



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

MICHELE DE OLIVEIRA BERINO

“COMPORTAMENTO DO FLUXO HÍDRICO SUBTERRÂNEO NA ÁREA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DA ESTRADA NOVA, BELÉM-PARÁ, E SUA RELAÇÃO COM A OCUPAÇÃO DO
MEIO FÍSICO”.

GEOCIÊNCIAS
UFPA

BELÉM -PA

2013

MICHELE DE OLIVEIRA BERINO

“COMPORTAMENTO DO FLUXO HÍDRICO SUBTERRÂNEO NA ÁREA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DA ESTRADA NOVA, BELÉM-PARÁ, E SUA RELAÇÃO COM A OCUPAÇÃO DO
MEIO FÍSICO”.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Milton Antônio da Silva
Matta

BELÉM-PA

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

B511c Berino, Michele de Oliveira.

Comportamento do fluxo hídrico subterrâneo na área da bacia hidrográfica da Estrada Nova, Belém-Pará, e sua relação com a ocupação do meio físico / Michele de Oliveira Berino; Orientador: Milton Antônio da Silva Matta – 2013

54f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Águas Subterrâneas – Belém (PA). 2. Aquífero. 3. Fluxo hídrico subterrâneo. I. Matta, Milton Antônio da Silva, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20ª ed.: 551.49098115

MICHELE DE OLIVEIRA BERINO

“COMPORTAMENTO DO FLUXO HÍDRICO SUBTERRÂNEO NA ÁREA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DA ESTRADA NOVA, BELÉM-PARÁ, E SUA RELAÇÃO COM A OCUPAÇÃO DO
MEIO FÍSICO”.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Milton Antônio da Silva Matta - Orientador
Doutor em Hidrogeologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Francisco de Assis Matos de Abreu - Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Raimundo Oliver Brasil - Membro
Mestre em Geologia
Autônomo

Dedico este trabalho de conclusão de curso a minha filha Letícia, seu sorriso é o combustível que me move todas as manhãs, o brilho dos seus olhos me transmitem esperança e a certeza de que não devemos jamais desistir dos nossos sonhos, eles são a única garantia de que podemos vencer desafios e mudar o rumo de nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Para a realização desse trabalho precisei contar com uma grande ajuda de pessoas e instituições às quais aqui agradeço.

Primeiramente à Deus que sempre me abençoou durante minha trajetória no curso e me deu forças para seguir em frente nos meus estudos.

À Universidade Federal do Pará, através da Faculdade de Geologia que tornou possível a realização deste estudo e me proporcionaram as condições necessárias, através das diversas disciplinas cursadas, para a minha formação acadêmica num dos mais conceituados cursos de Geologia do Brasil.

Ao meu orientador professor Dr. Milton Antônio da Silva Matta, que foi um excelente mestre e amigo, sempre disposto a me auxiliar com discursões indispensáveis para a finalização desse trabalho, muito obrigada professor por me ajudar a tornar real esse sonho.

Ao conjunto de professores do Instituto de Geociências que, com a transmissão do saber, permitiram que eu acumulasse, ao longo do Curso de Graduação em Geologia, o saber e a compreensão dos diversos processos geológicos que me serão úteis na vida profissional. Preciso destacar, entre eles, os professores Netuno Villas, Francisco de Assis Matos, Zé Augusto e Maurício Borges.

No plano familiar, preciso, em primeiro lugar agradecer a minha mãe Maria Valnice e meu pai Amarildo José que desde criança me ensinaram o sentido da palavra educação, aos meus queridos irmãos Paula Vanessa e Amarildo Junho que foram meus companheiros durante minha jornada acadêmica, minha linda e amada filha Letícia Izabella e ao César Mayrinck pelo apoio durante os anos de graduação. Aos meus colegas do curso de geologia, principalmente, àqueles que efetivamente contribuíram para a realização deste trabalho. Ao Antonio Pantoja (Az) que muito ajudou na construção da base cartográfica e na elaboração do mapa de fluxo hídrico subterrâneo. Daniel e a Érika que foram meus companheiros de campo e escritório e contribuíram com suas discussões e ao Alex Nina que me auxiliou com a formatação.

Ao Laboratório de Recursos Hídrico e Meio Ambiente (LARHIMA), pela utilização de seu espaço físico e equipamentos que facilitaram a realização deste estudo e aos colegas do LARHIMA.

Ao grupo de alunos do curso de geologia que me emprestaram suas amizades, companhias, e preocupações ao longo desse período de estudos. Sofremos juntos nas diversas disciplinas, mas sempre nos ajudamos quando foi necessário: Cláudia Daniele, Roberta Socorro, Walnei Batista, Abner Carvalho, Walmir Lima, Diego Lemos, Lilian Paula, Joane Cunha e Conceição Dionísio (in memory) e às turmas de geologia de 2007, 2008 e 2009. A todas as pessoas e instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste estudo.

A todos vocês meus mais sinceros agradecimentos.

“Caminhar apesar da distância;
Vencer apesar dos obstáculos;
sonhar apesar das decepções;
sorrir apesar das angústias;
acreditar acima de tudo.”

Daniel Silveira

RESUMO

A Bacia Hidrográfica da Estrada Nova (BHEM) abrange 8 bairros da cidade de Belém com uma extensão territorial de 9,54 km². Foi realizado o mapeamento dos fluxos hídricos subterrâneos do sistema hidrogeológico superior, no sentido de analisar suas relações com a ocupação do meio físico. Os diversos condicionantes geoambientais são clima, precipitação pluviométrica, hidrografia, vegetação, geomorfologia, geologia, pedologia e hidrogeologia. O processo de ocupação se deu de forma desordenada, caracterizado por casas construídas nas margens de igarapés sem tratamento de esgoto, vários postos de gasolina, lavas jatos, escolas, hospitais, cemitérios e feiras. É apresentado um apanhado à cerca do ciclo hidrológico, bacias hidrográficas, aquíferos, águas subterrâneas e superficiais e fluxos hídricos subterrâneos. Foi selecionado um conjunto de vinte e seis poços, onde vinte e cinco são tubulares e um é amazonas que compuseram o arquivo de dados. Confeccionou-se um mapa de fluxo hídrico subterrâneo que revelou a existência de duas áreas de descarga e uma de recarga, o mapa foi plotado sobre uma base cartográfica da área, com seus diversos elementos da ocupação urbana onde se identificou a presença de dois cemitérios, o Santa Isabel e da Soledade mais uma concentração de postos de combustível que constitui uma importante fonte potencial de contaminação e densa aglomeração populacional, o que torna esse setor da área bastante vulnerável ambientalmente. As áreas de recargas devem ser protegidas ambientalmente, evitando os processos de ocupação urbana e impermeabilização do solo com a consequente falta de infiltração das águas pluviais e não abastecimento do aquífero.

Palavras-chave: Águas subterrâneas. – Belém (PA) Aquífero. Fluxo hídrico subterrâneo.

ABSTRACT

The Basin of New Road (BNR) covers 8 districts of the city of Belem with a land area of 9.54 km². We carried out the mapping of underground water flows over the hydrogeological system in order to analyze their relations with the occupation of the physical. The various constraints are geoenvironmental climate, rainfall, hydrology, vegetation, geomorphology, geology, pedology and hydrogeology. The process of occupation came in a disorderly manner, characterized by houses built on the banks of streams untreated sewage, several gas stations, lava jets, schools, hospitals, cemeteries and fairs. It presented an overview of some of the water cycle, watersheds, aquifers, groundwater and surface water and groundwater flows. It selected a set of twenty-six wells, where twenty-five are tubular and Amazons is that composed the data file. Concocted up a map of underground water flow which revealed the existence of two areas of recharge and discharge, the map was plotted on a base map of the area, with its diverse elements of urban occupation where they identified the presence of two cemeteries, the Santa Isabel and Soledade and a concentration of gas stations which constitutes an important potential source of contamination and dense agglomeration, which makes this sector very vulnerable area environmentally. Areas of refills should be environmentally protected, avoiding the processes of urban occupation and soil sealing with the consequent lack of infiltration of rainwater and the not supply aquifer.

Keywords: Groundwater – Belém (PA). Aquifer. Underground water flow.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização e acesso da BHEN	17
Figura 2- A Região de Belém no Contexto da Classificação Climática Regional.	21
Figura 3- Mapa Geomorfológico da Área Belém e Ananindeua.	25
Figura 4- Distribuição dos solos na região de Belém e Ananindeua.	27
Figura 5- Bacia hidrográfica.	31
Figura 6- Mapas das bacias urbanas da região de Belém e Ananindeua- PA.	33
Figura 7- Mapa do fluxo hídrico subterrâneo da BHIMF.....	35
Figura 8- Mapa de amostragem dos poços estudados – nível estático.....	36
Figura 9- Parâmetros hidrogeológicos de um poço.....	39
Figura 10- Mapa dos fluxos hídricos subterrâneos da área.	40
Figura 11- Comportamento tridimensional dos fluxos hídricos subterrâneos para BHEN.	41
Figura 12- Aspectos da ausência de saneamento na área da BHEN.	42
Figura 13- Poço amazonas identificado na área	44
Figura 14- Poço tubular, residencial, de propriedade do Sr. Lázaro.	45
Figura 15- Poços desativados para fins domésticos	45
Figura 16- Poço tubular raso no prédio Palais Lar Rochele.	46
Figura 17- Comportamento dos fluxos hídricos subterrâneos.....	47
Figura 18- Cemitério de Nossa Senhora da Soledade. Belém-PA.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estação de Belém – Série Climatológica – 1931 – 1960.....	20
Tabela 2- Estação de Belém – Série Climatológica – 1961 – 1990.....	20
Tabela 3- Características dos sistemas hidrogeológicos da área de Belém e Ananindeua.	29
Tabela 4- Dados dos poços estudados.	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	15
3 METODOLOGIA E TÉCNICAS	16
4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA	17
5 CONDICIONANTES GEOAMBIENTAIS	18
5.1 CLIMA.....	18
5.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	19
5.3 HIDROGRAFIA	22
5.4 VEGETAÇÃO.....	22
5.5 GEOMORFOLOGIA.....	23
5.6 GEOLOGIA	26
5.7 PEDOLOGIA.....	26
5.8 HIDROGEOLOGIA	28
5.8.1 Sistemas Hidrogeológicos.....	28
6 EMBASAMENTO TEÓRICO	30
6.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	31
6.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS.....	32
7 FLUXOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS - BACIA DA ESTRADA NOVA... 35	
7.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS	35
7.2 COMPORTAMENTO DO FLUXO HIDRÍCO SUBTERRÂNEO.....	40
7.3 FLUXOS HIDRICOS SUBTERRÂNEOS E A OCUPAÇÃO DO MEIO FÍSICO.....	42
7.3.1 Aspectos da ocupação urbana.....	42

7.3.2 Os fluxos hídricos subterrâneos e a ocupação urbana	47
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	50
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

Num momento em que todos os países discutem a crescente escassez da água potável, sendo este o tema definido pela Unesco como o problema ambiental mais grave da atualidade, o Brasil possui um dos maiores reservatórios de águas subterrâneas do mundo mas são poucos e ainda insuficientes os dados sobre este tema (SANTUCCI,2008).

O total de água doce disponível para o consumo na Terra, as águas subterrâneas representam um recurso abundante e de boa qualidade. A sua correta utilização e captação são apontadas como fundamentais para que esse bem comum não seja contaminado, ocasionando prejuízo à saúde das populações. Os poços artesianos, popularmente conhecidos como poços tubulares, são responsáveis pela captação das águas subterrâneas, sendo muito utilizados para fins agropecuários, industriais e comerciais.

O Estado do Pará, bem como a Região Metropolitana de Belém (RMB) inserem-se neste contexto, com sérios problemas de abastecimento de água face à contaminação de suas fontes hídricas e à crescente demanda por esse recurso.

Com o crescimento desordenado da população dentro da RMB há uma demanda maior por esse recurso, as redes de distribuição passam a não ser satisfatório para atender a poluição da periferia, em decorrência desta situação ele passa a ser utilizado de forma inconsciente acarretando muitas vezes desperdício e contaminação do lençol freático.

A Bacia Hidrográfica da Estrada Nova (BHEN) abrange 8 bairros tem uma extensão de um pouco mais de 9,54 km², sendo a quinta maior bacia da Cidade de Belém-Pará, com 72,70% do solo constituído de áreas inundáveis pelos efeitos das marés e/ou das chuvas constantes da região. Encontra-se constantemente suja de lixo, tanto nas esquinas das ruas como dentro de valas e canais, apesar de contar com um sistema de coleta de resíduos sólidos da Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN, 2008), o qual é responsável por realizar os serviços de coleta de resíduos, transporte, varrição de ruas, feiras e mercados, coleta de entulho e destino final.

A apresentação desse trabalho de conclusão de curso é bastante oportuna uma vez que a bacia da Estrada Nova é atualmente, objeto de levantamentos de dados para implantação do Projeto de Macrodrenagem por parte da Prefeitura Municipal de Belém (PMB).

2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi o de mapear os fluxos hídricos subterrâneos dos sistemas hidrogeológicos superiores existentes na BHEN (Belém-PA). Os entendimentos dos fluxos das águas subterrâneas possibilitaram uma análise da relação existente entre a ocupação física da bacia, os processos contaminantes dos recursos hídricos e a interação entre águas superficiais e subterrâneas.

Objetivos Específicos

- ✓ Contribuir para o cadastramento completo e mapeamento dos poços tubulares e escavados – poços amazonas - existentes no âmbito da área;
- ✓ Analisar as relações entre os Cemitérios e as áreas de recarga do sistema hidrogeológico superior;
- ✓ Interpretar a direção e sentido dos fluxos hídricos subterrâneos e estabelecer a relação entre as possíveis fontes contaminantes das águas subterrâneas.
- ✓ Contribuir para o planejamento urbano e para o saneamento básico municipal e ocupação do meio físico de forma ordenada, eficiente e com preservação da qualidade de vida e do ecossistema aquático existente na BHEN;

3 METODOLOGIA E TÉCNICAS

A abordagem metodológica deste estudo se iniciou com um levantamento bibliográfico, englobando a área de estudo e os principais assuntos aqui envolvidos.

Utilizou-se do banco de dados do SIAGAS (CPRM-2012) que compôs o arquivo de dados utilizado neste trabalho sendo complementado com os dados de campo.

Os trabalhos de campo foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa foram levantadas as principais fontes potenciais de contaminação das águas da bacia.

Na segunda etapa foram cadastrados os poços de água subterrânea existentes no âmbito da área, com medidas do nível estático feito com um medidor de nível, para posterior utilização na confecção do mapa de fluxo hídrico subterrâneo. Para tanto, as coordenadas geográficas de cada poço cadastrado foram obtidas com auxílio de um GPS.

Nas etapas pós-campo foram interpretados todos os dados levantados no campo e confeccionados os diversos mapas. Para os trabalhos com os mapas foram utilizados os programas *SURFER FOR WINDOWS (SURFER 8)*, *ArcGIS 10.1*, *Google Earth* e *Paint.Ink 6.1*.

Nas etapas seguintes foram feitas todas as interpretações dos dados obtidos nas fases anteriores, estabelecidas as principais conclusões e redigido o presente texto final.

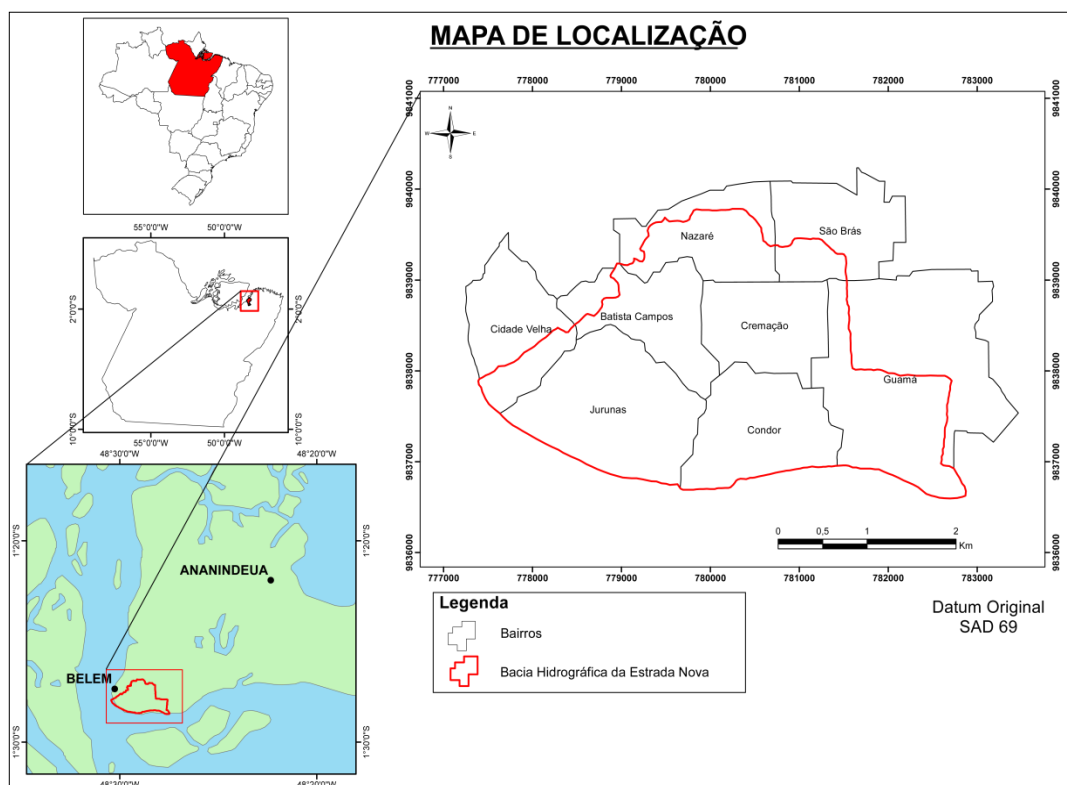
Os seguintes equipamentos foram utilizados neste estudo:

- Microcomputadores PC e Notebook
- Medidor de Nível de Água – Marca BRASbailer Ambiental- 100m
- GPS marca GARMIN, Modelo GPSmap 60CSx

4 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA

A BHEN está localizada no município de Belém-Pará (Figura 1) entre as bacias hidrográficas da Tamandaré, Reduto, Das Armas e Tucunduba; com uma extensão territorial de um pouco mais de 9,54 km² sendo a quinta maior bacia da Cidade de Belém-Pará. Nessa área moram mais de 300.000 pessoas, sendo composta por 8 (oito) bairros que são: Guamá, Jurunas, Condor, Cremação, Cidade Velha, Batista Campos, Nazaré e São Brás que representam 15,60% da população do Município de Belém (PINHEIRO e GIRARD, 2009).

Figura 1: Mapa de localização e acesso da BHEN



Fonte: do autor.

5 CONDICIONANTES GEOAMBIENTAIS

As características físicas gerais da área de estudo constituem os condicionantes geoambientais de relevância para embasar todo o estudo que se seguirá. Serão apresentados nesse item os principais elementos do meio físico da região de Belém, que compreende a região de estudo da BHEN.

5.1 CLIMA

De acordo com Pachêco (2011), a localização do município de Belém concentra-se às margens do rio Guamá, no nordeste do Estado do Pará, com altitudes variando desde níveis baixos, do nível médio do mar (regiões de baixadas), até em torno de 20m em algumas localidades. Apresenta dois aspectos importantes do ponto de vista climático: baixa latitude e proximidade com o litoral.

Estudos climatológicos revelam que as principais características do clima de Belém são: altas temperaturas (sempre acima de 18°C), ventos de baixa velocidade intercalados com frequentes momentos de calmaria, altos índices de umidade relativa do ar e precipitação abundante com valores totais oscilando entre 2.800 e 3.150 mm anuais; a alta umidade influencia no desconforto térmico com a variação média interanual oscilando de 81,8 a 91%, a média anual é de 86%, o que torna a região muito úmida (PACHÊCO, op.cit.).

Com relação à incidência de brilho solar, pode-se dizer que a região de Belém está submetida a totais anuais de insolação de 2.071,8 horas a 2.786,5 horas de brilho solar, com a média mensal variando entre 110,8 (fevereiro) e 269,2 (agosto) (PACHÊCO, op.cit.).

Segundo Pachêco (op.cit.) devido à baixa latitude, os raios solares percorrem um plano praticamente vertical durante todo o ano, culminando numa carga térmica elevada. Essa situação corrobora que a temperatura é o elemento do clima que mais se altera com o avanço do processo de ocupação urbana e mostra íntima relação com as características da superfície.

Vários estudos realizados a cerca do clima da cidade de Belém e seus arredores demonstram que os elementos do clima urbano (temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento, precipitação pluviométrica e brilho solar) sofrem modificações que estão relacionadas com o crescimento desordenado da cidade, processo de impermeabilização de solos, poluição de mananciais, desmatamento e a própria influência da forma urbana sobre eles.

Oliveira et al. (1995), fez a comparação de duas áreas com e sem urbanização e constataram que no ambiente sem arborização a temperatura é mais elevada do que no ambiente arborizado, em função da superfície exposta receber aquecimento direto através da radiação solar, já na superfície urbanizada ocorre uma certa atenuação considerável de radiação solar.

Segundo Costa e Martins (1996), há uma íntima relação entre as alterações climáticas e os processos de urbanização; essas alterações são resultantes da decorrência do crescimento rápido e desordenado da população dos grandes centros urbanos, tendo como atrativos a busca de trabalho, saúde, educação, e outros serviços. Com o decorrer do processo de ocupação as áreas ocupadas passam a ter suas coberturas naturais modificadas por diversos tipos de construções prediais e solos pavimentados, cuja consequência imediata é um aumento da temperatura causada por alterações no balanço radiativo, na circulação do ar e na taxa de evaporação, gerando assim um clima urbano alterado.

5.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

As regiões equatoriais são um ótimo exemplo para definição meteorológica de clima; por exemplo, na região de Belém e adjacências, a precipitação atinge valores médios anuais médios anuais de 2.761,6 mm e 2.892,7 mm, (

Tabela 1 e Tabela 2) representativa para 60 anos, segundo as séries climatológicas dos períodos de 1931–1960, e 1961–1990, respectivamente (INMET, 1998).

Tabela 1: Estação de Belém – Série Climatológica – 1931 – 1960

MESES	TEMPERATURA MÉDIA (°C)	TEMPERATURA MÁXIMA MÉDIA (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA MÉDIA (°C)	PRECIP. (mm)	MAX. PREC.EM 24 Hs (mm)	PRES. ATM. MÉD NVL DA EST.(HPA)	Umid. Rel. do Ar(%)	INSOL.MÉD Hs e DEC.	NEB. MED. DÉC.
JAN	25,6	31,0	22,6	318,1	78,2	1008,5	88,8	156,6	7,7
FEV	25,5	30,4	22,7	407,1	118,2	1008,8	90,7	112,3	8,3
MAR	25,4	30,0	22,8	436,1	102,1	1008,8	90,7	102,2	8,6
ABR	25,7	30,8	23,0	381,9	101,1	1009,1	90,4	131,5	8,2
MAI	26,0	31,4	22,9	264,5	125,6	1009,4	87,2	195,8	7,4
JUN	26,0	31,4	22,5	164,7	63,0	1010,6	84,5	239,5	6,1
JUL	25,9	31,7	22,2	160,9	102,0	1011,0	83,2	268,1	5,6
AGO	26,0	32,0	22,1	116,2	54,6	1010,5	83,4	267,3	5,2
SET	26,0	31,9	22,0	119,7	64,3	1009,9	83,8	235,2	5,6
OUT	26,2	32,0	22,0	104,6	64,3	1009,2	82,8	247	5,5
NOV	26,5	32,2	22,1	90,3	96,4	1008,2	81,8	220,7	6,0
DEZ	26,3	31,8	22,4	197,3	84,6	1008,0	84,9	213,2	6,8
MED. ANUAL	25,9	31,4	22,4	2761,6	125,6	1010,1	86,0	2389,40	6,8

Fonte: INMET (1998).

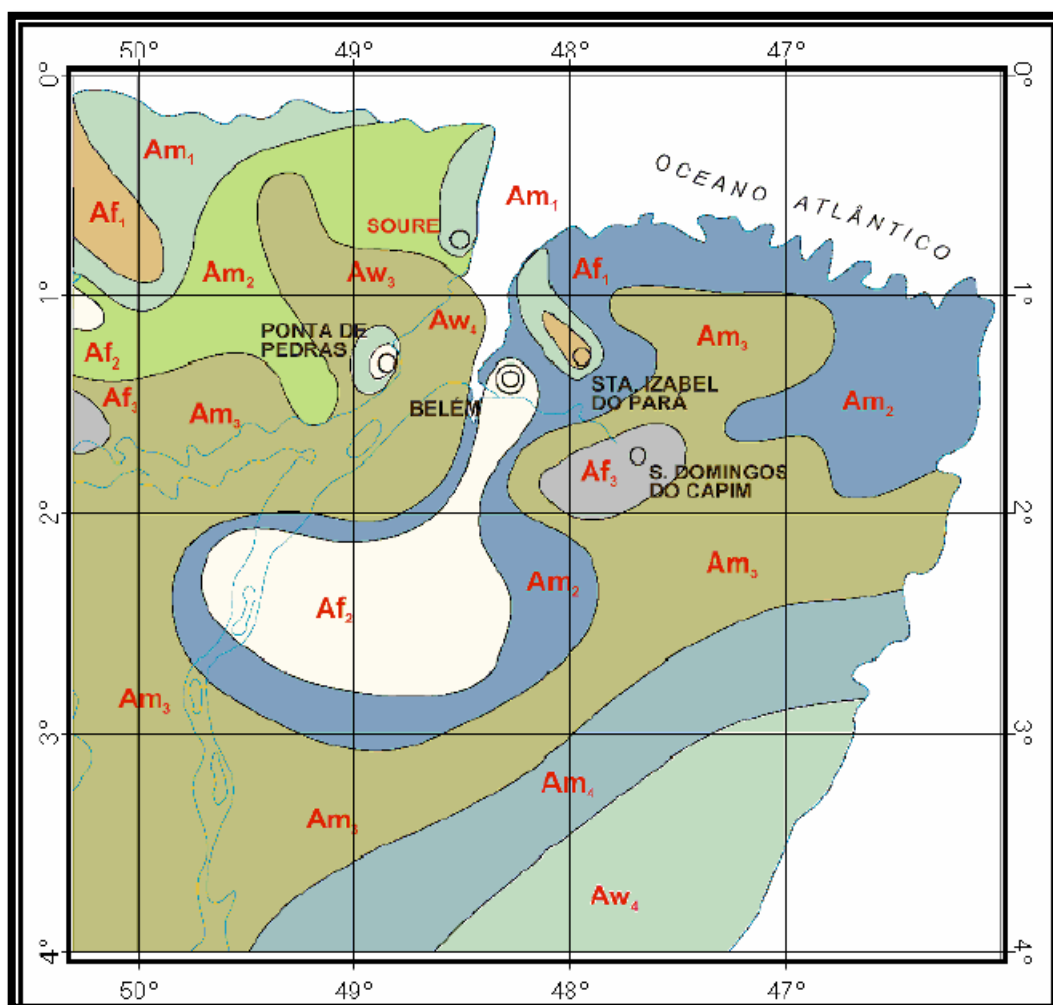
Tabela 2: Estação de Belém – Série Climatológica – 1961 – 1990

MESES	TEMPERATURA MÉDIA	TEMPERATURA MÁXIMA MÉD(°C)	TEMPERATURA MÍNIMA MÉD(°C)	PREC. (mm)	MAX. PREC.EM 24 Hs (mm)	PRES. ATM. MÉD NVL DA EST.(HPA)	Umid. Rel. do Ar(%)	INSOL.MÉD Hs e DEC.	NEB. MED. DÉC.
JAN	25,6	30,9	22,1	366,5	118,0	1009,5	86,0	135,5	7,3
FEV	25,5	30,5	22,2	417,5	117,4	1009,7	91,0	99,0	8,1
MAR	25,5	30,4	22,4	436,2	136,9	1009,8	91,0	103,7	8,0
ABR	25,7	30,8	21,8	360,0	112,8	1009,8	91,0	121,8	7,9
MAI	25,9	31,3	22,6	304,0	103,5	1010,3	88,0	186,9	7,1
JUN	25,9	31,7	22,1	140,2	85,4	1011,2	86,0	225,4	6,0
JUL	25,8	31,7	21,7	152,1	111,0	1011,6	85,0	252,8	5,5
AGO	26,0	32,1	21,7	131,1	80,4	1011,1	84,0	255,8	5,3
SET	26,1	32,1	21,7	140,8	67,4	1010,7	84,0	228,3	5,8
OUT	26,4	32,2	21,6	116,1	65,4	1009,9	83,0	228,3	5,9
NOV	26,4	32,3	21,9	111,8	68,4	1009,2	83,0	203,3	6,5
DEZ	26,1	31,9	22,0	216,4	121,4	1009,3	86,0	179,0	6,6
MED. ANUAL	25,9	31,4	21,9	2892,7	****	1010,2	86,5	184,90	6,6

Fonte: INMET (1998).

A classificação climática de uma dada região é o resultado das diferentes combinações dos processos atmosféricos, ocasionando uma gama de variações de tipos climáticos. Através do balanço hídrico foi definida a classificação climática para a área da RMB, como sendo o sub-tipo B4r`A`a. Isso significa que o clima é do tipo úmido (B4), apresenta pequena ou nenhuma deficiência de água (r), índice de deficiência térmica do tipo megatérmico (`A), sub-tipo climático `a e a percentagem de evaporação de verão é menor que 48%. Essa percentagem para a região de Belém também pode ser chamada de percentagem de evaporação da época menos chuvosa ou mais seca na Figura 2 é ilustrado a posição de Belém dentro da classificação climática em nível mais regional segundo dados do INMET (COSTA 2005).

Figura 2: A Região de Belém no Contexto da Classificação Climática Regional.



Fonte: Costa (2005 apud PEHRMB, 2003).

5.3 HIDROGRAFIA

A região de Belém situa-se em uma típica região estuarina, correspondendo ao estuário Guajarino, parte integrante de outro sistema maior, o Golfão Marajoara, situado na foz do Amazonas.

O estuário Guajarino é caracterizado por trata-se de um ambiente fluvial com influências marinhas e forma-se na confluência dos rios Pará, Acará e Guamá. Tem como elementos hídricos principais o rio Mojú e os igarapés do Tucunduba e Aurá.

A Baía do Guajará é formada na confluência dos rios Acará e Guamá e está localizada em frente a parte noroeste da cidade de Belém, prolongando-se até a Ilha do Mosqueiro, onde se encontra com a Baía do Marajó, no rio Pará.

O rio Guamá, situado na porção sul de Belém, é de grande importância no aspecto hidrográfico e abastecimento de água de Belém. A área da BHEN é constituída por um conjunto de canais, entre os quais Canal Quintino Bocaiúva, Canal 3 de Maio, Canal Dr. Moraes, Canal Euclides da Cunha, Canal Baltazar, Canal do Caripunas, Canal do Arsenal e o Díquel e Canal Acumulação Bernardo Sayão.

5.4 VEGETAÇÃO

Segundo estudos realizados no nordeste do Estado do Pará por SANTOS, (2006) apud PEREIRA, (2012) et al, foram reconhecidas vegetação com significativos distúrbios ambientais oriundos de varias décadas de ação humana. Esta vegetação, conhecida popularmente como capoeira, tem como principal características, apresentar um baixo número de espécies de valor econômico (VALENTE, 2001 et al. apud PEREIRA, 2012 et al).

Segundo dados do RADAM (1974) três tipos de vegetação condicionados a fatores climáticos, geomorfológicos e antrópicos predominam na região Norte do Brasil: a vegetação de floresta densa, a vegetação de várzea e as florestas secundárias, também denominadas de “capoeira”, resultantes da devastação da

floresta, acompanhadas por uma regeneração natural, em princípio com ervas e arbustos heliófilos de larga distribuição.

Ao longo das margens dos rios e igarapés, predominam as Florestas Ciliares e de várzeas nos trechos submetidos à influência de inundações, ocorrendo, também, o mangue e a siriúba, margeando os grandes rios e as Ilhas do município.

A vegetação funciona como um fator importante nos processos de infiltração das águas pluviais no solo. Terrenos com maior densidade de vegetação permitem maior infiltração das águas e, associadamente com o tipo de solo mais ou menos permeável, inclinação do terreno e outros fatores, podem constituir parâmetro de interesse ambiental e econômico.

A vegetação da BHEN é característica da região amazônica, com árvores de grande e médio porte, que contribuem para uma significativa proteção de suas águas.

5.5 GEOMORFOLOGIA

Segundo Corrêa (1988 apud MATTA 2002), a cidade de Belém localiza-se na região morfológica dos “baixos platôs amazônicos e planícies litorâneas”. Seu sítio é constituído por plataforma de cumiada que representa o nível local mais elevado do planalto terciário. Os níveis destas plataformas situam-se entre 15 a 30 metros e são terrenos escalonados com variação de amplitudes entre 4 e 15 metros com a presença de baixadas inundáveis formadas por áreas situadas abaixo da cota de 4 metros.

“As superfícies integradas pelos terraços escalonados e pelas plataformas de cumiada, a partir de um vértice localizado junto à confluência do rio Guamá com a baía de Guajará, abrem-se em leque para Nordeste e Norte, formando 3 eixos divisores de águas que deságuam no rio Maguari ao Norte, na baía de Guajará a Oeste, no rio Guamá ao Sul”. (CORRÊA, 1988 apud MATTA, op.cit.).

A companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém-CODEM (1975) realizou estudos geológico-geomorfológicos no qual descreveu o relevo da região metropolitana de Belém compartimentado em quatro unidades distintas:

terrenos sedimentares do Quaternário-Pleistoceno; terrenos sedimentares do Quaternário-Holoceno; zonas rebaixadas e terraços fluviais inundáveis, e planícies flúvio-marinhas.

Terrenos Sedimentares do Quaternário-Pleistoceno: é a unidade de maior expressão na área dos municípios de Belém e Ananindeua, corresponde à pediplanos aplainados, observando-se localmente ondulações suaves de topos arredondados. São feições que se sustentam por níveis de concreções ferruginosas, que podem pertencer a base de sedimentos Pós-Barreiras. Na cidade de Belém a unidade corresponde as maiores cotas topográficas dos bairros do Marco, Pedreira e Terra Firme.

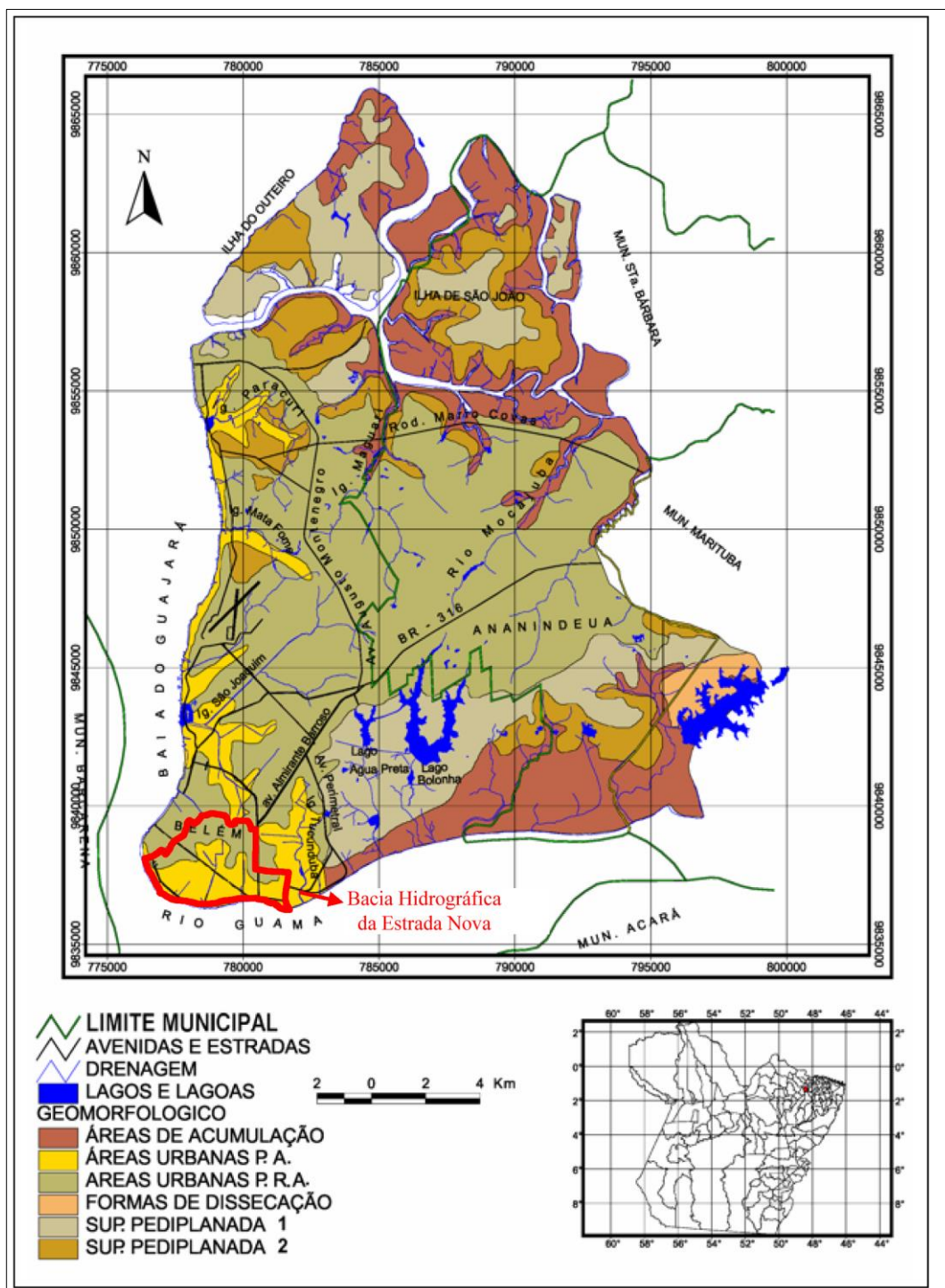
Terrenos Sedimentares do Quaternário-Holoceno: essa unidade corresponde às áreas de baixada na Região Metropolitana de Belém e acha-se bem representada nos bairros do Jurunas, Terra Firme, Guamá, Batista Campos, Sacramento e Telégrafo;

Zona Rebaixada e Terraços Fluviais Inundáveis: corresponde aos depósitos que se sobrepõem aos terrenos quaternários mais antigos, sendo bem representados nas zonas de baixadas do município de Belém. Está relacionada às menores cotas topográficas da região (sendo às vezes negativa). A decomposição de sedimentos argilosos dá-se com o represamento dos rios e igarapés na região, com o aporte da maré alta, sendo, por isso encontrado em toda a área, urbanizada ou não.

Planícies Flúvio-Marinhas: esta feição corresponde às áreas de manguezais, praias, rios e igarapés, onde se depositam sedimentos modernos. A feição é também relacionada as zonas de várzea, em virtude dos constantes períodos alagados.

Segundo a Figura 3, a BHEN está localizada na região das unidades geomorfológicas Áreas Urbanas P.A. e Áreas Urbanas P.R.A.

Figura 3: Mapa Geomorfológico da Área Belém e Ananindeua.



5.6 GEOLOGIA

Estudos realizados por Matta, 2002, descrevem as Unidades Lito-Estratigráficas ocorrentes na área de Belém e Ananindeua. Em suma, ela está representada geologicamente, em sua quase totalidade, por sedimentos arenosos

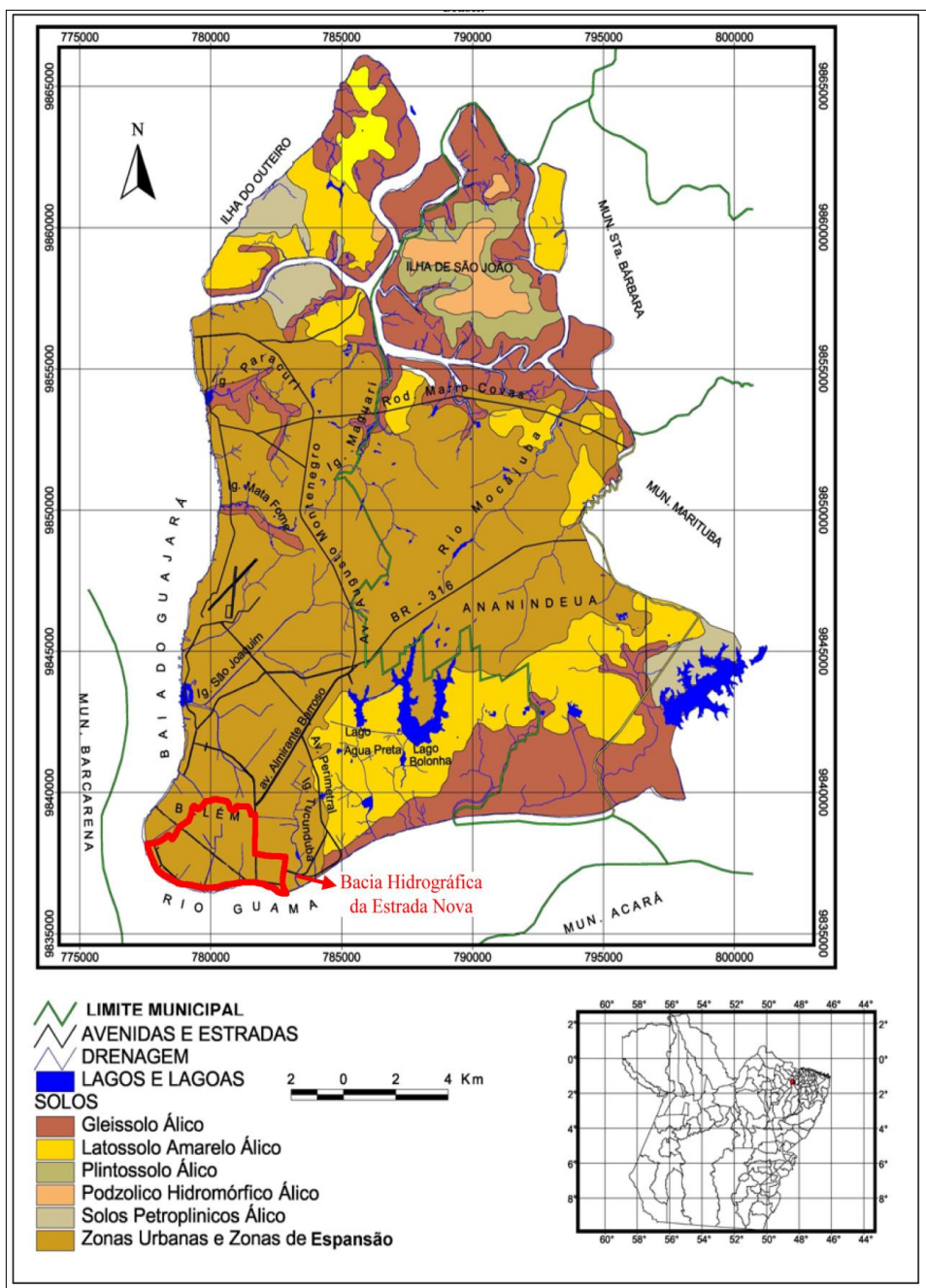
da unidade Pós-Barreiras constituídos por latossolos amarelos e, ainda, por sedimentos continentais do Grupo Barreiras e sedimentos holocênicos e, em subsuperfície, sedimentos pertencentes à Formação Pirabas.

5.7 PEDOLOGIA

Segundo Matta 2002, a região de Belém e Ananindeua apresenta sete unidades de solo:

- 1- Latossolo amarelo, Laterita hidromórfica, Concrecionário laterítico, Podzol hidromórfico, hidromórfico gleizado, areia quartzosa e áreas aterradas. Essas unidades mostram características distintas (MAZZEO, 1991). O Latossolo Amarelo é composto de uma mistura de óxidos hidratados de ferro e alumínio. A fração argila tem baixa capacidade de troca iônica devido a acumulação de alumínio nas camadas superficiais. O ferro, por ter menor teor, determina as cores. São solos com profundidade de 2 m e representa 48,99% da área urbana.
- 2- A Laterita hidromórfica é um solo desgastado e ácido rico em sesquióxidos e pobre em húmus. A profundidade varia de 17 a 52 cm. A coloração é vermelha, cinza ou branca ocasionada pela presença de um material mosqueado e outro argiloso intemperizado.
- 3- O Concrecionário laterítico é formado por partículas finas com alto grau de intemperização, podendo ter vários graus de evolução, sendo a laterita o sinal do processo de formação. As concreções lateríticas podem aparecer nos perfis como arenito ferruginoso, com teor de ferro superior ao teor de alumínio, junto com quartzo e argila, incluída ou interligada com os depósitos de ferro relativamente hidratados.
- 4- O Podzol Hidromórfico é de textura arenosa, firme, ácido, com acúmulo de húmus e sesquióxidos. A coloração é branca ou cinza claro e profundidade média de 150 cm.

Figura 4: Distribuição dos solos na região de Belém e Ananindeua.



Fonte: Matta (2002).

5- O solo hidromórfico gleizado apresenta coloração amarela a vermelho, ocasionada pela variação do nível freático, determinante dos processos de oxidação e redução. Tem alto teor de matéria orgânica, silte e argila. Ocorre em planícies inundadas das regiões costeiras de baixas altitudes e nas margens dos rios e igarapés. Tem alta capacidade de troca iônica.

6- A areia quartzosa é um solo facilmente lixiviável, árido, com baixa atividade de argila e saturação. A textura é arenosa de textura fraca, granular ou maciça porosa, se desfazendo em grãos simples.

7- As áreas aterradas têm intenso hidromorfismo, que sofreu deposição de aterro, argila e lixo, sendo recuperada e utilizada no perímetro urbano.

O solo da BHEN é classificado, de acordo com a Figura 4, como Zonas Urbanas e Zonas Urbanas de expansão.

5.8 HIDROGEOLOGIA

A água é um recurso livre a todos e sua utilização é essencial para manutenção da saúde e nas atividades diversas do dia-a-dia. O estudo dos Recursos Hídricos de uma determinada região é uma peça fundamental em qualquer que seja o enfoque de pesquisa.

Dentro do contexto dos Recursos Hídricos, as águas subterrâneas vêm adquirindo, no mundo inteiro, uma importância muito grande no que diz respeito ao abastecimento público, aos processos de aquicultura, aos usos para irrigação, lazer, etc. (ALMEIDA, 2005).

Na área da BHEN foram identificados alguns dos sistemas hidrogeológicos propostos por Matta (2002) e que serão em seguida descritos.

5.8.1 Sistemas Hidrogeológicos

Matta (2002), realizando estudos em poços profundos e rasos existentes dentro da área que abrangem as bacias hidrográficas da região de Belém e Ananindeua, caracterizou cinco sistemas hidrogeológicos. Esses sistemas são descritos abaixo e os dados e resultados desse estudo, encontram-se resumidos na Tabela 3.

Tabela 3: Características dos sistemas hidrogeológicos da área de Belém e Ananindeua.

Sistemas	Aluviões	Pós-Barreiras	Barreiras	Pirabas	Pirabas
----------	----------	---------------	-----------	---------	---------

Hidrogeológicos				Superior	Inferior
Vazões	10 m ³ /h	5 m ³ /h	10 a 70 m ³ /h	100 a 200 m ³ /h	Até 300 m ³ /h
.Profundidade	< 10 m	Até 25 m	25 - 90 m	90 - 187 m	180 - 290 m
Vulnerabilidade	Altíssima	Altíssima	Baixa	Baixa	Baixa
Natureza	Aquífero Livre	Aquífero Livre	Semi-Livre a Confinado	Confinado	Confinado
Característica das Águas Produzidas	Presença de Ferro	Presença de Ferro	Presença de Ferro	---	---
Sedimento	Areno-argiloso	Areno-argiloso	Arenoso, com lentes de argila e intercalação com camadas ricas em calcário.	Arenoso, com intercalações de Calcário e Argila.	Arenoso, com intercalações de Calcário e Argila.

Fonte: Matta (2002).

Aluviões: constituem um domínio permoporoso que, apesar de suas boas capacidades armazenadoras, não possuem expressão significativa na área de Belém, em função de suas espessuras inferiores a 10m;

Pós-Barreiras: é constituída por níveis argilo-arenosos, inconsolidados, existentes desde a superfície até cerca de 25 metros sendo, por vezes, recoberta por alúvios e colúvios;

Barreiras: esta unidade aquífera é a mais conhecida e explotada na área estudada e corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, cujas expressões litológicas são bastante heterogêneas. Estão aí incluídos desde argilitos até arenitos grosseiros com níveis conglomeráticos. Aparecem ainda níveis lateríticos e argilosos caulinizados;

Pirabas Superior: essa unidade é composta pelos sedimentos marinhos, fossilíferos, da Formação Pirabas. Há camadas de argilas carbonáticas de cor cinza-

esverdeada e leitos de calcário duro, de coloração cinza esbranquiçada, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito carbonático, siltitos e arenitos;

Pirabas Inferior: essa unidade é composta, predominantemente, de camadas repetitivas de arenitos de cor cinza-esbranquiçada, granulação fina a conglomerática, com intercalações mais espessas de argilas e siltitos

OCUPAÇÃO URBANA

No processo histórico de ocupação urbana da cidade de Belém, as áreas com cota topográfica mais elevada tiveram nas populações com maior poder aquisitivo seus habitantes, restando às áreas alagadiças a população mais pobre, configurando então os problemas de habitação, associados às dificuldades para resolução dos problemas de saneamento, por conta do sítio da cidade, bem como ao seu grande porte populacional (SIQUEIRA, et al., 2001).

Na área de estudo da BHEN, esta situação não foi diferente, o processo de ocupação se deu de forma desordenada, caracterizado por casas construídas nas margens de igarapés sem tratamento de esgoto, postos de gasolina, lava jatos, escolas, hospitais, cemitério e feiras.

Essas características da ocupação do meio físico da área da BHEN serão analisadas dentro dos estudos dos fluxos hídricos subterrâneos.

6 EMBASAMENTO TEÓRICO

A prospecção de águas subterrâneas deve levar em consideração os diferentes tipos de terrenos ou ambientes geológicos e os diferentes tipos de aquíferos. Eles podem ser classificados em função da pressão das águas nas suas superfícies limítrofes: superior chamada topo, e inferior chamada base, e também em função da capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes (CPRM, 2010).

Um conjunto de temas é de grande relevância para os objetivos desse estudo e serão aqui descritos teoricamente.

6.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

A Bacia Hidrográfica pode ser definida como um conjunto de áreas que, em função da relação entre níveis ou cotas, drenam seus afluentes para um ponto de nível mais baixo entre elas. Também pode ser compreendida como uma área fechada topograficamente em um ponto cuja vazão é dimensionada através desse mesmo ponto. (GARCEZ ; ALVAREZ,1999 apud LIMA, 2004).

A Figura 5 exemplifica um sistema simplificado e comum de Bacia Hidrográfica. Observa-se que o sistema foi desenvolvido através de diferenças de cotas, nota-se que a parte mais baixa do sistema é caracterizada por uma depressão onde há o acúmulo de água da chuva.

Figura 5: Bacia hidrográfica.



Fonte: Craveiro (2007)

As Bacias Hidrográficas de um modo geral estão passando por um processo de alteração de sua malha hídrica, devido à alteração do solo como impermeabilização, retirada da cobertura vegetal e ocupação do meio de forma desordenada com isso levando a alteração do relevo, topografia e da geomorfologia

da área em questão. O *Runoff* é conhecido como o escoamento superficial e ele está diretamente ligado ao processo de modificação do meio físico, e por sua vez, as bacias de drenagem estão ligadas ao *Runoff*, quanto mais escoamento mais água terá disponível para percorrer as malhas fluviais e alimentar a Bacia de Drenagem.

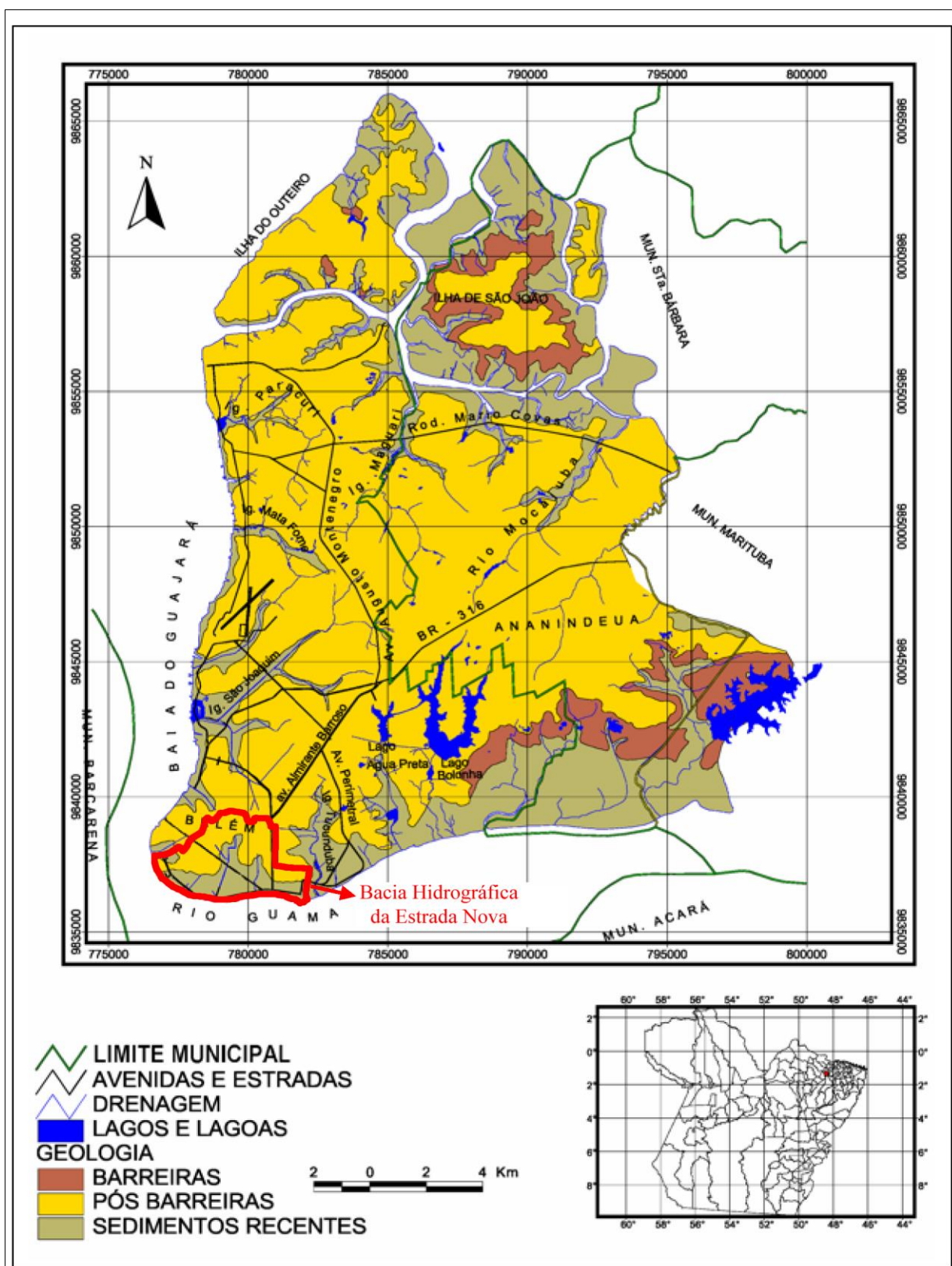
Há uma combinação de toda a Hidrografia da Bacia com o Ciclo Hidrológico, quando se relaciona a precipitação. O ciclo Hidrológico pode também ser definido como o balanço de massa de águas no estado líquido e gasoso, que através das mudanças de temperatura, interagem com a Hidrografia da Bacia no decurso da evaporação, transpiração das plantas, precipitação, infiltração e escoamento superficial com isso ressalta-se que a precipitação da água da chuva e o escoamento da água da chuva possui interferência direta no total de água escoada e precipitada dentro de uma Bacia de Drenagem (GARCEZ ; ALVAREZ,1999 apud LIMA 2004).

6.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS

A água que se encontra em profundidade no solo (água subterrânea) não está parada, ela está em constante movimentação. Essa movimentação da água subterrânea dentro das camadas aquíferas é denominada Fluxos Hídricos Subterrâneos.

Como se pode observar na Figura 6, em Belém existem dois conjuntos de bacias, o primeiro possui interação com o rio Guamá configurado na porção sul; e o segundo com interação com a Baía do Guajará na porção Oeste da área. A bacia da Estrada Nova está inserida dentro do primeiro conjunto de bacias.

Figura 6: Mapas das bacias urbanas da região de Belém e Ananindeua- PA.



Fonte: Matta (2002)

Para se compreender melhor a questão do comportamento do Fluxo Hídrico Subterrâneo, tome-se como exemplo a Figura 7, que é um mapa de fluxo hídrico

inserido no SIG da BHIMF (Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mata Fome), em Belém-PA, confeccionado por Craveiro (2007).

Para compreendermos melhor a questão das águas subterrâneas e superficiais devemos pensar no ciclo hidrológico, ele representa o movimento da água no meio físico.

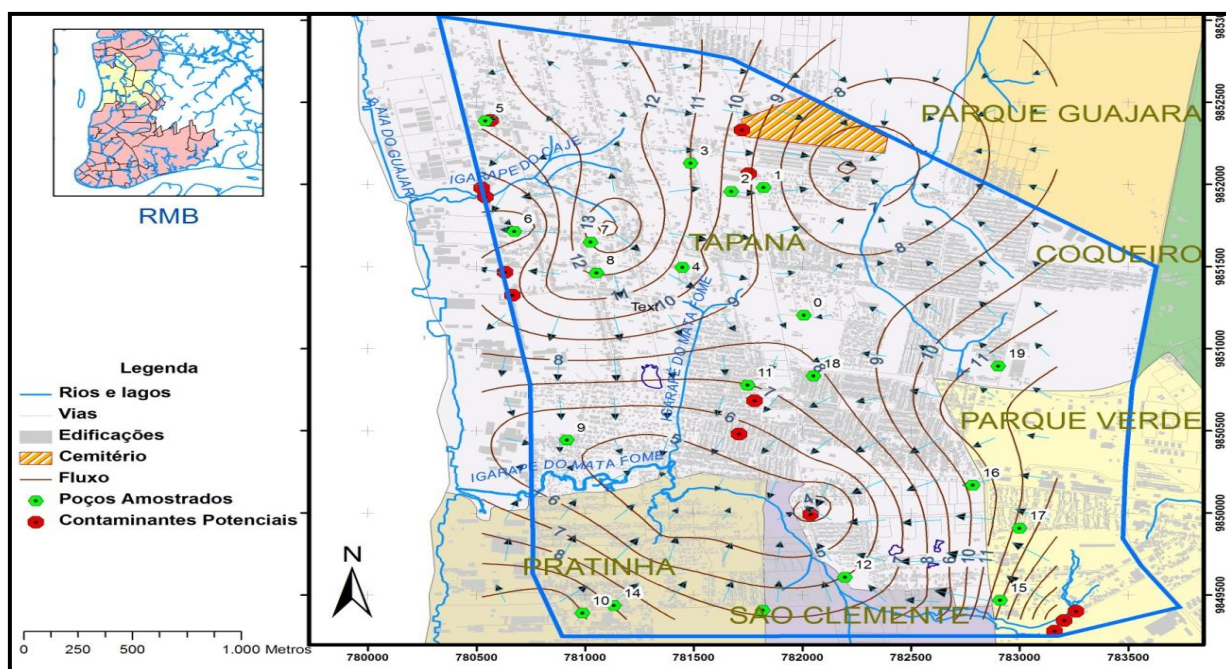
Dentro do ciclo hidrológico, a água pode estar no estado gasoso, líquido ou sólido, distribuindo-se tanto na subsuperfície e superfície da Terra como na atmosfera. Portanto, a água está em constante circulação, passando de um meio a outro e de um estado físico a outro, sempre mantendo o equilíbrio, sem ganhos ou perdas de massa no sistema (MATTA, 2002).

Existe uma relação espacial entre as águas superficiais e as subterrâneas, dentro do esquema do ciclo hidrológico. Algumas vezes as águas subterrâneas são alimentadas pelos cursos hídricos superficiais, tornando os rios INFLUENTES. Em outros casos os rios é que são abastecidos pelos aquíferos, formando os rios EFLUENTES.

Na Figura 7 percebe-se que as setas de fluxo simbolizam as superfícies equipotenciais, desenhando os aspectos geométricos da água em subsuperfície. Funciona como se representasse a topografia da água em subsuperfície.

A análise dessas linhas de fluxo também permite inferir a direção e sentido do fluxo e as zonas de recarga e descarga do sistema aquífero, além das relações entre as águas subterrâneas e os cursos superficiais.

Figura 7: Mapa do fluxo hídrico subterrâneo da BHIMF.



Fonte: Craveiro (2007).

7 FLUXOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS - BACIA DA ESTRADA NOVA

Este item apresenta os resultados obtidos para a BHEN, tendo sido elaborado o mapa do comportamento geométrico dos Fluxos Hídricos Subterrâneos para o sistema aquífero superior da área.

Esse comportamento, como já mencionado, é de fundamental relevância para o entendimento das relações entre as águas superficiais e as subterrâneas, para a identificação das áreas de recarga e de descarga do sistema aquífero em questão e para orientar todo o processo de ocupação do meio físico da área estudada.

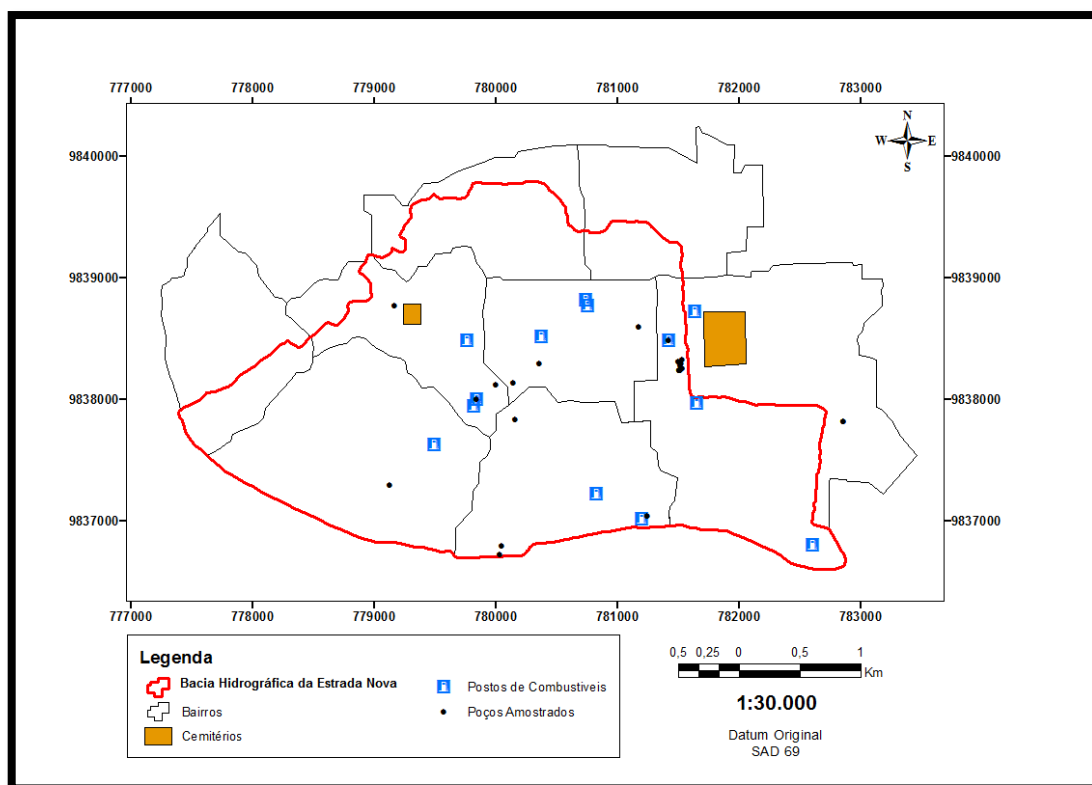
7.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para a realização do referido estudo foi selecionado um conjunto de poços na área da BHEN que compuseram o arquivo de dados para montagem dos aspectos hidrogeológicos da área estudada.

Durante o período de Novembro a Dezembro de 2012, no escritório, foram selecionados diversos poços do banco de dados do SIAGAS (CPRM-2012) e no campo, foram cadastrados e selecionados os poços que melhor serviriam para a

tomada de medidas da superfície freática (nível estático), identificando-se os poços de uso doméstico e os de uso comercial, com a preocupação de obter boa distribuição areal dos poços na área estudada (Figura 8).

Figura 8: Mapa de amostragem dos poços estudados – nível estático.



Fonte: do autor.

A partir das medidas em campo e com o auxílio da ferramenta do *Google Earth*, foram calculadas as medidas das cotas topográficas da área, no sentido de diminuir o erro entre as medidas do *GPS*.

Para a obtenção das Cotas Topográficas foi utilizado o *Software Global Mapper 7*. A partir desta etapa, os poços escolhidos tiveram, no campo, seus níveis estáticos medidos, com o auxílio de um medidor de nível. Isso ocorreu no período de Janeiro a Fevereiro de 2013.

A tabela 4 mostra os dados dos poços estudados, incluindo os valores das coordenadas UTM e cota topográfica, ambos em metros.

Para a obtenção do potencial hidráulico foi utilizada uma planilha do Excel (Excel-2010) onde se estabeleceu a seguinte equação:

- ✓ $POT_H. = COTA - NE$, onde se atribui que:
- ✓ POT_H. = Potencial Hidráulico
- ✓ N°= Número do poço
- ✓ Zona = Marca qual hemisfério foi coletado o dado
- ✓ UTM-E = Marca a posição da coordenada E em projeção UTM
- ✓ UTM-N = Marca a posição da coordenada N em projeção UTM
- ✓ COTA = Mostra a cota topográfica do poço
- ✓ NE = Mostra o nível estático do poço

Para se compreender a sistemática realizada para o monitoramento e medição do nível estático na área estudada, deve-se fazer uma revisão à cerca de um conjunto de parâmetros hidrogeológicos importantes para o estudo das águas subterrâneas e para o entendimento dos processos associados aos fluxos em meios porosos.

De acordo com Matta (2010), na Figura 9 tem-se ilustrados os parâmetros hidrogeológicos fundamentais para o entendimento desse assunto.

1-BOCA DO POÇO: é a porção do tubo de revestimento do poço que fica acima da superfície do terreno, normalmente medem entre 0,50 m a 1,0 m.

Tabela 4: Dados dos poços estudados.

(continua)

N°	ZONA	UTM-E	UTM-N	COTA	NE	POT_H.
1	22S	781505	9838235	7	0,05	6,95
2	22S	781512	9838237	7	0	7
3	22S	780360	9838285	5	0	5
4	22S	781521	9838287	8	0	8
5	22S	781512	9838270	8	0	8
6	22S	781500	9838300	8	0	8
7	22S	781535	9838250	8	0	8
8	22S	781535	9838320	9	0	9

9	22S	781530	9838250	8	0	8
10	22S	781510	9838232	7	0	7
11	22S	781510	9838230	7	0	7
12	22S	781525	9838250	8	0	8
13	22S	781515	9838232	7	0,6	6,4
14	22S	780030	9836625	3	0,8	2,2
15	22S	780050	9836695	4	0,8	3,2
16	22S	781239	9836842	7	1,18	5,82
N°	ZONA	UTM-E	UTM-N	COTA	NE	POT_H.
17	22S	779127	9837291	5	0	5
18	22S	780002	9838114	3	0,7	2,3
19	22S	780142	9838125	2	0,96	1,04
20	22S	782853	9837812	8	22,36	5,64
21	22S	782858	9837812	8	11,69	-2,69
22	22S	780159	9837824	5	0	5
23	22S	779845	9837992	8	0,75	7,25
24	22S	779164	9838764	21	4,5	6,5
25	22S	781172	9838591	13	1,37	11,63
26	22S	781420	9838476	11	2,16	8,84

Fonte: Autor.

(conclusão).

2- NÍVEL ESTÁTICO: o nível estático (NE) é o nível da água no aquífero, medido em repouso, ou seja, sem bombeamento, representa a distância entre a boca do poço e a superfície da água dentro do poço.

3-NÍVEL DINÂMICO: o nível dinâmico (ND) é o nível medido após iniciado o bombeamento do poço e representa a distância entre a boca do poço e a superfície da água no poço, durante o bombeamento, ou quando o poço está em recuperação. A Recuperação se dá a partir do instante em que é desligada a bomba e o nível da água tende a voltar para a posição do NE antes do bombeamento.

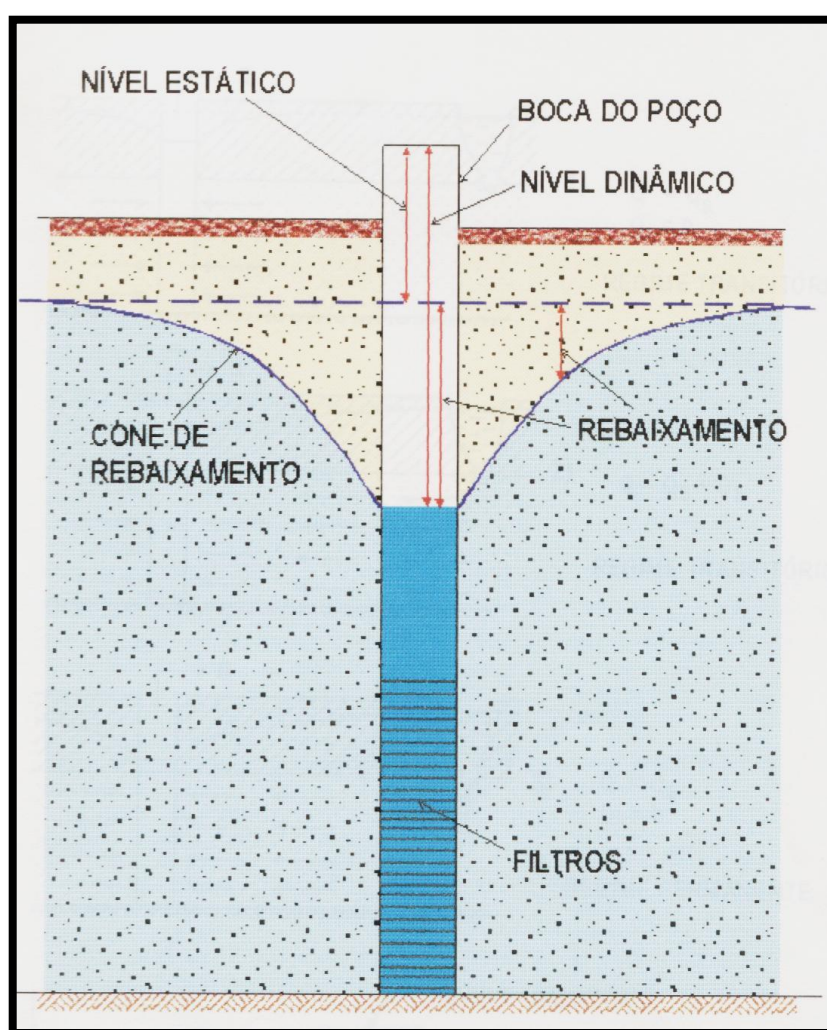
4- REBAIXAMENTO: O Rebaixamento (s – quando dentro da formação aquífera e Sw, quando medido dentro do próprio poço bombeado) é a diferença entre o nível estático e o nível dinâmico.

5- CONE DE REBAIXAMENTO: É a superfície formada pela água dentro da formação, nas proximidades de um poço, quando este é submetido a um bombeamento.

Além desses elementos da Figura 10 é relevante que se defina:

Potenciais Hidráulicos (gh): Se refere à cota do nível da água em aquíferos livres.

Figura 9: Parâmetros hidrogeológicos de um poço.



Fonte: Matta (2010).

Cargas Hidráulicas (h): Se refere a cota da coluna de água medida através de um piezômetro, em aquífero confinado. De uma maneira simplificada, a carga hidráulica (h) em um ponto qualquer em um meio fluido, pode ser dada pela soma da

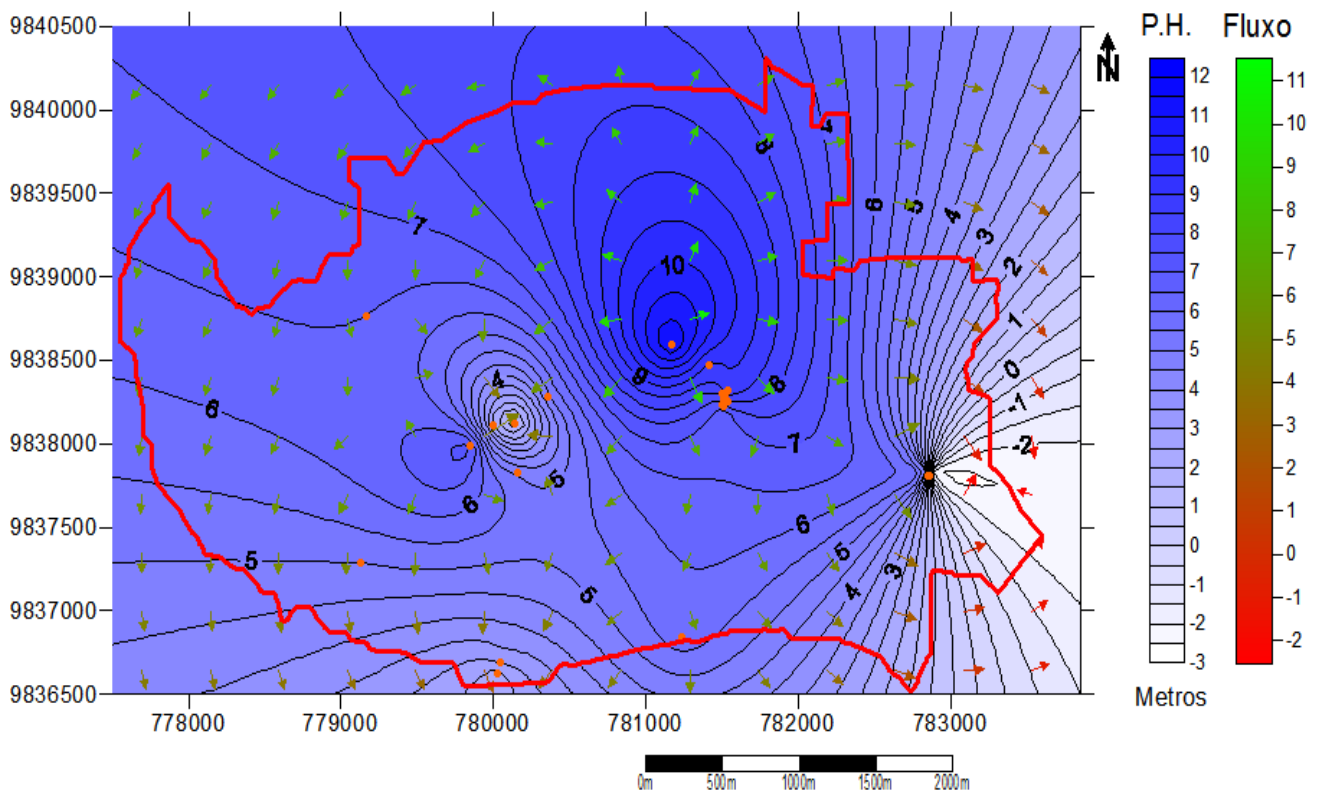
cota do ponto (z) e a pressão do fluido (Ψ). Como o peso específico da água é igual a 1, pode-se escrever: $h = Z + \Psi$.

Na prática, calcula-se o potencial hidráulico pela diminuição da cota topográfica do nível estático, conforme já determinado anteriormente.

7.2 COMPORTAMENTO DO FLUXO HIDRÍCO SUBTERRÂNEO

O comportamento geométrico dos fluxos das águas subterrâneas na área da BHEN pode ser visto na Figura 10 (PANTOJA 2010). Percebe-se que as linhas equipotenciais (em preto) têm valores que variam de -2m a 10m e as setas representam a direção e sentido dos fluxos. A área da BHEN aparece marcada em vermelho.

Figura 10: Mapa dos fluxos hídricos subterrâneos da área.



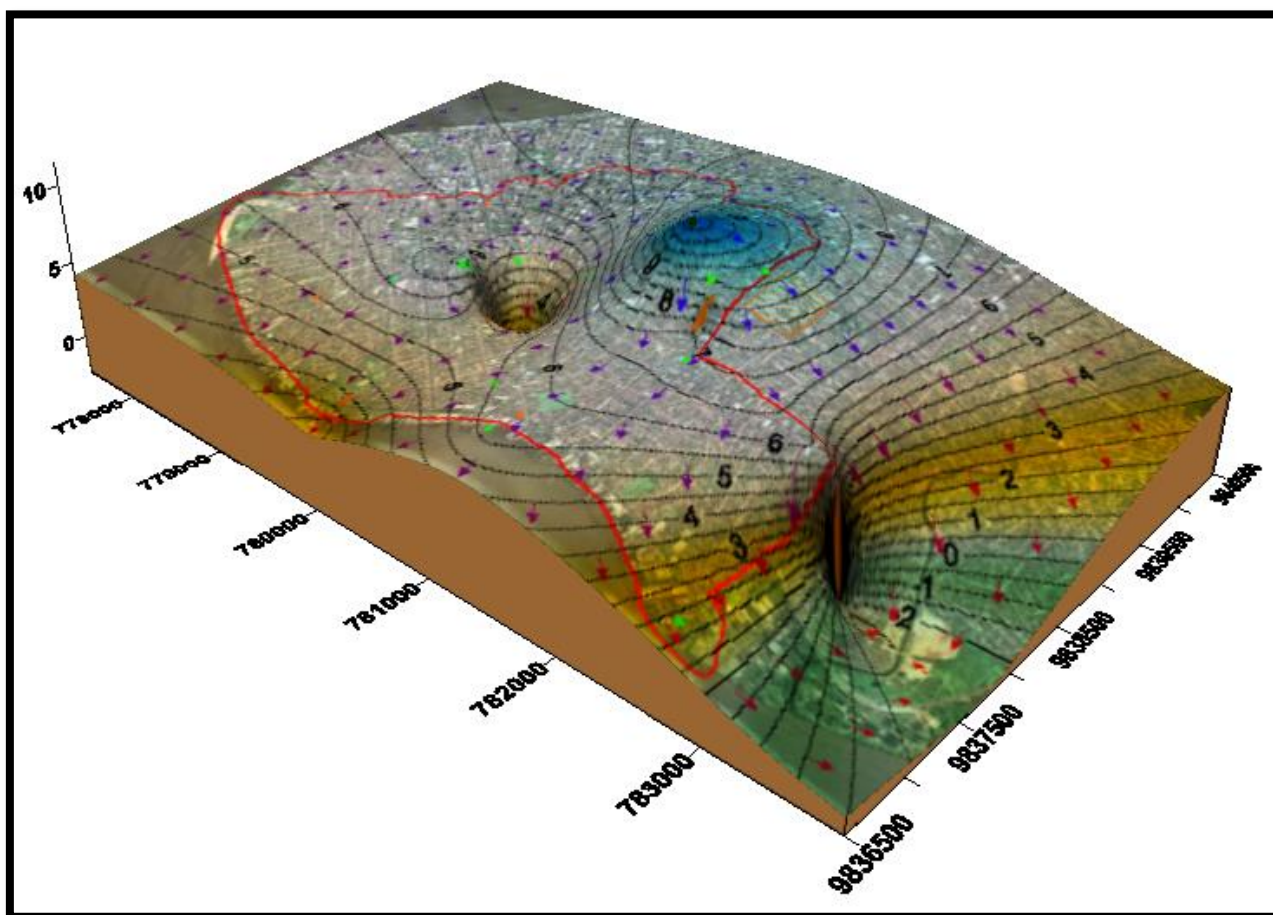
Fonte: Pantoja (2013)

Na análise dos fluxos percebem-se três setores importantes. Na porção central da bacia, têm-se duas zonas importantes, uma zona de recarga, caracterizada pelas setas divergentes, a partir do centro do setor e uma zona de descarga caracterizada pelas setas convergentes para o centro do setor.

Na porção leste da bacia, tem-se outra zona de descarga, com comportamento convergente das setas de sentido do fluxo hídrico.

A Figura 11 mostra o comportamento dos fluxos hídricos subterrâneos para a BHEN, em três dimensões. Identificam-se aqui também os três setores descritos anteriormente, com duas áreas de descarga e uma área de recarga para o sistema aquífero superior da área estudada.

Figura 11: Comportamento tridimensional dos fluxos hídricos subterrâneos para BHEN.



Fonte: Pantoja (2013).

7.3 FLUXOS HIDRICOS SUBTERRÂNEOS E A OCUPAÇÃO DO MEIO FÍSICO

Na área da BHEN foram cadastrados vinte e seis poços, onde vinte e cinco são tubulares e um é amazonas (Tabela 4). As cotas dos poços variam de 5 à 21m. Na maioria deles o nível estático mediu 0,0m, significando que o lençol freático é aflorante, isto é, a água está na superfície, ou bem próxima a ela. O lençol freático é a superfície que separa a zona não saturada (em cima) da zona saturada (embaixo). Se a superfície freática é sub-aflorante, é porque a zona não saturada é insignificante, estando todos os poros da camada rochosa totalmente cheios de água e bem perto da boca do poço.

7.3.1 Aspectos da ocupação urbana

De uma forma geral, a questão do lixo e falta de saneamento é uma constante tanto na RMB assim como na BHEN, as principais esquinas das ruas estão tomadas por lixo e entulhos (Figura 12), além da questão do esgoto residencial que é lançado diretamente nos canais e igarapés, sem nenhum tratamento.

Figura 12: Aspectos da ausência de saneamento na área da BHEN.



Fonte: do autor.

As Feiras municipais visitadas como do Guamá e Cremação são responsáveis por grande acúmulo de lixo orgânico no fim do dia, parte desse lixo é lançado nos esgotos e vias públicas e outra parte é coletada pelo sistema de coleta de lixo da prefeitura de Belém.

Durante a investigação de campo foi identificado somente um poço escavado (Amazonas), sendo o restante do arquivo de dados constituído de poços tubulares rasos 14 – 42 m; profundos 102 a 268 m e intermediários com profundidades que variam de 57 a 84 m, neste estudo trabalhamos somente com os poços rasos.

Sabe-se que os poços amazonas, que estão espalhados por toda a região de Belém (MATTA, 2002) são fontes de doenças de veiculação hídrica na área, representando verdadeiros riscos à saúde das pessoas que consomem água proveniente deste tipo de poço.

Segundo Matta (2010) tratam-se de “buracos” escavados manualmente para captar água do subsolo, feitos sem qualquer preocupação técnica ou higiênica. Os perfuradores são moradores das comunidades que dispõem das ferramentas básicas. As zonas aquíferas exploradas pelos poços do tipo amazonas são os terraços alúvio-coluvionares. As profundidades variam de 2 a 10 metros, diâmetros de boca na ordem de 0,90 metros a 1,50 metros e níveis estáticos que variam dependendo do período de medida.

A Figura 13 ilustra o poço Amazonas cadastrado na área da BHEN, na propriedade de um morador identificado por Edson. O poço se encontrava coberto por uma tampa de concreto, porém não se elimina totalmente o risco dessa água estar contaminada, pois esse tipo de captação retira água de aquíferos superiores, águas que em geral não são de boa qualidade devido à proximidade de fontes diversas de contaminação, como fossas sépticas, lixões, postos de combustíveis, etc.

Figura 13: Poço amazonas identificado na área



Fonte: do autor.

Na casa do Sr. Lázaro foi cadastrado um poço tubular (Figura 14). Esse tipo de sistema de captação de água subterrânea, se bem construído, oferece uma água de melhor qualidade em relação aos poços amazonas. O poço em questão, no entanto, segundo relatos do proprietário apresenta água com aparência turva e características de contaminantes provenientes de combustíveis.

Segundo Matta (2010), esses tipos de poços tubulares rasos, com profundidades que dificilmente ultrapassam 25m, exploram água de zonas aquíferas do sistema hidrogeológico Pós-Barreiras. Esses poços são mal construídos, sem qualquer preocupação técnica e por pessoas não habilitadas.

Os poços desse conjunto constituem uma importante fonte de contaminação dos aquíferos confinados ou semi-confinados por romperem as camadas confinantes e permitirem a condução dos agentes poluidores aos níveis aquíferos inferiores.

Figura 14: Poço tubular, residencial, de propriedade do Sr. Lázaro.



Fonte: do autor.

Figura 15: Poços desativados para fins domésticos



Fonte: do autor.

Em alguns casos, os poços até possuíam boas condições de higiene, é o caso do poço construído por instituição governamental para o **Conjunto Residencial Batista Campos** (Figura15-A) e o caso do poço de propriedade particular do **Condomínio Regent Park** (Figura 15-B). Este último, segundo informações do zelador responsável, a água é aproveitada para fins de limpeza do condomínio e irrigação.

Ainda durante o processo de coleta de dados para o cadastro dos poços, foram visitados diversos estabelecimentos, dentre eles, hospitais, postos de saúde, escolas, supermercados, órgãos públicos, prédios, etc. Na maioria desses estabelecimentos não foram registrados captação de água subterrânea, portanto uma questão relevante a ser mencionada é a grande demanda do uso da água da Companhia de saneamento do Pará (COSANPA), que é a empresa responsável por quase totalidade do abastecimento desses estabelecimentos. Salvo alguns poucos casos como o do prédio **Palais Lar Rochelle** (Figura 16), que fica localizado numa região, dentro da BHEN, habitada por pessoas de maior poder aquisitivo. Neste caso a água da COSANPA não é utilizada e o abastecimento é feito por poço tubular.

Figura 16: Poço tubular raso no prédio Palais Lar Rochele



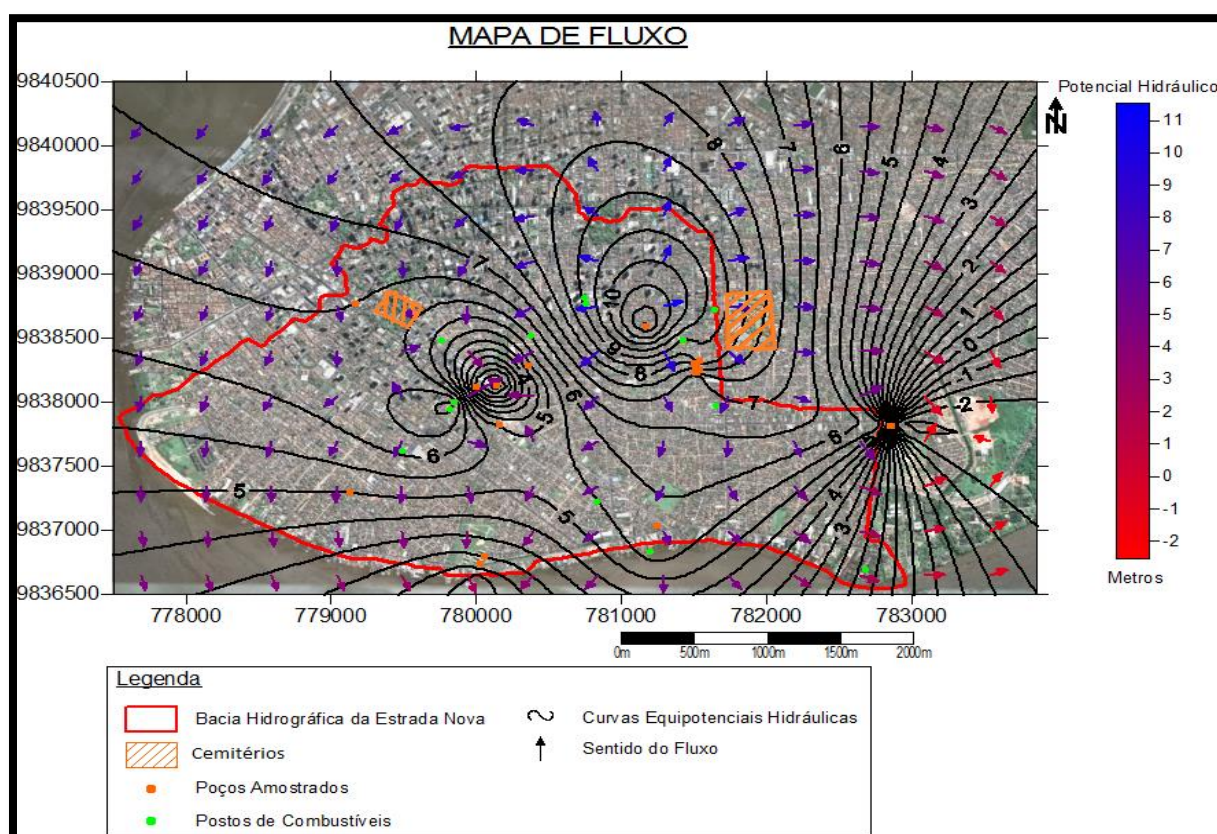
Fonte: do autor.

7.3.2 Os fluxos hídricos subterrâneos e a ocupação urbana

Para analisar o comportamento dos fluxos de água subterrânea frente à ocupação do meio físico da BHEN, plotou-se o mapa de fluxo hídrico subterrâneo sobre a base cartográfica da área, com seus diversos elementos da ocupação urbana (Figura 17).

Percebe-se que a área de recarga do sistema hidrogeológicos superior na área da BHEN, já identificado anteriormente, caracterizada por um arranjo de fluxos divergentes e ocupando o setor nordeste da bacia, encontra-se nas imediações do cemitério de Santa Isabel.

Figura 17: Comportamento dos fluxos hídricos subterrâneos.



Fonte: do autor.

Isso demonstra que deve haver uma forte influência deste cemitério sobre a recarga da superfície freática do sistema aquífero, caracterizando o cemitério como uma fonte potencial de suma importância para as águas subterrâneas da BHEN.

Além disso, os vetores de fluxos na área deste cemitério espalham-se para leste, fora dos domínios da BHEN, o que deve caracterizar o cemitério como importante fonte potencial para o restante da área vizinha à bacia estudada, na direção da bacia hidrográfico do Tucunduba que margeia a BHEN pelo limite leste.

Analisando-se os vetores de fluxo a partir do cemitério Santa Isabel percebe-se que caminham na direção sul e sudeste e, caso essas águas estejam realmente contaminadas ou poluídas, o que teria, ainda, que ser comprovado, elas seriam importantes fontes de contaminação para toda essa área a sul e sudeste do cemitério (Figura 17).

Essa área de recarga do sistema aquífero superior localiza-se em um setor da área com pouca arborização, com concentração de postos de combustível e densa aglomeração populacional. Sabe-se que as áreas de recarga de um aquífero devem ser protegidas ambientalmente, evitando-se processos de ocupação urbana que causem impermeabilização do solo, o que evitaria que houvesse infiltração das águas pluviais e abastecimento do aquífero.

A zona de descarga do sistema aquífero superior, na porção central da BHEN também se caracteriza por forte aglomerado urbano. O cemitério Nossa Senhora da Soledade (Figura 18), nas imediações dessa área de descarga dos fluxos subterrâneos, com arranjo convergente de setas de fluxo, não constitui uma fonte potencial de contaminação das águas do sistema aquífero superior (Figura 17).

Figura 18: Cemitério de Nossa Senhora da Soledade. Belém-PA.



Fonte: google earth (2011)

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As seguintes conclusões podem ser enumeradas.

1- Identificados na área os sistemas hidrogeológicos Barreiras e Pós-Barreiras. O sistema superior (Pós-Barreiras) se mostrou importante para os estudos hidrogeológicos pretendidos, incluindo o comportamento dos fluxos hídricos subterrâneos;

2- O estudo dos condicionantes geoambientais da área da BHEN foi importante para as interpretações do comportamento geométrico dos fluxos hídricos subterrâneos do sistema hidrogeológico superior;

3- A ocupação do espaço físico da área condiciona todo o processo de abastecimento de água da população. Parte desse abastecimento se verifica com águas superficiais provindas da companhia estadual (COSANPA), parte com águas subterrâneas, através de poços escavados e tubulares;

4- O mapa de fluxo hídrico subterrâneo confeccionado mostrou a existência de duas áreas de descarga e uma área de recarga do aquífero superior;

5- O principal elemento identificado no comportamento geométrico dos fluxos subterrâneos foi uma área de recarga do aquífero superior que ocorre na porção central da bacia hidrográfica;

6- O padrão mostrado pelos vetores de fluxo nesse setor, caracteriza uma área de recarga do aquífero superior com um arranjo divergentes de vetores de fluxo e encontra-se nas imediações do cemitério de Santa Isabel. Isso demonstra que deve haver uma forte influência do cemitério sobre a recarga da superfície freática do aquífero superior, caracterizando o cemitério como uma fonte potencial de contaminação, de suma importância para o setor à leste da área;

7- Além disso, os vetores de fluxos na área deste cemitério espalham-se para leste, fora dos domínios da BHEN, o que deve caracterizar o cemitério como importante fonte potencial para o restante da área vizinha à bacia estudada, na direção da bacia hidrográfica do Tucunduba;

8- Os vetores de fluxo subterrâneo, a partir do cemitério Santa Isabel, na direção sul e sudeste indicam que, se essas águas estiverem realmente

contaminadas ou poluídas, o que deve ser comprovado, elas seriam importantes fontes de contaminação para toda essa área do sul e sudeste da BHEN;

9- A área de recarga do sistema aquífero superior localiza-se em um setor da área com pouca arborização, com concentração de postos de combustível e densa aglomeração populacional, o que torna esse setor da área bastante vulnerável ambientalmente;

10- Sabe-se que as áreas de recarga de um sistema hidrogeológico devem ser protegidas ambientalmente, evitando-se processos de ocupação urbana que causem impermeabilização do solo, o que evitaria que houvesse infiltração das águas pluviais e abastecimento do aquífero;

11- Duas zonas de descarga do sistema hidrogeológico superior, caracterizados por padrões convergentes dos vetores de fluxo, ocorre na porção central da BHEN e em seu setor Sudeste. Essas zonas também estão localizadas em setores de forte aglomerado urbano;

12- O cemitério da Soledade não constitui uma fonte potencial de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos da área estudada, localizado na porção noroeste da BHEN, fica nas proximidades de uma das áreas de descarga do sistema aquífero superior;

13- O homem precisa repensar sua relação com o meio ambiente, necessita-se de uma organização por parte das autoridades governamentais em investir em projetos que visem à ocupação do meio físico de forma ordenada, para um melhor planejamento urbano e para a qualidade de vida da população envolvida e da própria garantia de um meio ambiente sustentável para as futuras gerações.

14- Recomenda-se que as autoridades competentes invistam mais em captação de águas subterrâneas para o abastecimento de escolas, hospitais, postos de saúde, etc, pois esta alternativa de uso da água é mais eficiente e barata a longo prazo do que a contratação dos serviços de água da COSANPA. Investir mais em campanhas que visem à arborização das áreas de recarga de aquífero e a conscientização da população para que não se jogue lixo e dejetos nesses locais.

15- A implantação da macrodrenagem não pode aumentar a impermeabilização do espaço físico sob a pena de diminuir a infiltração das águas pluviais impossibilitando a recarga dos aquíferos superiores.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. M. *Estudo dos recursos hídricos subterrâneos da região de Barcarena-Abaetetuba como um fundamento para o zoneamento ecológico econômico do Baixo Tocantins*. 2005. 148f. (TCC) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém/PA, 2005.

CEMITÉRIO DA SOLEDADE: banco de dados. Disponível em: <https://www.google.com.br>. Acesso em: 17 de mar. 2013. Imagem Google Earth. Out. 2011.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM (CODEM). *Plano de Desenvolvimento da Grande Belém: metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistema*. Belém: DNPM-CPRM, 1975. v.1.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Serviço Geológico do Brasil. *Tipos de aquíferos: banco de dados*. Disponível em <http://www.cprm.gov.br>. Alterado em: 06/05/2010. Acessado em 27 fev. 2013.

COSTA, de J. P. R.; MARTINS, M. Determinação das alterações microclimáticas causadas por processo de ocupação urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., 1996, Campos do Jordão. *Anais...* Campos do Jordão. SP, 1996. p. 1182- 1184.

CRAVEIRO, G. S. *Construção de um sistema de informação geográfica como ferramenta de gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Igarapé Mata Fome, Belém, Pará*. 2007. 147f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - UFPA, Centro de Geociências, Belém, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Coordenação Geral de Desenvolvimento e Pesquisa – CDP. *Normais Climatológicas*. 2011. II Série. 39p. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acessado em 25/01/13

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, (INMET). *Normais Climatológicas (1931 a 1997)* - Brasília – DF, 1998.

LIMA, H. N. S. *Estudo da Concentração e implementação de vias sanitárias em Belém: o caso da Bacia de Drenagem Estrada Nova*. 2004. 1 CD-ROM. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico. 2004.

MATTA, M. A. S. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. 2002. 292f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém/PA. 2002.

MATTA, M. A. S. Notas de aulas da Disciplina Hidrogeologia, Universidade Federal do Pará-UFPA. Instituto de Geociências. 2010.

MAZZEO, T. E. *Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém (PA), quanto a distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn*. 1991. 141f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 1991.

MORAES, M.C. da S. *Avaliação do regime de precipitação na região de Belém (RMB) e sua relação hidrológica subterrânea*. 1999. 45f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - UFPA. CG/DMET, Belém, 1999.

OLIVEIRA, J. R. de. *Caracterização preliminar das potencialidades aquíferas do município de Ananindeua com proposta técnica para perfuração de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea – Belém, CPRM/PEHRMB*. 1998 a.

PACHÊCO, N. A. et al. Boletim agrometeorológico para Belém, Pa. *Boletim Agrometeorológico*, Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, v.39 (Documentos, x). 2011. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>>. Acessado em 24/01/13.

PEREIRA, B. W. et al. Fragmentação da vegetação arbórea na bacia hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Estado do Pará. *Rev. Cienc. Agrar.* Belém, v. 55, n. 4, p. 297-305, out./dez. 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufra.edu.br>>. Acessado em 06/02/2012.

PINHEIRO, J. GIRARD, L. Metodologia para gerenciamento integrado dos resíduos sólidos da bacia da Estrada Nova do município de Belém (PA). Belém: Secretaria Municipal de Saneamento da PMB, 2013. *Estudos Tecnológicos*, v. 5, n. 3, p. 313-331, set/dez. 2009. doi: 10.4013/ete.2009.53.04. Disponível em: <<http://www.estudostecnologicos.unisinos.br>>. Acesso em: 30/10/2012.

RADAM BRASIL. *Folha SA-22, Belém-PA. Geologia, geomorfologia, solos, vegetais e uso potencial*. Rio de Janeiro: Departamento de Produção Mineral, 1974.

SANTUCCI, J. Construção de poços tubulares sem controle que comprometa as águas subterrâneas. *Conselho em Revista*, n. 39, p. 314-317, 2008. Disponível em: <http://www.saturno.crea-rs.org.br/crea/pags/revista/39/CR39_area-tecnica.pdf>. Acesso em 10 de Nov. 2011.

SECRETARIA MUNICIPAL DE SANEAMENTO (SESAN). *Modelo atual dos Serviços de Limpeza Urbana*. Belém, Relatório Anual de Gestão, 2008. 118p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Disponível em: <<http://www.siagasweb.cprm.gov.br/layout>>. Acesso em 03-10-12.

SIQUEIRA, E.de J. N.; SILVA, M. B. da; SILVA, M. A. da; SANTOS, L. de O. Programa de recuperação urbano ambiental da bacia da estrada nova (promaben). *Revista FIBRA e Ciência*, n. 6, nov. 2011. Disponível em: <<http://www.fibrapara.edu.br>>. Acessado em: 27-02-13.