aquífero livre é de 10 m.

A reserva permanente para o aquífero confinado é dada por:

$$R_p = V_s + V_p$$

$$V_s = (A \cdot h_o \cdot \eta_e)$$

$$V_p = (A \cdot h \cdot S)$$

$$R_p = (A \cdot h \cdot S) + (A \cdot h_o \cdot \eta_e)$$

onde:

A = área de ocorrência do aquífero (L²)

h_o = espessura saturada do aquífero (L)

η_e = porosidade efetiva ou eficaz (adimensional %)

h = altura da água sob pressão (L)

S = coeficiente de armazenamento do aquífero (adimensional)

Para o aquífero confinado Barreiras a altura da água sob pressão (**h**) é de 30 m, coeficiente de armazenamento de $1,67 \times 10^{-4}$, espessura saturada do aquífero (**h_o**) é de 30 m e a porosidade efetiva (**η_e**) de 20% (PEHRMB, 2002); a área de ocorrência do aquífero é de 394.000.000 m².

Os cálculos da reserva permanente se encontram na Tabela 10.

10.3 RESERVA TOTAL OU NATURAL (R_t)

As reservas totais ou naturais são representadas pelo conjunto das reservas permanentes (R_p) e reservas reguladoras (R_r) constituindo, assim, a totalidade de água existente no sistema aquífero.

A reserva total de água subterrânea na região de Belém e Ananindeua é dada pela expressão:

$$\mathbf{R_t = R_r + R_p}$$

onde:

$$R_r = 0,0709 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$R_p = 10,64 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Assim, teremos para a reserva total o volume de $10,71 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$.

10.4 RESERVA DE EXPLOTAÇÃO (Re)

As reservas de exploração correspondem à quantidade máxima de água que poderia ser explorada de um aquífero, sem risco de prejuízo ao manancial. Como efeitos indesejáveis considera-se (YOUNG, 1970, WISSCHER, 1968, FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000):

- Sob o ponto de vista hidrológico: que se exceda à recarga média anual;
- Sob o ponto de vista econômico: que os níveis potenciométricos desçam abaixo da profundidade econômica de bombeamento;
- Sob o ponto de vista da qualidade: que se permita a entrada de águas de qualidade indesejável;
- Sob o ponto de vista legal: que se afete direito de outros usuários em decorrência do esgotamento ou redução sensível da descarga de base dos rios ou de poços pré-existentes;
- Sob ponto de vista agrícola: que nos aquíferos freáticos, com nível pouco profundo, este não desça o suficiente para danificar a vegetação natural, paisagem e cultivos;
- Sob o ponto de vista geotécnico: que não se produza uma subsidência do terreno com efeitos adversos.

A gestão dos recursos hídricos deve satisfazer a um conjunto de objetivos associados aos diversos usos da água, envolvendo uma análise dos custos e benefícios, presentes e futuros da sua utilização. A determinação da capacidade máxima de exploração abrange um conjunto de variáveis locais, que devem ser analisadas caso a caso.

Para efeito de determinação da reserva de exploração (Re), ou disponibilidade, da região de Belém e Ananindeua, consideraremos a questão hidrodinâmica e esta será composta pela totalidade da reserva reguladora e 30% da reserva permanente para um período de 50 anos. Esse percentual de 30% em 50 anos significa 0,6% ao ano (COSTA, 2000), conforme a seguinte expressão:

$$\mathbf{Re = Rr + (Rp \cdot 0,006)}$$

$$\mathbf{Re = 0,0709 \times 10^9 + (10,64 \times 10^9 \cdot 0,006)}$$

$$\mathbf{Re = 0,1347 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}}$$

Baseando-se nos dados obtidos da reserva de exploração da região de Belém e Ananindeua pode-se determinar a disponibilidade hídrica subterrânea per capita por dia, que será a reserva de exploração dividido pelo número de habitantes da área considerada:

$$\text{Disponibilidade hídrica} = (369.041 \text{ m}^3/\text{dia}) / 1.932.724 \text{ hab}$$

$$\text{Disponibilidade hídrica} = 190 \text{ L}/\text{dia}/\text{hab}$$

Tabela 10 – Cálculo da reserva permanente de água subterrânea na região de Belém e Ananindeua (Área = 394 km²)

SISTEMA AQUÍFERO	ÁREA		COEFICIENTE		Espessura Saturada (ho) (m)	Volume de água de saturação (Vs) (x 10 ⁹ m ³ /ano)	Volume de água sob pressão (Vp) (x 10 ⁹ m ³ /ano)	Reserva Permanente (Rp) (x 10 ⁹ m ³)	TOTAL (%)
	Água de Saturação (km ²)	Água sob Pressão (km ²)	Porosidade Efetiva (η_e)	Armazenamento (S)					
PÓS- BARREIRAS	394	-	0,1	-	10	0,39	-	0,39	3,70
BARREIRAS	394	394	0,2	1,67 x 10 ⁻⁴	30	2,36	0,0019	2,36	22,22
PIRABAS	394	394	0,2	1,01 x 10 ⁻⁴	100	7,88	0,0039	7,88	74,08
TOTAL	-	-	-	-	-	10,63	0,0059	10,64	100

Fonte: PEHRMB, 2002

11 ESTUDO COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA SUPERFICIAL.

A população de Belém e Ananindeua é abastecida pela Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA e somente Belém pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém – SAAEB. No momento as águas utilizadas provêm tanto de recursos superficiais (60,96%), quanto de recursos subterrâneos (39,04%).

O total de água a partir das concessionárias, possível de ser ofertada para a população de Belém e Ananindeua é de 34.842 m³/h (Tabela 11). Dessa oferta, segundo dados da COSANPA, há perdas estimadas de mais de 40 %, entre vazamentos na rede de distribuição, ligações clandestinas e desperdício do usuário. O que perfaz a oferta efetiva em aproximadamente 20.905 m³/h.

Tabela 11 – Origem da oferta de água em Belém e Ananindeua e respectivas vazões.

CONCESSIONÁRIA	ORIGEM	ÁGUA SUPERFICIAL	ÁGUA SUBTERRÂNEA	TOTAIS (M ³ /H)	%
COSANPA	E.T.A São Braz	4.320		4.320	12,39
	E.T.A 5º Setor	2.520		2.520	7,24
	E.T.A Bolonha	14.400		14.400	41,33
	POÇOS		9.102	9.102	26,12
SAAEB	POÇOS		4.500	4.500	12,92
Totais		21.240	13.602	34.842	100,00

Fonte: COSANPA E SAAEB

A região de Belém e Ananindeua conta no ano de 2006 com cerca de 1.932.724 habitantes. Dessa população, segundo dados do IBGE (2004), 456.122 habitantes, que representa 23,60%, se auto-abastecem via poços tubulares ou fontes.

O consumo per capita diário, de acordo com os padrões estabelecidos pela ABNT, é de 250 litros, o que equivale a uma demanda de 483.181 m³/dia para o ano de 2006 (Tabela 12). Porém se for descontada a população que se auto-estabelece, tem-se uma demanda de 369.151 m³/dia.

As demandas ao longo dos próximos vinte anos (Tabela 12) foram calculadas para as futuras populações urbanas, previstas segundo dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Tabela 12 – Demanda diária de água na região de Belém e Ananindeua

ANO	*TAXAS DE CRESCIMENTO	POPULAÇÃO BELÉM (HAB)	POPULAÇÃO ANANINDEUA (HAB)	POPULAÇÃO BELÉM + ANANINDEUA	DEMANDA HÍDRICA (M ³ /DIA)
2006	1,02010	1.444.618	488.106	1.932.724	483.181
2007	1,01950	1.473.655	497.917	1.971.572	492.893
2008	1,01890	1.502.391	507.626	2.010.017	502.504
2009	1,01830	1.530.786	517.220	2.048.007	512.002
2010	1,01770	1.558.800	526.686	2.085.485	521.371
2011	1,01710	1.586.390	536.008	2.122.398	530.600
2012	1,01650	1.613.518	545.174	2.158.691	539.673
2013	1,01590	1.640.141	554.169	2.194.310	548.577
2014	1,01530	1.666.219	562.980	2.229.199	557.300
2015	1,01480	1.691.712	571.594	2.263.306	565.827
2016	1,01430	1.716.749	580.053	2.296.803	574.201
2017	1,01390	1.741.299	588.348	2.329.647	582.412
2018	1,01350	1.765.503	596.526	2.362.029	590.507
2019	1,01310	1.789.337	604.579	2.393.917	598.479
2020	1,01270	1.812.778	612.499	2.425.277	606.319
2021	1,01230	1.835.800	620.278	2.456.078	614.020
2022	1,01190	1.858.380	627.908	2.486.288	621.572
2023	1,01150	1.880.495	635.380	2.515.875	628.969
2024	1,01110	1.902.121	642.687	2.544.807	636.202
2025	1,01070	1.923.234	649.820	2.573.055	643.264

* Taxas médias geométricas de crescimento anual

Consumo per capita diário = 250 litros

Fonte: IBGE/Diretoria de Pesquisas. Departamento de População e Indicadores Sociais. Divisão de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. Projeção da População do Brasil para o período 1980-2050 - Revisão 2000

Analisando os dados obtidos tem-se a seguinte situação:

- a) o total de água ofertada pelas concessionárias, descontadas as perdas, é de 20.950 m³/h, que representa a capacidade instalada efetiva do sistema abastecimento público de água para Belém e Ananindeua;
- b) a população que se auto-abastece é de 456.122 habitantes. O total de água proveniente do auto-abastecimento da população é de 114.030 m³/dia;

- c) a parcela da população de Belém e Ananindeua no ano de 2006 que utiliza unicamente o sistema público para abastecimento de água é de 1.476.602 habitantes. Essa população demanda $369.151 \text{ m}^3/\text{dia}$;
- d) a oferta de $20.905 \text{ m}^3/\text{h}$ se refere à capacidade de água que o sistema pode produzir em uma hora de operação. O volume total produzido depende da quantidade de horas que este ficará funcionando por dia. Para atender a demanda de $369.151 \text{ m}^3/\text{dia}$ o sistema deverá operar 17 horas e 39 minutos por dia.

Para efeito de cálculo da oferta de água necessária para atender as demandas futuras (Tabela 12) e também para o cálculo do custo anual de produção de água subterrânea e custo anual de produção de água superficial, adotou-se um regime de bombeamento de 16 horas por dia para as duas opções (TANCREDI, 1996). Considera-se também constante ao longo dos anos a parcela de 23,60% da população que se auto-estabelece.

Com a oferta anual de $20.905 \text{ m}^3/\text{h}$ e com regime de bombeamento de 16 horas por dia, tem-se uma produção máxima de água pelo sistema de $334.480 \text{ m}^3/\text{dia}$. Considerando que para o ano de 2025 tem-se que atender uma demanda de $491.453 \text{ m}^3/\text{dia}$, já descontando o percentual de população que se auto-estabelece, então será necessário acréscimo de $156.973 \text{ m}^3/\text{dia}$ sem perdas.

As alternativas existentes para obtenção do volume de água necessária para suprir a demanda a longo dos próximos 20 anos são as seguintes:

- a) Construção de novos poços profundos para captação de água subterrânea, que daria aproximadamente 65 poços com uma vazão média de $250 \text{ m}^3/\text{h}$ operando 16 horas por dia, já levando em conta 40% de perdas;
- b) ampliação dos sistemas de captação, adução e tratamento de água superficial, através da construção de uma estação com capacidade de, no mínimo, $13.020 \text{ m}^3/\text{h}$, já considerando as perdas;
- c) redução das perdas.

11.1 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

OPÇÃO ÁGUA SUBTERRÂNEA

Tendo em vista as condições hidrogeológicas da região onde se desenvolve esta pesquisa, podemos afirmar que o sistema aquífero Pirabas possui capacidade de fornecer vazão de pelo menos 250 m³/h.

Na determinação do custo anual de produção de água subterrânea, há necessidade de conversão dos investimentos em uma unidade equivalente. De acordo com Linsley & Franzini (1978) e Oliveira *et al* (2000), os valores referentes ao custo inicial de uma obra devem ser multiplicados por fatores calculados por juros compostos em função da vida útil provável dos elementos componentes da obra e da taxa anual de juros.

11.1.1 Custos Fixos

Os custos fixos são a aquisição do terreno onde será construído o poço, construção do poço, aquisição de bombas, instalação de equipamentos elétricos e construção das instalações.

Aquisição do terreno

Uma área de 50 m x 50 m, será necessária para construção de um poço com profundidade de 300 m e que produza vazão, de pelo menos, 250 m³/h, construção de reservatório e de casa de bombas.

Estima-se que na região de Belém e Ananindeua, o custo de um terreno com as características necessárias para a construção do módulo descrito, varia de R\$ 600.000,00 para os bairros de Nazaré, São Braz e Umarizal; R\$ 400.000,00 para os bairros da Cremação, Pedreira, Telegrafo, Jurunas e Guamá e de R\$ 200.000,00 nos outros bairros. Para efeito de cálculo usaremos o preço médio de R\$ 400.000,00.

A conversão desse investimento em uma unidade equivalente é feita através da expressão:

$$Fa = i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$

onde:

Fa = fator de anualização ou de reposição do capital

i = taxa de juro anual 5% - adotado pela Caixa para os programas de abastecimento e saneamento.

n = vida útil provável 25 anos (poço tubular profundo).

$$Fa = 0,05(1+0,05)^{25} / [(1+0,05)^{25} - 1]$$

$$Fa = (0,05 \cdot 3,38) / (3,38 - 1)$$

$$Fa = 0,7101$$

O valor da amortização anual do capital para aquisição do terreno é:

$$At = R\$ 400.000,00 \times 0,07101 = R\$ 28.024,00$$

Construção do Poço

Será de R\$ 844,63 o custo do metro linear da construção de um poço em rocha sedimentar e revestido com tubos de aço carbono e filtros de aço inox. Esse valor é baseado em preços contratados pela concessionária COSANPA (DIÁRIO OFICIAL DO ESTADO DO PARÁ, 2005), para construção de poços tubulares com características semelhantes as do poço adotado para a apropriação do custo unitário de produção de água subterrânea. Estão incluídas também nesse preço as despesas referentes à desinfecção, cimentação, laje de proteção, ensaios de vazão e perfilagens geofísicas.

Para efeito de apropriação de custo adotou-se um poço com profundidade de 300 m, para o qual teremos um custo estimado do poço de R\$ 253.389,00.

Não existe uma avaliação da vida útil dos poços da COSANPA. Então para a determinação da vida útil provável dos poços que são utilizados para abastecimento público,

analisou-se os dados dos 75 poços cadastrados nesse trabalho (Tabela 05), onde 46 deles são de propriedade da COSANPA, e constatou-se que não existe em operação nenhum poço com data de construção anterior a 1982, ou seja, com mais de 24 anos de uso. Sendo assim, para efeito de cálculo do custo de produção de água subterrânea adotou-se para poços destinados a abastecimento público 25 anos de vida útil.

A conversão desse investimento em uma unidade equivalente é feita através da expressão:

$$Fa = i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$

onde:

Fa = fator de anualização ou de reposição do capital

i = taxa de juro anual (5%) - adotado pela Caixa para os programas de abastecimento e saneamento.

n = vida útil provável (25 anos).

$$Fa = 0,05(1+0,05)^{25} / [(1+ 0,05)^{25} -1]$$

$$Fa = (0,05. 3,38 -1) / (3,38-1)$$

$$Fa = 0,07101$$

O valor da amortização anual do capital para construção do poço é:

$$Ap = R\$ 253.289,00 \times 0,07101 = R\$ 17.986,05$$

Pode-se para efeito de avaliação econômica e viabilidade técnica fazer simulações para vida útil do poço de 15 anos e 20 anos.

Para a vida útil de 15 anos tem-se:

$$Fa_{15 \text{ anos}} = 0,05 (1+0,05)^{15} / [(1+0,05)^{15} - 1]$$

$$Fa_{15 \text{ anos}} = (0,05 \cdot 2,07) / (2,07 - 1)$$

$$Fa_{15 \text{ anos}} = 0,0967$$

O valor da amortização anual do capital para construção do poço com 15 anos de vida útil.

$$Ap_{15 \text{ anos}} = R\$ 253.289,00 \times 0,0967 = R\$ 24.493,04$$

Para vida útil de 20 anos tem-se:

$$Fa_{20 \text{ anos}} = 0,05 (1+0,05)^{20} / [(1+0,05)^{20} - 1]$$

$$Fa_{20 \text{ anos}} = (0,05 \cdot 2,65) / (2,65 - 1)$$

$$Fa_{20 \text{ anos}} = 0,0803$$

O valor da amortização anual do capital para construção do poço com 20 anos de vida útil.

$$Ap_{20 \text{ anos}} = R\$ 253.289,00 \times 0,0803 = R\$ 20.339,19$$

Casa de bombas e instalação de equipamentos

Temos também o cálculo do custo de água subterrânea os valores referentes à construção de casa de bombas e instalação de equipamentos elétricos.

O custo da construção da casa de bombas e da instalação dos equipamentos elétricos é de:

Materiais = R\$- 42.814,74

Mão de obra = R\$- 16.851,00

Total = R\$-59.665,74

A conversão desse investimento em uma unidade equivalente é feita através da expressão:

$$Fa = i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$

onde:

Fa = fator de anualização ou de reposição do capital

i = taxa de juro anual (5%) - adotado pela Caixa para os programas de abastecimento e saneamento.

n = vida útil provável (25 anos).

$$Fa = 0,07101$$

O valor da amortização anual do capital para construção da casa de bombas e da instalação dos equipamentos elétricos é de:

$$Acb = R\$ 59.665,74 \times 0,07101 = R\$ 4.236,86$$

Bombas

Para as bombas submersas, onde se estima uma vida útil de 6 anos (TANCREDI, 1996), tem-se quatro gerações de bombas para a vida útil do poço que é de 25 anos. Tem-se como custo inicial de uma bomba para produzir uma vazão de 250 m³/h e altura manométrica de 100 m, o valor de R\$ 14.600,24 preço referente a uma bomba com essas características adquirida pela COSANPA, extrato do contrato de compra publicado no D.O.E nº 30.595 de 05/01/2006.

Sendo assim, efetua-se o cálculo do valor principal do conjunto de bombas utilizando a seguinte fórmula de matemática financeira.

$$R = P / (1+i)^n$$

onde:

R = Valor principal da geração de bombas

P = Custo inicial da bomba – R\$- 14.600,24

i = taxa de juro anual (12%) - adotado para compra de equipamentos eletromecânicos

n = período de duração em anos; n = 6 para a segunda bomba, n = 12 para a terceira bomba e n = 18 para a quarta bomba.

$$R_1 = R\$ 14.600,24 \text{ (para a primeira bomba)}$$

$$R_2 = R\$ 14.600,24 / (1+0,12)^6$$

$$R_2 = R\$ 7.411,16 \text{ (para a segunda bomba)}$$

$$R_3 = R\$ 14.600,24 / (1+0,12)^{12}$$

$$R_3 = R\$ 3.753,27 \text{ (para a terceira bomba)}$$

$$R_4 = R\$ 14.600,24 / (1+0,12)^{18}$$

$$R_4 = R\$ 2.135,44 \text{ (para a quarta bomba)}$$

Custo para o conjunto de bombas é:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_t = 14.600,24 + 7.411,16 + 3.753,27 + 2.135,44$$

$$R_t = \text{R\$ } 27.900,11$$

A conversão desse investimento em uma unidade equivalente é feita através da expressão:

$$F_a = i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$

Onde:

Fa = fator de anualização ou de reposição do capital.

i = taxa de juro anual (12%) - adotado para compra de equipamentos eletromecânicos.

n = vida útil para o conjunto de bombas (25 anos).

$$F_a = 0,07101$$

O valor da amortização anual do capital para o conjunto de bombas é de:

$$A_b = \text{R\$ } 27.900,11 \times 0,07101 = \text{R\$ } 1.981,18$$

11.1.2 Custos Operacionais

Os custos operacionais compreendem as despesas para bombeamento manutenção e reparos.

Despesas com energia elétrica

Para o cálculo do custo anualizado da energia elétrica temos a expressão (TANCREDI, 1996 e OLIVEIRA *et al*, 2000):

$$P = 15 Q \cdot H$$

onde:

P = potência consumida em uma hora de bombeamento.

H = altura manométrica da bomba.

Q = vazão da bomba

A vazão da bomba corresponde a $250 \text{ m}^3/\text{h} = 6,94 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$; então, para potência de energia consumida em uma hora de bombeamento tem-se:

$$P_{1h} = 15. 6,94 \times 10^{-2} . 100 = 104,17 \text{ KW}$$

Como se adotou um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$P_{16h} = 104,17 . 16 = 1.666,72 \text{ KW}$$

Custo anual com energia elétrica para uma tarifa de R\$ 0,2326 por KWh, incluindo impostos é de:

Para um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$\mathbf{Ae_{16h} = 1.666,72 \text{ KW} . 0,2326 . 365 \text{ dias}}$$

$$\mathbf{Ae_{16h} = R\$ 141.502,86}$$

Para um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

$$P_{20h} = 104,17 \times 20 = 2.083,40 \text{ KW}$$

$$\mathbf{Ae_{20h} = 2.083,40 \text{ KW} \times 0,2326 . 365 \text{ dias}}$$

$$\mathbf{Ae_{20h} = R\$ 176.878,57}$$

Despesas com produtos químicos

A despesa com produtos químicos para tratamento de água subterrânea compreende a fluoretação desta. Para apropriação das despesas com produtos químicos , adotou-se para uma melhor avaliação um regime de bombeamento de 16 horas por dia e outro de 20 horas por dia (TANCREDI, 1996)

Tabela 13 – Despesa anual com produto químico de acordo com o regime de bombeamento.

PRODUTO QUÍMICO	CONSUMO (g/m ³)	REGIME DE BOMBEAMENTO	
		16 h/dia	20 h/dia
FLUORSILICATO DE SODIO	0,75	2.896,27	3.673,90
TOTAL		2.896,27	3.673,90

Despesas com manutenção do poço e instalações

Para determinação do custo de manutenção anual do poço e equipamento eletromecânicos adotou-se 5% do preço de construção do poço (TANCREDI, 1996)

$$A_m = 253.289,00 \cdot 0,05 = \text{R\$ } 12.664,45$$

Despesas com funcionários

Para as despesas com pessoal para execução dos serviços de gerenciamento e operação do sistema de captação, tratamento, reservação e distribuição de água subterrânea, adotou-se R\$ 46.903,59 por ano (COSANPA, 2004)

$$A_f = \text{R\$ } 46.903,59$$

Para o cálculo da produção anual de água para um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$P_p = Q \cdot h$$

onde:

P_p = produção anual prevista

Q = vazão da bomba (250 m³/h)

h = horas de funcionamento por ano (5.840 h)

A produção anual prevista para o poço é de **1.460.000 m³**

Para o cálculo da produção anual de água para um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

$$P_p = Q \cdot h$$

Onde:

P_p = produção anual prevista

Q = vazão da bomba (250 m³/h)

H = horas de funcionamento por ano (7.300 h)

A produção anual prevista para o poço é de **1.825.000 m³**

11.1.3 Custo de Produção de Água Subterrânea

O custo de produção do metro cúbico de água subterrânea é igual à somatória dos custos de amortização da aquisição do terreno, construção do poço, aquisição de bombas, instalação de equipamentos elétricos e construção das instalações, despesas com energia elétrica, despesa com adição de produtos químicos, despesas com manutenção do poço e instalações e despesas com funcionários dividido pela produção anual do poço.

Para um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

C_{p16h} = Custo de produção em regime de bombeamento de 16 horas por dia

$$C_{p16h} = (A_t + A_p + A_{cb} + A_b + A_{e16h} + A_{pq16h} + A_m + A_f) / P_{p16h}$$

$$C_{p16h} = (28.024,00 + 17.986,05 + 4.236,86 + 1.981,18 + 141.502,86 + 2.896,27 + 12.664,45 + 46.903,59) / 1.460.000$$

$$C_{p16h} = \text{R\$ } 0,1755/\text{m}^3$$

Para um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

Cp_{20h} = Custo de produção em regime de bombeamento de 20 horas por dia

$$Cp_{20h} = (At + Ap + Acb + Ab + Ae_{20h} + Apq_{20h} + Am + Af) / Pp_{20h}$$

$$Cp_{20h} = (28.024,00 + 17.986,05 + 4.236,86 + 1.981,18 + 176.878,57 + 3.673,90 + 12.664,45 + 46.903,59) / 1.825.000$$

$$Cp_{20h} = \text{R\$ } 0,1602/\text{m}^3$$

11.1.4 Avaliação dos componentes do custo de produção de água subterrânea

Avaliação da composição do custo de produção do metro cúbico de água subterrânea para cada regime de bombeamento, mostra a participação de cada componente na formação do preço de produção da água subterrânea e o percentual de cada item nesse preço.

Tabela 14 – Composição do custo de produção do metro cúbico de água subterrânea para um regime de bombeamento de 16 horas por dia.

COMPONENTE	VALOR DESPESA ANUAL (R\$)	PARCELA (R\$)	%
AQUISIÇÃO DO TERRENO	28.024,00	0,0192	10,94
CONSTRUÇÃO DO POÇO	17.986,05	0,0123	7,02
CASA DE BOMBAS E EQUIPAMENTOS	4.236,86	0,0029	1,65
AQUISIÇÃO DAS BOMBAS	1.981,18	0,0014	0,77
DESPESAS COM ENERGIA ELETRICA	141.502,86	0,0969	55,23
DESPESAS C/ PRODUTOS QUÍMICOS	2.896,27	0,0020	1,13
DESPESAS DE MANUTENÇÃO	12.664,45	0,0087	4,94
DESPESAS COM PESSOAL	46.903,59	0,0321	18,31
TOTAL	256.195,26	0,1755	100,00

Tabela 15 – Composição do custo de produção do metro cúbico de água subterrânea para um regime de bombeamento de 20 horas por dia.

COMPONENTE	VALOR DESPESA ANUAL (R\$)	PARCELA (R\$)	%
AQUISIÇÃO DO TERRENO	28.024,00	0,0154	9,59
CONSTRUÇÃO DO POÇO	17.986,05	0,0099	6,15
CASA DE BOMBAS E EQUIPAMENTOS	4.236,86	0,0023	1,45
AQUISIÇÃO DAS BOMBAS	1.981,18	0,0011	0,68
DESPESAS COM ENERGIA ELETRICA	176.878,57	0,0969	60,50
DESPESAS C/ PRODUTOS QUÍMICOS	3.673,90	0,0020	1,26
DESPESAS DE MANUTENÇÃO	12.664,45	0,0069	4,33
DESPESAS COM PESSOAL	46.903,59	0,0257	16,04
TOTAL	292.348,60	0,1602	100,00

11.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

OPÇÃO ÁGUA SUPERFICIAL

Para avaliação do custo de produção de água superficial tomaremos como base o custo de ampliação da E.T.A Bolonha e sua operação na produção de água tratada. Esta produzirá um volume de água tratada de 14.400 m³/h e que teve seu contrato de construção no valor de R\$ 55.260.964,45, publicado no D.O.E nº 30.450 de 03/06/2005, com entrega prevista para janeiro de 2007.

O preço final de custo de ampliação da estação de tratamento de água do Bolonha é composto, também, do projeto de engenharia ambiental das obras civis da ampliação da E.T.A Bolonha, contrato no valor de R\$ 94.050,00, publicado no D.O.E nº 30.153 de 18/03/2005, do projeto básico de ampliação da tomada d'água no rio Guamá, contrato no valor de R\$ 147.932,40, publicado no D.O.E nº 30.138 de 26/02/2004, de serviços técnicos de gerenciamento e supervisão das obras, elaboração, adequação e revisões de projetos da ampliação da E.T.A, contrato no valor de R\$ 2.386.842,02, publicado no D.O.E nº 30.534 da 03/10/2005, pelos serviços de consultoria nos aspectos técnicos e comerciais nas obras de ampliação da E.T.A, contrato no valor de R\$ 356.010,00, publicado no D.O.E nº 30.533 de 30/09/2005 (Tabela 15)

Tabela 16 – Custo total de ampliação da E.T.A Bolonha

ORIGEM DA DESPESA	VALOR (R\$)	%
PROJETO AMBIENTAL	94.050,00	0,16
PROJETO AMPLIAÇÃO TOMADA D'ÁGUA	147.932,40	0,25
GERENCIAMENTO, SUPERVISÃO E PROJETOS	2.386.842,02	4,10
ASSESSORIA TÉCNICA E COMERCIAL	356.010,00	0,61
CONSTRUÇÃO / AMPLIAÇÃO DA E.T.A	55.260.964,45	94,88
TOTAL	58.245.798,87	100,00

Então, somando as parcelas que fazem parte do preço global para execução da ampliação da Estação de Tratamento de Água do Bolonha tem-se R\$ 58.245.798,87 (Tabela 15). Vale ressaltar que esse valor não foi pago de uma só vez e para ser rigoroso na avaliação financeira deveríamos ter um cronograma de desembolso da realização dessas despesas e sobre ele fazer uma apreciação. Como não foi possível a aquisição desde cronograma, adotou-se o valor global dos serviços contratados.

11.2.1 Custos Fixos

Construção da Estação de Tratamento de Água

Para o custo fixo temos a amortização anual do valor da construção da estação de tratamento de água do Bolonha.

A conversão desse investimento em uma unidade equivalente é feita através da expressão:

$$Fa = i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$

onde:

Fa = fator de anualização ou de reposição do capital

i = taxa de juro anual (5%) - adotado pela Caixa para os programas de abastecimento e saneamento.

n = vida útil provável para efeito de cálculo da amortização anual do investimento (30 anos) (PFEIFFER, 1993; TANCREDI, 1996).

$$Fa = 0,05(1+0,05)^{30} / [(1+0,05)^{30} - 1]$$

$$Fa = (0,05 \cdot 4,32) / (4,32 - 1)$$

$$Fa = 0,06506$$

O valor da amortização anual do capital para construção da estação de tratamento de água é de :

$$A_{ETA} = R\$ 58.245.798,87 \times 0,06506 = R\$ 3.789.471,67$$

11.2.2 Custos Operacionais

Para avaliação do custo de produção de água superficial tomou-se como base o custo de ampliação da E.T.A Bolonha, não sendo avaliado o custo de água tratada oriunda das estações de tratamento de São Braz e 5º setor.

Custos operacionais compreendem todos os necessários para disponibilizar um metro cúbico de água tratada na saída dos setores operacionais da concessionária. Para tal devem ser considerados as despesas:

- a) No complexo Bolonha que compreende captação e adução de água bruta as margens do rio Guamá até o lago Água Preta, estação de tratamento de água do Bolonha, elevatória de água bruta, elevatória de água tratada que disponibiliza água por gravidade para zona de expansão e adução de água tratada por bombeamento para os setores operacionais;
- b) nos setores operacionais que reservam e distribuem a água tratada proveniente da E.T.A Bolonha.

Para composição do custo operacional temos despesas com funcionários, produtos químicos e energia elétrica.

Despesas com funcionários

- a) na captação as margens do rio Guamá a concessionária COSANPA terceiriza os serviços de mão de obra para operação do sistema, no valor de R\$ 111.278,27 por ano, extrato de contrato de prestação de serviços publicado no D.O.E nº 30.595 de 05/01/2006;
- b) na estação de tratamento de água do Bolonha, elevatória de água bruta, elevatória de água tratada e adução de água tratada para os setores operacionais a despesa com funcionários é de R\$ 3.628.800,00 por ano (COSANPA, 2004);
- c) no 8º setor operacional no bairro do Jurunas que distribui água tratada oriunda da estação de tratamento de água do Bolonha e despesa com funcionários é de R\$ 116.507,28 por ano, conforme extrato contratual de prestação de serviços publico no D.O.E nº 30.595 de 05/01/2006;
- d) nos 6º, 7º, 9º setores operacionais e nos setores do bairro da Marambaia e Cidade Nova, não há dados disponíveis das despesas com funcionários, porém é válido estimar essa despesa baseando-se nos contratos de fornecimento de mão de obra terceirizada de outros setores operacionais que realizam o mesmo serviço. Para tal adotou-se o custo médio de R\$ 114.820,00 por ano para cada setor.

Despesa anual com funcionários no complexo Bolonha que compreende captação e adução de água bruta nas margens do rio Guamá até o lado Água Preta, estação de tratamento de água Bolonha, elevatória de água Bruta, elevatória de água tratada para zona de expansão, adução de água tratada por bombeamento para os setores operacionais da zona central, e despesas com funcionários nos setores operacionais, inclusive encargos sociais (Tabela 17).

Tabela 17 – Despesas com funcionários para opção água superficial

ORIGEM DA DESPESA	VALOR (R\$)	%
CAPTAÇÃO E ADUÇÃO ÁGUA BRUTA	111.278,27	2,51
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO E ELEVATÓRIAS	3.628.800,00	81,90
6º SETOR OPERACIONAL – SÃO BRAZ	114.820,00	2,59
7º SETOR OPERACIONAL – TERRA FIRME	114.820,00	2,59
8º SETOR OPERACIONAL – JURUNAS	116.507,28	2,63
9ª SETOR OPERACIONAL – PEDREIRA	114.820,00	2,59
SETOR OPERACIONAL – MARAMBAIA	114.820,00	2,59
SETOR OPERACIONAL – CIDADE NOVA	114.820,00	2,59
TOTAIS	4.430.685,55	100,00

Af = R\$ 4.430.685,55

Despesas com produtos químicos

Como discriminado na Tabela 18, tem-se:

- *Sulfato de alumínio ferroso granulado* – O preço da tonelada é de R\$ 924,11, segundo extrato contratual publicado no D.O.E nº 30.532 de 29/09/2005.
- *Cloro* – O preço da tonelada é de R\$ 2.786,05, segundo extrato contratual publicado no D.O.E nº 30.442 de 23/05/2005.
- *Cal Hidratada* – O preço da tonelada é de R\$ 434,00, segundo extrato contratual publicado no D.O.E nº 30.532 de 29/09/2005.

- *Fluorsilicato de sódio* – O preço da tonelada é de R\$ 2.645,00, segundo contratual publicado no D.O.E nº 30.468 de 29/06/2005.

Para apropriação do custo de produção de água superficial a partir da estação de tratamento de água do Bolonha adotou-se para uma melhor avaliação um regime de bombeamento de 16 horas por dia e outro de 20 horas por dia (TANCREDI, 1996).

Tabela 18 – Despesa anual com produtos químicos de acordo com o regime de bombeamento.

PRODUTO QUÍMICO	CONSUMO (g/m ³)	REGIME DE BOMBEAMENTO	
		16 h/dia	20 h/dia
SULFATO DE ALUMÍNIO	16,00	1.243.417,02	1.554.279,09
COLORO	1,60	374.863,02	468.585,74
CAL HIDRATADA	11,00	401.471,70	501.842,88
FLUORSILICATO DE SODIO	0,75	166.820,15	208.531,80
TOTAIS		2.186.571,89	2.733.239,51

Despesas com energia elétrica

Para composição da despesa anual de energia elétrica no Complexo Bolonha tem-se captação e adução de água bruta as margens do Rio Guamá até o lago Água Preta, estação de tratamento de água Bolonha, elevatória de água Bruta, elevatória de água tratada para zona de expansão, adução de água tratada por bombeamento para os setores operacionais da zona central e despesas com energia para as elevatórias dos setores operacionais.

É de 5.489 KW o consumo horário de energia elétrica na operação de captação e adução de água bruta as margens do Rio Guamá até o lago Água Preta, operação da estação de tratamento, elevatória de água bruta, elevatória de água tratada para zona de expansão e adução de água tratada por bombeamento para os setores operacionais (COSANPA, 2004).

- a) Despesa anual com energia elétrica para regime de bombeamento de 16 horas por dia é de:

$$A_{e16h} = 87.824 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$A_{e16h} = \text{R\$ } 7.456.169,77$$

b) Despesa anual com energia elétrica para regime de bombeamento de 20 horas por dia é de:

$$A_{e20h} = 109.780 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$A_{e20h} = \text{R\$ } 9.320.212,22$$

Para a determinação da despesa com energia elétrica nas elevatórias dos setores operacionais que distribuem água tratada proveniente da E.T.A Bolonha, deve-se calcular individualmente o consumo de cada conjunto moto-bomba, baseado na altura manométrica e na vazão de cada setor (Figura 17), segundo a seguinte expressão:

$$P = 15 Q.H$$

Onde:

P = potência consumida em uma hora de bombeamento (Kw).

H = altura manométrica de bomba (m).

Q = vazão disponibilizada na elevatória (m³/s).

a) para o 6° setor operacional no bairro de São Braz a vazão é de 0,472 m³/s, altura manométrica de 20 metros então para potência de energia consumida em uma hora de bombeamento tem-se:

$$P_{1h} = 15 \times 0,472 \times 20 = 141,60 \text{ KW}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$P_{16h} = 141,60 \times 16 = 2.265,60 \text{ KW}$$

$$A_{e16h} = 2.265,60 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$\mathbf{Ae16h = R\$ 192.347,17 / ano}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

$$P_{20h} = 141,60 \times 20 = 2.832 \text{ KW}$$

$$Ae_{20h} = 2.832 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$\mathbf{Ae20h = R\$ 240.433,96 / ano}$$

b) para o 7º setor operacional no bairro da Terra Firme a vazão é de 0,427 m³/s, altura manométrica de 20 metros então para potência de energia consumida em uma hora de bombeamento tem-se:

$$P_{1h} = 15 \times 0,427 \times 20 = 128,10 \text{ KW}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$P_{16h} = 128,10 \times 16 = 2.048,60 \text{ KW}$$

$$Ae_{16h} = 2.048,60 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$\mathbf{Ae16h = R\$ 174.008,99 / ano}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

$$P_{20h} = 128,10 \times 20 = 2.562 \text{ KW}$$

$$Ae_{20h} = 2.562 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$\mathbf{Ae20h = R\$ 217.511,23 / ano}$$

c) para o 8º setor operacional no bairro do Jurunas a vazão é de 0,700 m³/s, altura manométrica de 20 metros então para potência de energia consumida em uma hora de bombeamento tem-se:

$$P_{1h} = 15 \times 0,700 \times 20 = 210 \text{ KW}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se :

$$P_{16h} = 210 \times 16 = 3.360 \text{ KW}$$

$$A_{e16h} = 3.360 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias.}$$

$$\mathbf{A_{e16h} = R\$ 285.260,64 / ano}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

$$P_{20h} = 210 \times 20 = 4.200 \text{ KW}$$

$$A_{e20h} = 4.200 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$\mathbf{A_{e20h} = R\$ 356.575,80 / ano}$$

d) para o 9º setor operacional no bairro da Pedreira a vazão é de 1,308 m³/s, altura manométrica de 20 metros então para potência de energia consumida em uma hora de bombeamento tem-se:

$$P_{1h} = 15 \times 1,308 \times 20 = 392,40 \text{ KW}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$P_{16h} = 392,40 \times 16 = 6.272,40 \text{ KW}$$

$$A_{e16h} = 6.272,40 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias.}$$

$$\mathbf{A_{e16h} = R\$ 532.520,48 / ano}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

$$P_{20h} = 392,40 \times 20 = 7.848 \text{ KW}$$

$$A_{e20h} = 7.848 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$\mathbf{A_{e20h} = R\$ 666.287,35 / ano}$$

- e) para o setor operacional no bairro da Marambaia a vazão é de $0,478 \text{ m}^3/\text{s}$, altura manométrica de 20 metros, então para a potência de energia consumida em uma hora de bombeamento tem-se:

$$P_{1h} = 15 \times 0,478 \times 20 = 143,40 \text{ KW}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$P_{16h} = 143,40 \times 16 = 2.294,40 \text{ KW}$$

$$A_{e16h} = 2.294,40 \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$\mathbf{A_{e16h} = R\$ 194.792,26 / ano}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

$$P_{20h} = 143,40 \times 20 = 2.868 \text{ KW}$$

$$A_{e20h} = 2.868 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$A_{e20h} = \text{R\$ } 243.490,33 / \text{ ano.}$$

f) para o setor operacional no bairro da Cidade Nova, a vazão é de 0,295 m³/s, altura manométrica de 20 metros, então para potência de energia consumida em hora de bombeamento tem-se:

$$P_{1h} = 15 \times 0,295 \times 20 = 88,50 \text{ KW}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$P_{16h} = 88,50 \times 16 = 1.416,00 \text{ KW}$$

$$A_{e16h} = 1.416,00 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$A_{e16h} = \text{R\$ } 120.126,98 / \text{ ano}$$

Adotando-se um regime de bombeamento de 20 horas por dia tem-se:

$$P_{20h} = 88,50 \times 20 = 1770 \text{ KW}$$

$$A_{e20h} = 1.770 \text{ KW} \times 0,2326 \times 365 \text{ dias}$$

$$A_{e20h} = \text{R\$ } 150.271,23 / \text{ ano}$$

Na tabela 19 está a síntese das despesas com energia elétrica com os setores operacionais.

Tabela 19 – Despesa com energia elétrica nos setores operacionais.

SETORES	VAZÕES (M ³ /S)	CONSUMO DA BOMBA (KW)	REGIMENTO DE BOMBEAMENTO	
			16 h / dia	20 h / dia
6º SETOR – SÃO BRAZ	0,472	141,60	192.347,17	240.433,96
7º SETOR – TERRA FIRME	0,427	128,10	174.008,99	217.511,23
8º SETOR – JURUNAS	0,700	210,00	285.260,64	356.575,80
9º SETOR – PEDREIRA	1,300	390,00	529.769,76	662.212,20
SETOR – MARAMBAIA	0,478	143,40	197.792,26	243.490,33
SETOR - CIDADE NOVA	0,295	88,50	120.216,98	150.271,23
TOTAIS	3,672		1.499.395,80	1.870.494,75

A soma das vazões dos setores operacionais é 3,672 m³/s, então para um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se o volume de água distribuída na rede durante um ano de 77.200.128 m³, e a parcela dessa despesa de energia elétrica é o valor total da despesa para o regime de 16 horas por dia dividido pelo total de água bombeada durante o ano:

$$E_{16h} = 1.499.395,00 / 77.200.128 = \text{R\$ } 0,0194/\text{m}^3$$

Para o regime de bombeamento de 20 horas por dia o volume de água distribuída é de 96.50.160 m³ e a parcela dessa despesa de energia elétrica é o valor total da despesa para o regime de 20 horas por dia dividido pelo total de água bombeada durante o ano:

$$E_{20h} = 1.870.494,75 / 96.500.160 = \text{R\$ } 0,0194/\text{m}^3$$

11.2.3 Custo de produção de água superficial

O custo de produção do metro cúbico de água superficial tratada é resultado da soma do custo anualizado do investimento para construção da estação de tratamento de água, custo anual

com funcionários, custo anual com produtos químicos e custo anual com energia elétrica, dividido pelo volume de água produzida anualmente pela estação de tratamento, mais o custo da energia elétrica por metro cúbico de água distribuída pelos setores operacionais.

O custo de produção do metro cúbico de água superficial tratada pra um regime de bombeamento de 16 horas por dia (Tabela 20):

$$\mathbf{C_{p16h} = C_{16h} + E_{16h}}$$

$$\mathbf{C_{16h} = (A_{eta} + A_f + A_{pq16h} + A_e) / P_{16h}}$$

$$\mathbf{C_{16h} = (3.789.471,67 + 4.430.685,55 + 2.186.571,89 + 7.456.169,77) / 84.096.000}$$

$$\mathbf{C_{16h} = R\$ 0,2124/m^3}$$

$$\mathbf{E_{16h} = R\$ 0,0194/m^3}$$

$$\mathbf{C_{p16h} = 0,2124 + 0,0194 = 0,2318}$$

O custo de produção do metro cúbico de água superficial tratada para um regime de bombeamento de 20 horas por dia (Tabela 21):

$$\mathbf{C_{p20h} = C_{20h} + E_{20h}}$$

$$\mathbf{C_{20h} = (A_{eta} + A_f + A_{pq20h} + A_e) / P_{20h}}$$

$$\mathbf{C_{20h} = (3.789.471,67 + 4.430.685,55 + 2.733.239,51 + 9.320.212,22) / 105.120.000}$$

$$\mathbf{C_{20h} = R\$-0,1928 / m^3}$$

$$\mathbf{E_{20h} = R\$- 0,0194 / m^3}$$

$$C_{p20h} = 0,1928 + 0,0194 = 0,2122$$

11.2.4 Avaliação dos componentes do custo de produção de água superficial tratada

A avaliação da composição do custo de produção do metro cúbico de água superficial tratada para cada regime de bombeamento, mostra a participação de cada componente na formação do preço de produção superficial e o percentual de cada item nesse preço.

Tabela 20 - Composição do custo de produção do metro cúbico de água superficial tratada, para regime de bombeamento de 16 horas por dia.

COMPONENTE	VALOR DESPESA ANUAL (R\$)	PARCELA (R\$)	%
AMPLIAÇÃO DA E.T.A	3.789.471,67	0,0451	19,57
DESPESAS COM FUNCIONÁRIOS	4.430.685,55	0,0527	22,88
PRODUTOS QUÍMICOS	2.186.571,89	0,0260	11,29
ENERGIA ELÉT - TRATAMENTO E ADUÇÃO	7.456.169,77	0,0887	38,51
ENERGIA ELÉTRICA - DISTRIBUIÇÃO	1.499.395,80	0,0194	7,74
TOTAL	19.362.294,68	0,2318	100,00

Tabela 21 – Composição do custo de produção do metro cúbico de água superficial tratada, para regime de bombeamento de 20 horas por dia

COMPONENTE	VALOR DESPESA ANUAL (R\$)	PARCELA (R\$)	%
AMPLIAÇÃO DA E.T.A	3.789.471,67	0,0360	17,11
DESPESAS COM FUNCIONÁRIOS	4.430.685,55	0,0421	20,01
PRODUTOS QUÍMICOS	2.733.239,51	0,0260	12,34
ENERGIA ELÉT - TRATAMENTO E ADUÇÃO	9.320.212,22	0,0887	42,09
ENERGIA ELÉTRICA - DISTRIBUIÇÃO	1.870.494,75	0,0194	8,45
TOTAL	22.144.103,70	0,2122	100,00

11.3 COMPARAÇÃO DE CUSTOS

Os resultados da avaliação são apresentados em forma de custo do metro cúbico de água tratada. Foram escolhidos como pontos para comparação, o local de bombeamento do poço para as águas subterrâneas e a saída dos setores operacionais de distribuição, para as águas superficiais.

A Tabela 22 apresenta os valores encontrados para o custo do metro cúbico de água tratada, de acordo com os mananciais captados e os regimes de bombeamento adotados. Com base nas hipóteses adotadas e comprando-se os resultados obtidos, fica evidente a vantagem econômica da alternativa água subterrânea sobre a alternativa água superficial.

Tabela 22 – Custo da água na região de Belém e Ananindeua

MANANCIAL CAPTADO	REGIME DE BOMBEAMENTO	
	16 h/dia	20 h/dia
SUBTERRÂNEO – AQUÍFERO PIRABAS	R\$ 0,1755	R\$ 0,1602
SUPERFICIAL – RIO GUAMÁ	R\$ 0,2318	R\$ 0,2122

O preço do metro cúbico de água subterrânea é 32,08% mais barato que da água superficial para um regime de bombeamento de 16 horas por dia e de 32,46% na hipótese de regime de bombeamento de 20 horas por dia e analisando os itens que compõe esses preços, verificamos que as diferenças significativas são as referentes às despesas com produtos químicos para o tratamento da água superficial.

O item de maior peso na composição do custo tanto para água superficial quanto para água subterrânea é o gasto com energia elétrica.

A parcela de participação da energia elétrica é de 55,23% para água subterrânea e 38,51% para água superficial quando se adota o regime de bombeamento de 16 horas por dia e de 60,50% para água subterrânea e 42,09% para água superficial no regime de bombeamento de 20 horas por dia.

12 CONCLUSÕES

Os estudos das potencialidades dos recursos hídricos da região de Belém e Ananindeua, com área de 394 km², possibilitaram o conhecimento das características hidroclimáticas e meteorológicas, do quadro hidrogeológico, e das condições técnicas e econômicas da exploração de água superficial e subterrânea.

O panorama estabelecido sobre as condições hidroclimáticas, meteorológicas e das potencialidades dos recursos hídricos, sobretudo das águas subterrâneas, permitem a realização de comparações técnicas e econômicas entre o suprimento de água através das opções água subterrânea e água superficial.

O clima da região é equatorial úmido, do tipo Af, e o balanço hídrico indica que no período de janeiro a setembro há excesso de água no solo, o que resulta em escoamento superficial e infiltração de água no solo, e que nos meses de outubro e novembro há deficiência de água no solo, o que permite estabelecer os parâmetros de sazonalidade no comportamento das águas subterrâneas situadas em pequenas profundidades.

As águas do sistema aquífero livre são ácidas, apresentado pH entre 3,4 e 5,7, baixa condutividade elétrica, dentro de uma classificação iônica dos tipos cloretada sódica e bicarbonatada sódica. As águas do sistema aquífero Pirabas apresentam excelente qualidade e são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, alcalinas. Apresentam valores elevados de condutividade elétrica, dureza e alcalinidade de bicarbonato. O sistema aquífero Pirabas se configura como a melhor opção para exploração de água subterrânea, tendo poços completados entre 250 e 350 metros de profundidade, que disponibilizam vazões de 250 a 380 m³/h, sendo por essas características o mais indicado para abastecimento público.

O grau de vulnerabilidade do sistema aquífero Pirabas é considerado baixo a negligenciável, isso devido à espessura da zona não saturada e das características litológicas e estruturais, sendo, portanto, mais protegido da infiltração de contaminantes e menos vulnerável à poluição.

A região de Belém e Ananindeua possui uma reserva total de água subterrânea de 10,71 bilhões de metros cúbicos por ano, e uma reserva explorável de 134,7 milhões de metros cúbicos por ano, que nesse caso representa toda a reserva reguladora mais 30% da reserva permanente para um período de 50 anos. A disponibilidade hídrica subterrânea per capita é de 190 litros/dia.

O acréscimo da demanda até o ano de 2025 estima-se em 57,03 milhões de metros cúbicos de água por ano. Será necessário para atender esse acréscimo, a construção de 65 poços com uma vazão média de 250 m³/h, operando um regime de bombeamento de 16 horas por dia ou de 52 poços considerando regime de bombeamento de 20 horas por dia, já levando em conta 40% de perdas.

Visto que o preço do metro cúbico de água subterrânea é 32,46% mais barato que a água superficial, então essa opção se configura como a mais indicada para atender o abastecimento público. Porém não só sobre o ponto de vista econômico deve-se procurar embasamento para a tomada de decisão referente à escolha do manancial a ser explorado para ampliação do sistema de abastecimento público de água. No caso particular de Belém e Ananindeua, a captação de água superficial proveniente do Rio Guamá e armazenada nos Lagos Bolonha e Água Preta, apresenta risco de contaminação através da crescente e desordenada urbanização que ocorre nessa área. Existe também a contribuição poluidora oriunda do Aterro Sanitário do Aurá, onde os resultados de estudos realizados no ponto de captação da COSANPA, no rio Guamá para adução aos lagos Bolonha e Água Preta não afirmarem que esses recursos estão sendo atingidos pelo deslocamento superficial

Esse quadro reforça a necessidade de modificação ou de implantação de meios alternativos ao sistema atual de abastecimento público de água em Belém e Ananindeua, sendo opção o incremento a exploração das águas subterrâneas.

Portanto, considerando-se as hipóteses levantadas neste trabalho, pode-se concluir que a utilização de água subterrânea proveniente do sistema aquífero Pirabas é atualmente a melhor opção para ampliação do sistema de abastecimento de água para a região de Belém e Ananindeua. Entretanto, a despeito da disponibilidade de água subterrânea, seu menor custo de produção, sua menor vulnerabilidade, menor custo operacional, a Companhia de Saneamento do

Pará – COSANPA, concessionária estadual responsável por 87% do abastecimento público de água potável, já fez sua opção por água superficial para suprir a demanda para os próximos 20 anos, através da ampliação da estação de tratamento de água do Bolonha, deixando a opção água subterrânea para atender casos pontuais de abastecimento, talvez justamente por não dispor de estudos técnicos como o agora apresentado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F. A. M. 1990. *Evolução Geotectônica do Pré Cambriano na Região Meio Norte do Brasil e sua Correlação com a África Ocidental*, Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 440p (Tese de Doutorado)
- ACKERMANN, F. L. 1976. *A Formação Pirabas sua Evolução e Interpretação*, Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRANEAS. 2003. *Estudo – Hidrogeologia Informe Científico*.
- CABRAL, N. M. T. 2004. *Impacto da Urbanização na Qualidade das Águas Subterrâneas nos Bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal*, Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 215p. (Tese de Doutorado)
- CABRAL, N. M. T. & TAGLIARINI, E. M. 2000. Fundamentos para Uso e Proteção das Águas Superficiais e Subterrâneas da Região Oeste da Cidade de Belém/PA, In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., Fortaleza, *Anais*. Fortaleza, ABAS. CD-ROM.
- CARRERA-FERNANDES, J. & GARRIDO, R. J. 2003. *Economia dos Recursos Hídricos*, Salvador: EDUFBA
- CERVO, A. L. Z.; BERVIAN, P. A. 1996. *Metodologia Científica*. 4 ed. São Paulo: MAKRON Books.
- CHIOSSI, N. J. 1999. *Geologia Aplicada à Engenharia*. 2 ed. São Paulo: Grêmio Politécnico.
- COSANPA. 2004. *Relatório Anual de Produção*. Belém, Secretaria Executiva de Produção da Companhia de Saneamento do Pará

- COSTA, W. D. 2000. Uso e gestão de água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C. & MANUEL FILHO, J. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza, CPRM. Cap. 14. p.341 – 367
- DRISCOLL, G. 1987. *Groundwater and Well*. 2 ed. Saint Paul: Johnson Division. 1089 p.
- FEITOSA, F. A. C. & FILHO, J. M.(Org.). 2000. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. 2 ed. Fortaleza. CPRM – Serviço Geológico de Brasil; Universidade Federal de Pernambuco, Laboratório de Hidrogeologia. 391p.
- FERNANDES J. M. G. & TÁVORA V. A. 1990. Estudo dos foraminíferos da Formação Pirabas procedentes do furo CB-UFPa-PI (85), município de Capanema, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal. *Anais*, Natal, SBG. v.1, p.470-475
- FERREIRA, C. S. 1967. Contribuição a Paleontologia do Estado do Pará. Gênero *Orthaulax* Gaab, 1872 na Fazenda Pirabas. In CNPq. SIMPÓSIO DA BIOTA AMAZÔNICA, 1, Belém. *Anais*, v.1, p.169-181
- FERREIRA, C. S. 1977. Fáceis da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). Novos Conceitos e Ampliações (Projeto Específico ABC FINEP). *Anais Academia Brasileira de Ciências*. 49(2): 353.
- FERREIRA, C. S. 1980. Correlação da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) no Norte e Nordeste do Brasil, com as Formações Chipola e Tampa da Península da Florida, USA. In: CONGRESSO ARGENTINO DE PALEONTOLOGIA, 2. & CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA, 1., Buenos Aires. *Anais*, Buenos Aires. v.3, p.49-55
- FERREIRA, C. S. 1982. Notas Estratigráficas Sobre o Cenozóico Marinho do Estado do Pará, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, Belém, *Anais*, Belém. v.1, p.81-88

- FERREIRA, C. S. & CUNHA, O. R. 1957. Contribuição à paleontologia do Estado do Pará. Notas sobre a Formação Pirabas com a descrição de novos invertebrados fósseis. 1. (Mollusca Gastropoda). *Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série Geológica*. 2:1-61.
- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. C. 1988. Riscos de Poluição de Águas Subterrâneas. In: CONGRESSO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABAS. p.175 - 185.
- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. C. 1991. *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en dados existentes*. Lima, HPE/OPS/WHO. 81 p.
- FRANCISCO, B. H. & FERREIRA, C. S. 1988. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias no nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém. *Anais*. Belém, SBG. v.2, p. 761-764
- GOÉS, A. M. & TRUCKENBROT, W. 1980. Caracterização Faciológica e Interpretação Ambiental do Sedimentos Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camburiú. *Anais*. Camburiú, SBG. v.2, p. 766-771
- GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P. M. 1990 Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no Nordeste do Pará. *Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra* 2:3-15
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2004. *Anuário Estatístico do IBGE*. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.ibge.gov.br> Acesso em 29 jan. 2005.
- LINSLEY, R. K. & FRANZINI, J. B. 1978. *Engenharia dos Recursos Hídricos*. São Paulo, McGraw Hill do Brasil/Edusp.

- MATTA, M. A da S. 2002. *Fundamentos Hidrogeológicos para Gestão Integrada dos recursos Hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará . Brasil*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292p. (Tese de Doutorado)
- MORALES, G. P. 2002. *Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 240p. (Tese de Doutorado)
- OLIVEIRA, J. R.; CENTENO JÚNIOR, F. M.; PONTES, M. X.; IMBIRIBA JÚNIOR, M.; BOTELHO, J. B. S. 2000 Construção de poços tubulares profundos na região metropolitana de Belém, In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., Fortaleza, *Anais*. Fortaleza, ABAS. CD-ROM.
- OLIVEIRA, M. C. F. de & SOUZA, P. F. S. 1997. Estudo da Possíveis Variações e Mudanças Climáticas em Belém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba. *Anais*. Piracicaba. p. 410-412.
- PALHETA, E. S. M. 2001. *Evolução Geológica da Região Nordeste do Estado do Pará com Base em Estudos Estruturais e Isotópicos de Granitóides*. Belém. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado)
- PARÁ. Secretaria de Estado de Industria, Comércio e Mineração 1995. *Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas da Região Metropolitana de Belém e Adjacências*. Belém. 187p.
- PEHRMB. 2002. Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências. Belém, CPRM. 88p (Relatório Final)
- PFEIFFER, S. C. 1993. *Avaliação da viabilidade técnico-econômica de aproveitamento de águas subterrâneas na área urbana de São Carlos-SP*. São Carlos, Universidade de São Paulo. Centro de Hidrologia. 113p. (Dissertação de Mestrado).

- REBOUÇAS, A. C. 1994. Fundamentos de gestão de aquíferos. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 2., Santiago. *Curso Pré-Congresso*. Santiago, ALSUD. 35 p.
- ROSSETTI, D. F. 2001. Arquitetura Depositional da Bacia de São Luis-Grajaú, Meio Norte do Brasil. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUKENBRODT, W. (Eds.). *O Cretácio na Bacia São Luis-Grajaú*, Belém, Museu Paraense Emilio Goeldi, Coleção Friedrich Katzer, 31-46.
- ROSSETTI, D. F.; TRUKENBRODT, W.; GOÉS, A. M. 1989. Estudo Paleoambiental e Estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi* (Série Ciências da Terra), 1 (1): 25-74
- SANTOS, W. D. 2000. Uso e gestão de água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C. & MANUEL FILHO, J. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. Fortaleza, CPRM. cap. 14. p.341–367.
- SETTI, A. A. 1994. *A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos*. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal.
- SILVA, G. S.; GOMES, C. L. M.; NETO, L. S. M.; VERA, M. O.; NASCIMENTO, M, S. S. 1999. *II Especialização em Engenharia de Produção*. Belém, Universidade da Amazônia-UNAMA (Trabalho de Conclusão de Curso)
- SILVA, S. O. & LOEWENSTEIN, P. 1968. *Contribuição à Geologia da Folha de São Luis (AS – 23) no Estado do Pará; II: Novas Localidades e Razão magnésio/cálcio do calcário Pirabas*. Belém. (Boletim do Museu Emilio Goeldi. Belém, nº 13)

- TANCREDI, A. C. F. N. S. 1996. *Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: Fundamentos para uso e proteção*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 145p. (Tese de Doutorado).
- TEIXEIRA, W.; TOLEDO M. C. M.; FAIRCHILD, T, R.; TAIOLI, F. 2000. *Decifrando a Terra*. São Paulo, Oficina de Textos.
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. 1955. *The water balance*, Publication in *Climatology* . New Jersey, v.8, 104 p.
- UHLY, S. & LOPES DE SOUZA, E. (Org.). 2004. *A Questão da Água na Grande Belém*. Belém, Casa de Estudos Germânicos.
- VILLIERS, M. 2002. *Água: como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI*. Rio de Janeiro, Ediouro
- ZIMBRES, E. 2003. *Guia avançado sobre água subterrânea*. Rio de Janeiro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia.