



**CENTRO DE HUMANIDADES – OSMAR DE AQUINO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA- CAMPUS III
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM GEOGRAFIA**

**Linha de Pesquisa:
Análise e Planejamento Ambiental**

RAMON SANTOS SOUZA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO NÍVEL ESTÁTICO EM
RESERVATÓRIOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO MUNICÍPIO DE
JOÃO PESSOA-PARAÍBA**

**GUARABIRA-PB
2014**

RAMON SANTOS SOUZA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO NÍVEL ESTÁTICO EM
RESERVATÓRIOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO MUNICÍPIO DE
JOÃO PESSOA-PARAÍBA**

Monografia apresentada a Coordenação do Curso de Licenciatura Plena em Geografia da Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Humanidades - Campus III, Guarabira, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Licenciado em Geografia. Sob orientação do Prof. Dr. Lanusse Salim Rocha Tuma.

**GUARABIRA-PB
2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

S719v Souza, Ramon Santos
Variabilidade espacial do nível estático em reservatórios
hídricos subterrâneos do município de João Pessoa - Paraíba
[manuscrito] : / Ramon Santos Souza. - 2014.
51 p. : il. color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) -
Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Humanidades, 2014.
"Orientação: Lanusse Salim Rocha Tuma, Departamento de
Geografia".

1. Hidrogeologia. 2. Geoestatísticas. 3. Planejamento
Hídrico. I. Título.

21. ed. CDD 910

RAMON SANTOS SOUZA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DO NÍVEL ESTÁTICO EM
RESERVATÓRIOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DO MUNICÍPIO DE
JOÃO PESSOA-PARAÍBA**

Monografia aprovada em: 18/11/2014

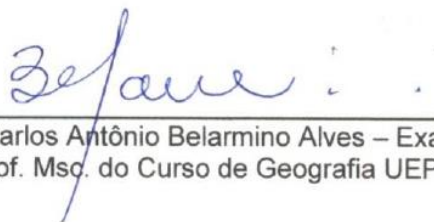
BANCA EXAMINADORA



Lanusse Salim Rocha Tuma - Orientador
Prof. Dr. do Curso de Geografia UEPB/DG/CH



Patrícia Dornellas da Silva Xavier - Examinador
Profª. Ms. do Curso de Geografia UEPB/DG/CH



Carlos Antônio Belarmino Alves – Examinador
Prof. Msc. do Curso de Geografia UEPB/DG/CH

*Dedico este trabalho a Deus, minha família, amigos
e aos espíritos iluminados que nos acompanham na
passagem terrestre.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é a inteligência suprema, causa primeira de todas as coisas, por me criar, fortalecer nos momentos de dor e alegrar meu viver com seu eterno amor! A Jesus que é o caminho, a verdade e a vida.

Agradeço também a todos amigos e trabalhadores espirituais, em especial a Francisco de Assis e Fabiano de Cristo, que me iluminam e radiam suas luzes em meu caminho.

Ao amor de meus pais Maria da Penha dos Santos Souza e João de Souza Latão, por assumir a responsabilidade pela minha tutela na Terra, e acreditarem no meu potencial, por estarem ao meu lado em todos os momentos ajudando a minha evolução, formação moral e intelectual. Aos meus irmãos Ricardo e Rafael.

Ao Programa de Incentivo à Pós-Graduação e Pesquisa (PROPESQ) e a Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa (PRPGP/UEPB), pelo financiamento da pesquisa a partir do convênio com a CAPES.

Ao Serviço Social do Comércio-Sesc, Guarabira-PB, pelo consentimento de um estágio em Licenciatura em Geografia, e todos os funcionários e professores que compõe essa empresa.

À minha avó biológica Helena (*in memórian*), avô Antônio Firmino (*in memórian*), avô Antônio Praxedes (*in memórian*), avô Samuel (*in memórian*) avó Helena Pereira, avó Maria do Socorro (Desaparecida), tia Maria Tibuço (*in memórian*), tia Maria Firmino (*in memórian*). E demais pessoas queridas que partiram para o mundo espiritual.

Aos meus professores do ensino fundamental e médio. Ao meu professor de música Batista de Andrade e aos amigos da música.

Ao meu amigo e orientador Prof. Dr. Lanusse Salim Rocha Tuma, pela confiança em meu potencial, por sua sabedoria, sugestões e críticas que contribuíram para meu aperfeiçoamento profissional e humano.

Ao meu querido amigo e professor Ms. Carlos Antonio Belarmino Alves, por sua dedicação e amor em todos esses anos, que ficaram marcado em minha vida pela eternidade, pelos conselhos, momentos de descontração e pelo trabalho que me ajudou a entender melhor a vida acadêmica.

Ao professor Dr. Reinaldo Lucena pelo incentivo a pesquisa e por me inserir no Laboratório de Etnoecologia da Universidade Federal da Paraíba-CCA-Areia.

Ao professor Ph.D. Bartolomeu Israel de Souza da Universidade Federal da Paraíba-João Pessoa.

A Prof.^a. Ms^a. Patrícia Dornellas da Silva Xavier por aceitar a fazer parte da banca examinadora.

Aos todos os meus professores e funcionários do Departamento de Geografia-Campus III, em especial quero agradecer ao Prof. Ms. Alexandre Nogueira, por sua amizade e dedicação nos momentos de estopim do Grupo Marxismo e Geografia-UEPB, ao Prof. Fabio Dantas pela confiança e a professora Luciene Arruda.

Ao amigo Willamy (mantinha) *In Memoriam!*

Willam Santos, amigo que partiu para o mundo espiritual durante a conclusão deste trabalho. Te agradeço amigo por sua voz que nos alimentava a cada dia com a esperança de vencer os desafios encontrados na vida.

Aos meus grandes amigos Estevão Ferreira, Simone Silva, Wellington Dantas, Amanda Azevedo, Joseline, Suziane, Beto, Elton John, Elton Oliveira, Valéria Silvia, Silvinha, Junio Santos e todos tem um lugar especial em meu coração. Aos demais amigos que conquistei durante esses quatro anos de curso, Gilvânia, Rafael Max, Wendell, Juliana, Feliciano Lais, Ricardo Batista, Rabeira, Clemilson, Jailson, Sérgeson, Matheus, Amanda Azevedo, Beto Barreiros, Aline, Maria do Céu, Ernane, Rafael Dias, Lidineide, Silvânia, entre outros amigos que fizeram parte da minha vida, que permaneceram ao meu lado sempre, me ajudando a crescer como pessoa e profissional. A todos que fizeram a Turma 2011.1 tarde, pelos momentos de descontração, alegria e dificuldades que passamos juntos.

Ao seu Tico da Macaxeira e seu Tico da Pedra da Boca.

A União Espirita Fabiano de Cristo e Núcleo Espirita Amigo da Paz, pelo trabalho caridoso e amor dedicado aos irmãos necessitados.

Por todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente na concretização desse sonho, os meus mais sinceros agradecimentos!

Muito Obrigado!

OS DOIS MENINOS PATINANDO NO GELO

Conta-se que dois meninos patinavam num lago congelado.

Era uma tarde nublada e fria, e as crianças brincavam despreocupadas.

De repente, o gelo se quebrou e um dos meninos caiu, ficando preso na fenda que se formou.

O outro, vendo seu amiguinho preso e se congelando, tirou um dos patins e começou a golpear o gelo com todas as suas forças conseguindo por fim quebrá-lo e libertar o amigo.

Alguém que estava distante do local e impossibilitado de ajudar, viu o ocorrido e chamou os bombeiros.

Quando os bombeiros chegaram e viram o que havia acontecido, admirados perguntaram ao menino: "Como você conseguiu fazer isso? É impossível que tenha conseguido quebrar o gelo, sendo tão pequeno e com mãos tão frágeis"!

Nesse instante, um ancião que passava pelo local, disse: - Eu sei como ele conseguiu. Todos perguntaram: - Pode nos dizer como?

- Não havia ninguém ao seu redor, para lhe dizer que não seria capaz - disse o ancião.

(AUTOR DESCONHECIDO)

043. Curso Licenciatura Plena em Geografia

SOUZA, Ramon Santos. **Variabilidade espacial do nível estático em reservatórios hídricos subterrâneos do município de João Pessoa-Paraíba**. Artigo (Curso de Geografia, UEPB, na linha de pesquisa: Análise e Planejamento Ambiental, orientado pelo Prof. Dr. Lanusse Salim Rocha Tuma). 2014, 51p.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Lanusse Salim Rocha Tuma – Orientador CH/UEPB

Prof^a. Ms^a. Patrícia Dornellas da Silva Xavier-Examinador CH/UEPB

Prof. Ms. Carlos Antônio Belarmino Alves – Examinador CH/UEPB

Resumo:

As vertentes geocientíficas como a hidrogeologia são cada vez mais importantes para elaboração de planejamentos estratégicos dos recursos hídricos subterrâneos. Não obstante, o refinamento teórico e prático da Geoestatística fornece a base para elaboração de modelos probabilísticos sofisticados das variáveis regionalizadas. A pesquisa objetiva analisar variáveis quantitativas do Nível Estático – NE dos reservatórios de água subsuperficial, sob o prisma Hidrogeológico e Geoestatístico, com foco na bacia sedimentar costeira da Paraíba, mas especificamente o município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, região nordeste do Brasil. Refere-se aos poços tubulares, perfurados durante os anos de 1970 a 2006 na área de trabalho. A diretriz metodológica constou da pesquisa bibliográfica da temática em foco; investigação e coleta das análises das informações preexistentes; seleção amostral do cadastro dos poços tubulares georreferenciados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas-SIAGAS/CPRM, seleção do universo amostral de 240 para 140 poços; elaboração de planilhas eletrônicas com os dados coletados; obtenção dos atributos cartográficos em órgãos responsáveis; realização da estatística clássica através do software SPSS; no programa Surfer, realizou-se a variografia e a estimação por Krigagem; e finalmente, a edição dos modelos gerados e a integração dos resultados. Pode-se observar que o NE possui uma média de 27,4 m, um valor mínimo de 0 m e máximo de 79,4 m, uma mediana de 25 m. Possui $C_0 = 100$; $C = 116,99$; $A (km) = 4,2$. O nível estático apresenta valores entre 0 a 21 m nas interpolações atribuídas nos poços associados aos depósitos de sedimentos aluviais, mangues e de praias. A classe de 21 a 34 m se concentra, principalmente, na porção central dos mapas e é também a área mais urbanizada e sujeita a diversos impactos ambientais sob as reservas subterrâneas além de possuir uma grande impermeabilidade devido a cristalização urbana. A classe de 34 a 79 m localiza-se em menores faixas na direção oeste-noroeste. Conclui-se, que os dados demonstram uma considerável variação no espaço-tempo o que justificou a necessidade da aplicação da Geoestatística para uma melhor confiabilidade dos resultados. Os produtos gerados a partir desta pesquisa servem de suporte para a gestão dos recursos hídricos da região e recomenda-se o uso sustentável destes mananciais hídricos subterrâneos.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrogeologia, Geoestatística, Planejamento Hídrico Subterrâneo.

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Distribuição da água no mundo.	14
Figura 2. Localização dos aquíferos Alter do Chão e Guarani.	16
Figura 3. Arquitetura de Sistema de Informação Geográfica.	19
Figura 4. Localização geográfica da área de estudo, com destaque para o adensamento urbano no município de João Pessoa (Paraíba, Nordeste do Brasil).	21
Figura 5. Corte Geológico da Bacia Sedimentar Costeira PE-PB.	24
Figura 6. Exemplo de sistema de bombeamento e de perfis de níveis hidrodinâmicos de poços tubulares.	27
Figura 7. Malha amostral dos poços tubulares, representada com coordenadas UTM.	28
Figura 8. Exemplo de um semivariograma.	30
Figura 9. Representação gráfica de semivariogramas experimentais e modelos teóricos.	30
Figura 10. Representação gráfica das distribuições do nível estático nos anos de 1970-2006.	33
Figura 11. Histograma de frequência do nível estático nos anos de 1970-2006.	33
Figura 12. Variação da profundidade média do NE ao longo dos intervalos de tempo de 1970-2006.	33
Figura 13. Distribuição Temporal de perfurações dos poços dos intervalos de tempo de 1970-2006 no município de João Pessoa (PB).	34
Figura 14. Mapa de Localização dos poços sobre a malha urbana de João Pessoa (PB).	35
Figura 14. Cota do Nível Estático manipulado no SUFER 10 ®.	36
Figura 15. Variograma para os dados do NE dos poços tubulares de João Pessoa.	37
Figura 16. Mapa de isolinhas do Nível Estático interpolado no SUFER 10 ®.	38
Figura 17. Mapa de 3D do Nível Estático interpolado no SUFER 10 ®.	39

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1. Síntese demográfica do município de João Pessoa no período entre 1970 a 2010.	22
Tabela 2. Estatística descritiva da profundidade do nível estático nos anos de 1970-2006.	32
Tabela 2. Parâmetros variográficos do nível estático dos reservatórios de águas subterrâneas do município de João Pessoa, Paraíba, Brasil.	36

LISTA DE ABREVIATURAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
Co	Efeito Pepita
C	Patamar
A	Alcance
S	Desvio Padrão
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EUA	Estados Unidos da América
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
KS	Komolgorov-Smirnov
MMA	Ministério de Meio Ambiente
ND	Nível Dinâmico
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PMJP	Prefeitura Municipal de João Pessoa
SBGF	Sociedade Brasileira de Geofísica
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPSS	Statistical Package for Social Science

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	13
2.2 ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS GEOGRÁFICOS	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO	21
3.2 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS	22
2.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	41
ANEXO A - PLANILHA DE DADOS.....	47

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, somando todos os lenções de águas subterrâneas em seu território possui um volume hídrico estimado de 112.000 km³, uma das maiores reservas no subsolo no mundo (VICTORINO, 2007). A captação das águas subsuperficiais por poços vem ocorrendo em cidades como Recife (PE), Maceió (AL) e o estado de São Paulo, beneficiados pela boa qualidade, utilização economicamente viável, entre outros fatores.

Segundo Tessler e Goy (2005), o litoral brasileiro compreende mais de 8500 km de extensão, abrangendo as praias arenosas, falésias ígneas e mais variados tipos de sistemas sedimentares, estuários, dunas e manguezais; muitas vezes ameaçada por intervenções antropogênicas ou por causas naturais associadas a variações climáticas e, conseqüentemente, a variações relativas do nível do mar.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) estima que a população em 2010 nos municípios da zona costeira atingiu 26,6% do seu total, sendo que, 73,11% residiam em municípios com mais de 100 mil habitantes. Não obstante, o consumo desordenado e intensivo desse recurso natural tem provocado o desaparecimento de mananciais, perda da capacidade e produtividade, intrusão salina em aquíferos costeiros, entre outras problemáticas.

Para dar o suporte a esta pesquisa, recorreu-se a uma técnica que utiliza a inferência espacial na estimativa e interpolação das variáveis aleatórias, denominada de Geoestatística. Esta técnica foi aperfeiçoada na década de 1960 (MATHERON 1963, 1971), e desde então, vem preocupando-se em extrair de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, características estruturais do fenômeno regionalizante, ou seja, uma correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no tempo estudado (LANDIM, 1998 e 2006).

A modelagem matemática empregada para experimentação de comportamentos hidrogeológicos ganhou forte destaque na gestão hídrica, principalmente devido o aprimoramento das performances dos computadores. De acordo com Vasconcelos e Souza (2009), a aplicação de métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial das características observáveis em poços tubulares, constitui uma ferramenta fundamental para fornecer subsídios para a avaliação de reservas e para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no Brasil.

A geoestatística possibilita a representação da variabilidade espacial através de estimadores que consideram a estrutura de dependência espacial, seus algoritmos utilizam inferências não somente variáveis quantitativas como também outras formas de informação

não-quantitativa, que representam também uma grande parte da informação utilizada na cartografia em suas diversas modalidades (DRUCK, 2002).

Essa pesquisa abrangeu a bacia hidrográfica do rio Paraíba, na porção do seu Baixo Curso, mais especificamente, o município de João Pessoa (Paraíba, Nordeste do Brasil) que compreende uma área territorial de 211,47 km², cujo limite geográfico se dá ao norte com o município de Cabedelo, a sul com o Conde, a oeste com Bayeux e Santa Rita e a leste com a plataforma oceânica atlântica (IBGE, 2010; MENESES, et al., 2011). A via de acesso terrestre pode ocorrer pelas rodovias BR 230 e BR 101 e o transporte aéreo conta com o Aeroporto Castro Pinto, no município de Bayeux inserido na região metropolitana de João Pessoa (RIBEIRO FILHO; SOARES, 2004).

O município está sob o domínio do Clima Tropical quente-úmido (As'), segundo a classificação de Köppen, caracterizado por uma precipitação anual de 1.800 mm, com uma maior concentração de chuvas no final da estação do outono e início do inverno, entre os meses de maio, junho e julho, sendo junho o mês de maior concentração pluviométrica (SOBREIRA, 2010). Conforme Assis (1985), o município é coberto por uma sequência sedimentar cenozoica, constituído por litologias do Terciário, representado pelo Grupo Barreiras, e do Quaternário, por aluviões, sedimentos de praia, mangues e areias quartzosas. Os aquíferos da região estão representados pelos reservatórios contidos na Formação Beberibe e no Grupo Barreiras. A geomorfologia do município de João Pessoa é caracterizada, basicamente, por dois domínios geomorfológicos distintos: Baixada Litorânea e Tabuleiros Litorâneos (MENESES, 2007; FURRIER, 2007).

A região apresenta um significativo potencial de reservas hídricas, contudo, o crescente adensamento humano influenciado pelos atrativos urbanísticos, industriais e turísticos, vem ocorrendo desordenadamente e tem gerado impactos qualitativos e quantitativos nos recursos naturais, entre eles, a água subterrânea (NOBREGA, 2002; TUMA, 2004; MORAIS, 2009).

Neste sentido, esse trabalho objetiva analisar e dimensionar os reservatórios subterrâneos de João Pessoa, recorrendo à natureza da distribuição dos dados e a identificação da variabilidade espacial do nível estático, através Geoestatística, tendo como base os parâmetros hidrogeológicos disponíveis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As civilizações antigas, através de suas experiências, construíram formas de organização em torno de corpos hídricos. A água, sempre foi vital para todas as culturas e também forma de veneração e temor. De tal modo, construíram mitos e simbologias para explicar as forças da natureza. A apropriação deste elemento sempre foi um alvo a ser atingido, pois disto dependia sua sobrevivência, por exemplo no Capítulo do Gênesis do Antigo Testamento da Bíblia¹ se encontram certas referências primordiais da procura de água, nesse caso, através da escavação manual de poços. Com o tempo, foram adquiridas técnicas de irrigação, de canalizações, construção de diques e outros (PITERMAN; GRECO, 2005).

Os primeiros documentos escritos da humanidade, a exemplo da obra dos sumérios de aproximadamente 4 mil a.C., já se tinha conhecimento sobre irrigação de lavouras. Na civilização egípcia, o fluxo do rio Nilo era controlado por meio de um dispositivo administrativo, gerindo as relações entre as partes à montante e à jusante do rio, e projetando os níveis d'água durante os períodos anuais. Em Roma foram desenvolvidos sistemas de aquedutos, para a higienização coletiva. Na Revolução Industrial, o abastecimento deste recurso se torna mais intenso com atuação de fábricas e o crescimento desenfreado dos centros urbanos. No Brasil, o seu uso pelas populações é realizado desde os tempos coloniais, conforme atestam os “cacimbões” existentes nos fortes militares, conventos, igrejas e outras construções dessa época (BARBANTI; PARENTE, 2002).

Manoel Filho (2000) define que as águas subterrâneas são fontes hídricas armazenadas que se acumularam ao longo dos milhares de anos e se encontram, em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio, caracterizado por um mecanismo de recarga e descarga. De acordo com Coleridge (2006), formam-se quando as gotas pluviais se infiltram no solo e em outros materiais superficiais não consolidados, penetrando as rachaduras e fendas do substrato rochoso. Cerca de $\frac{3}{4}$ da superfície da Terra é coberta por água, vista e fotografada do espaço, foi apelidada de Planeta Água. É Substância essencial para manutenção dos seres vivos, a água é reconhecida pela ciência como o ambiente em que surgiu a própria vida. Por esse motivo, sua ocorrência é considerada uma das condições básicas para a admissão da existência de vida, como a conhecemos, em outros planetas (CAPUCCI et al., 2001).

¹ P. ex. Genesis Cap. XXX, vers. 38.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007), é um elemento essencial para o planeta, além de ser o melhor solvente para diversas outras substâncias. A Terra é composta por 70% de massa líquida, representados por 68,9% pelas calotas polares, geleiras e a grande cobertura de neves eternas dos cumes das montanhas; 0,9% correspondem à umidade do solo e pântanos; 0,3% aos rios e lagos; e os **29,9%** restantes são águas subterrâneas (Figura 1).

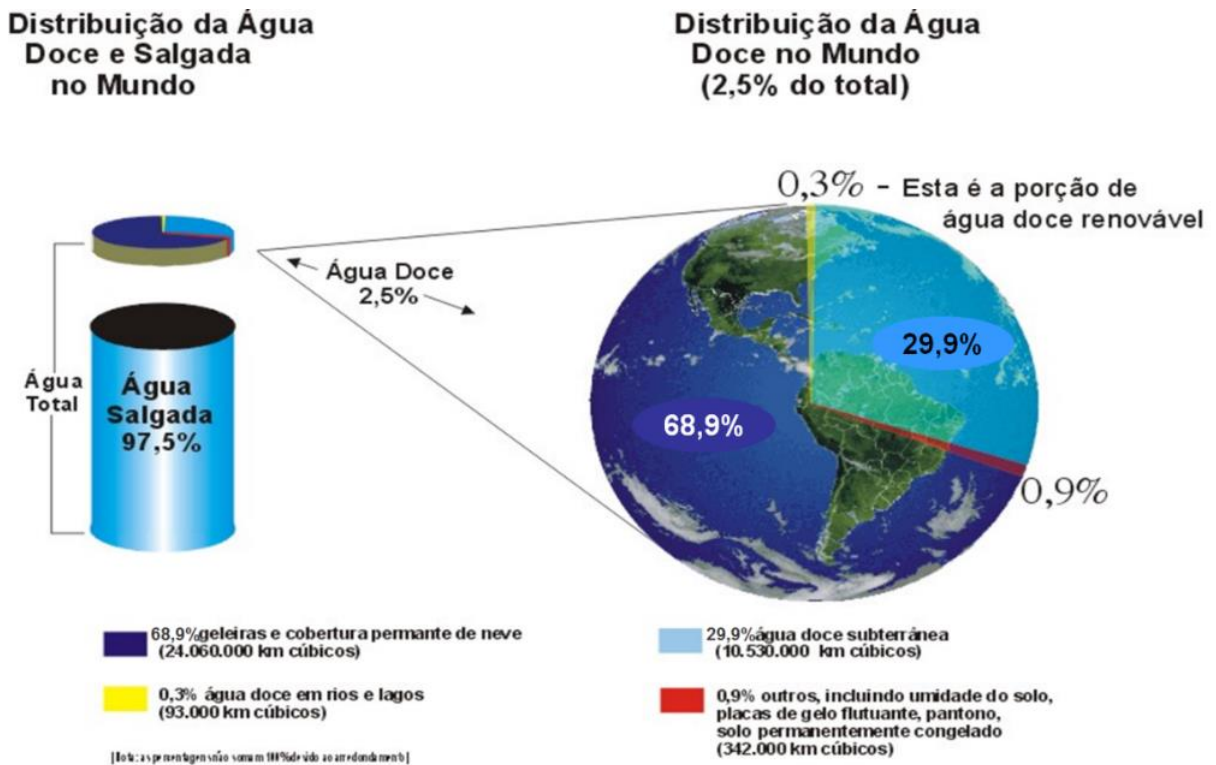


Figura 1. Distribuição da água no mundo.

Fonte: Igor Shiklomanov, “World Fresh Water Resources” em Peter H. Gleick, ed., *Water in Crisis: A Guide to the World’s Fresh Water Resources*, 1993.

A disponibilidade de água doce superficial tende a diminuir na medida em que a perda qualitativa aumenta em função de ocupações humanas inadequadas nas bacias hidrográficas. A água subterrânea possui um papel de grande relevância como fonte de abastecimento. O desenvolvimento tecnológico também tem contribuído para maior aproveitamento das águas subterrâneas, uma vez que promove uma melhora na produtividade dos poços e um aumento de sua vida útil (BARBOSA, 2007).

Devido à diminuição de sua qualidade, que foi acelerada a partir da 2ª Guerra Mundial, a água doce líquida existente em diversas regiões do mundo já perdeu sua característica especial de recurso renovável, em particular nos países ditos do Terceiro Mundo, já que padecem de tratamento adequado e fonte de degradação hídrica (CAPUCCI et al., 2001).

Além da precária oferta de água às populações, a questão da disponibilidade e dos conflitos pelo seu uso também apresentam seus aspectos preocupantes. Alguns países como Kuwait, Egito, Arábia Saudita, Barbados, Singapura e Cabo Verde apresentam escassez hídrica absoluta; Burundi, Argélia e Bélgica enfrentam o problema da seca crônica; O semiárido nordestino há o alerta de escassez e em vários locais existem conflitos decorrentes de desequilíbrios entre demanda e disponibilidade (ALBUQUERQUE; OLIVEIRA, 1999).

Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2008) Entre a pesquisa efetuada em 1989 e a de 2008, observa-se um crescimento de 3,5% na cobertura do serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição nos municípios brasileiros, em 2008, alcançou a marca de 99,4% dos municípios do País. O maior avanço nesses 19 anos ocorreu na Região Norte, que aumentou de 86,9% dos municípios com o referido serviço para 98,4%, representando um acréscimo de quase 12 pontos percentuais.

A análise segundo as Grandes Regiões mostra que a abrangência desse serviço continua se caracterizando por grandes desequilíbrios. O cruzamento das informações sobre o número de domicílios no País, obtidas pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios-PNAD, com aqueles referentes ao número de economias ativas residenciais abastecidas por rede geral, obtidas pela PNSB, mostra que a Região Sudeste apresentou, em 2008, uma cobertura de 87,5% dos domicílios abastecidos por rede geral. Entretanto, na Região Norte (45,3%), menos da metade dos domicílios foram abastecidos por rede geral, permanecendo praticamente inalterado o quadro de oito anos atrás. Na Região Nordeste (68,3%), ocorreu um incremento de 14,4% no período de 2000 a 2008. As demais regiões mantiveram um padrão muito parecido de crescimento de domicílios abastecidos (PNSB, 2008).

Portanto, deve-se salientar que o déficit na prestação do serviço de abastecimento de água pelas entidades continuou elevado, com aproximadamente 12 milhões de residências no País sem acesso à rede geral. O problema foi mais crítico na Região Norte, onde cerca de 54,7% dos domicílios encontravam-se nessa situação, seguida das Regiões Nordeste (31,7%), Centro-Oeste (18,0%), Sul (15,8%) e Sudeste (12,5%) (PNSB, 2008).

Albuquerque Filho et. al. (2011) discorrem que os mananciais subterrâneos têm assumido cada vez mais o papel como fonte estratégica, quer seja para as populações atuais ou para as gerações futuras. Ademais, os cenários que se desenham no horizonte passam pelo crescimento demográfico significativo, aglomerações urbanas cada vez maiores, pressões ambientais e um incremento de produção de alimentos, entre outros, aliados às significativas mudanças climáticas globais em curso.

Estima-se que a totalidade dos recursos subterrâneos de água doce seja de cerca de 10.000.000 km³, mais de duzentas vezes o volume total dos recursos de água doce renovados anualmente pela chuva. Isto ocorre devido que a maior parte dos recursos de água subterrânea se acumularam ao longo de séculos, ou mesmo milênios. Em alguns locais, eles são testemunho de climas mais úmidos que existiram no passado. Atualmente, estes recursos únicos de água podem mesmo ser encontrados em zonas desertas (STRUCKMEIER, 2008).

Dados de Victorino (2007) afirmam que o Brasil possui os maiores lençóis de águas subterrâneas do mundo, com o volume estimado de 112.000 km³ de água em suas reservas do subsolo. Ocorre um aumento do uso desse recurso hídrico no território nacional, tem-se como maior utilizador o estado de São Paulo com 70% de suas cidades sendo abastecidas, parcial ou totalmente, pela água subterrânea, porém, ainda, estamos longe de um uso e gerenciamento da água subterrânea alcançada pelos países da Europa e EUA (VICTORINO, 2007).

Vale salientar que no Brasil se encontra os dois maiores aquíferos do mundo, um estudo preliminar, que forneceu indicações de que o Aquífero Alter do Chão seria o maior depósito subterrâneo de água potável do mundo. Com cerca de 86 mil km³, o manancial está localizado no subsolo dos estados do Amazonas, Pará e Amapá e teria volume suficiente para abastecer toda a população do mundo por, pelo menos, 300 anos. Porém, Ainda não é possível fazer comparações técnicas com o Aquífero Guarani, considerado o maior do mundo até então, com 45 mil km³ de água (Sociedade Brasileira de Geofísica-SBGF, 2010) (Figura 2).

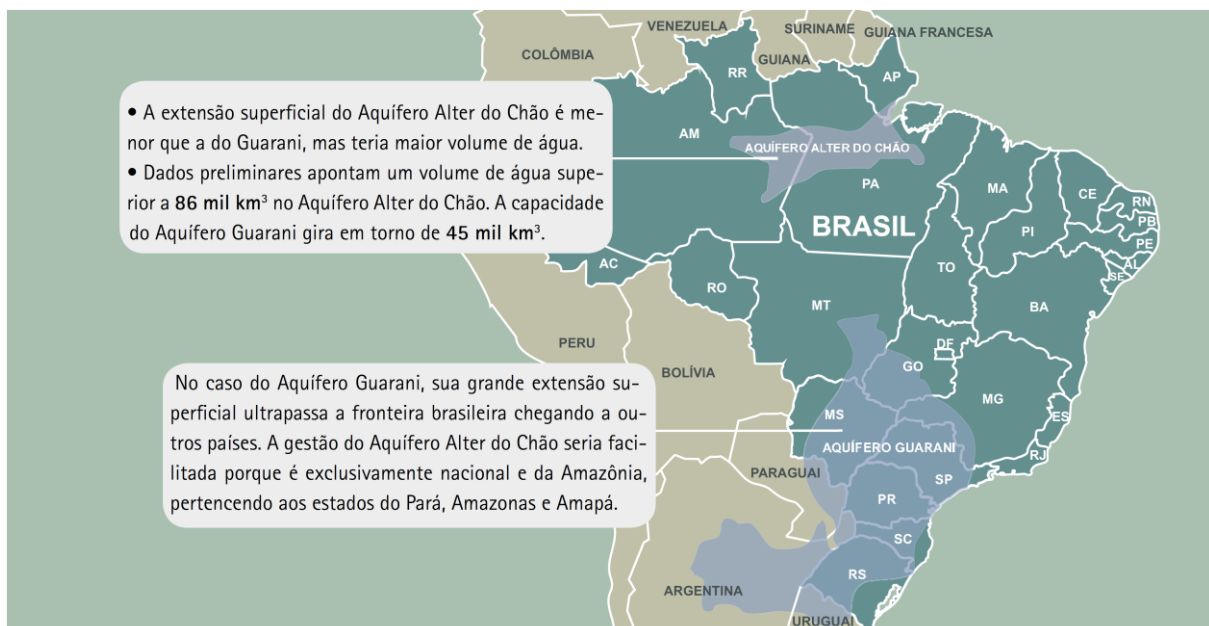


Figura 2. Localização dos aquíferos Alter do Chão e Guarani.

Fonte: Faculdade de Geologia/Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Estimava-se, que na década de 80, existiam 80.000 poços tubulares ativos no Brasil (além de outros milhares de poços rasos, escavados), que forneciam água para os mais diversos fins, sobretudo para abastecimento público. Centenas de núcleos urbanos, de portes variados, são hoje abastecidos exclusivamente por água subterrânea. Numerosos polos agroindustriais e agropecuários têm a água subterrânea como manancial prioritário para atendimento da demanda de água (FOSTER et al., 1988; MENESES, 2007).

As águas subterrâneas são utilizadas ainda como insumos industriais diretos, como no caso das empresas que capitam e vendem quantidades de águas subterrâneas sob a forma de água mineral e das empresas produtoras de bebidas. E em relação ao turismo, as águas subterrâneas termais são utilizadas como forma de estimulá-lo, como é de Calda Novas em Goiás, Araxá em Minas Gerais e Mossoró no Rio Grande do Norte (LIRA, 2005).

Na cidade de João Pessoa (PB), segundo a CAGEPA referentes ao ano de 2003, aproximadamente 10% de abastecimento público anual fornecido à cidade foi proveniente de poços operados pela Companhia, sendo este valor correspondentes a um volume de 5.426.839 m³ de água (LIRA, 2005).

2.2 ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS GEOGRÁFICOS

Geoprocessamento é um termo usado comumente e quase exclusivo no Brasil, provavelmente fruto de conflitos intelectuais entre as correntes europeias e americanas (ROSA, 2011). Denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Esta tecnologia, influência de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (CÂMARA, 1998).

Outrossim, a Geomática é a ciência que se utiliza de técnicas quantitativas e computacionais para a análise de informações espaciais que possui um sistema de coordenadas. No Brasil, o termo Geoprocessamento e Geomática se referem à mesma coisa, ou seja, Geoprocessamento é utilizado como sinônimo de Geomática (ROSA, 2011). Utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente em diversas áreas, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA et. al, 2001).

É costume dizer que Geomática é uma tecnologia transdisciplinar que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Ou ainda, que “o espaço é uma linguagem comum” para as diferentes disciplinas do conhecimento (CÂMARA et. al., 2001). Segundo Câmara et al. (2011), dentre as técnicas de Geomática mais utilizadas incluem-se:

- Modelo Digital de Terreno;
- Sensoriamento remoto;
- Sistemas de informação geográfica (SIG);
- Sistema de posicionamento global (GPS);
- Cartografia Digital;
- Geoestatística, etc.

As ferramentas computacionais são chamadas de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O SIG foi desenvolvido nos anos de 1960 como meio de sobrepor e combinar diversos tipos de dados em um mesmo mapa. Na década de 70, durante estudos do Laboratório Gráfico Computacional da Escola de Planejamento Urbano da Universidade de Harvard, surge um projeto pioneiro de SIG (SYMAP) que elaborava mapas de declividades com o auxílio de uma impressora matricial além de imprimir áreas mais ou menos escuras, de acordo com o número de vezes que preenchia cada região. O primeiro “software” a possuir funcionalidades de SIG, chama-se Odissey, desenvolvido pelo mesmo laboratório nos anos 70 (ANTUNES, 2012).

Consonante Câmara et al. (2003), o SIG é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, que armazenam a geometria e os atributos dos dados geográficos que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. Os autores relatam que em uma visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (Figura 3).

Câmara et al. (2003) afirma que a análise a distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço constitui hoje um grande desafio para elucidação de questões centrais em diversas áreas do conhecimento, seja em saúde, em ambiente, em geologia, em agronomia, entre tantas outras. Tais estudos vêm se tornando cada vez mais comuns na

atualidade, devido à disponibilidade de SIG de baixo custo e com interfaces amigáveis (CÂMARA et al., 2003).

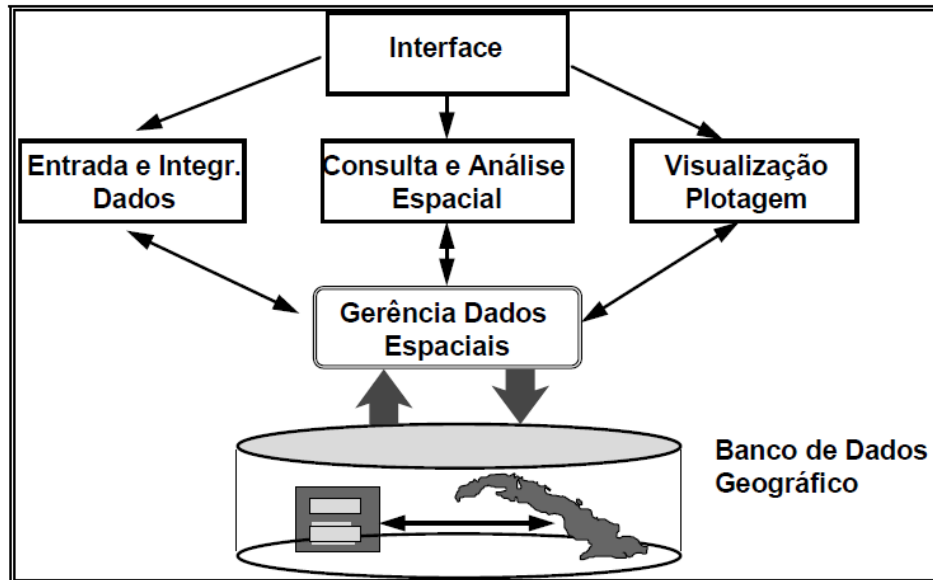


Figura 3. Arquitetura de Sistema de Informação Geográfica.
Fonte: Câmara et al. (2003).

Câmara (1998) esclarece que o SIG permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos. Num país de dimensão territorial de característica continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se utilizando tecnologias com custo relativamente baixo.

Esses sistemas permitem a representação espacial de variáveis quantitativas e qualitativas através de produtos cartográfico. Basta dispor de um banco de dados e de uma base geográfica, e o SIG é capaz de apresentar um mapa colorido permitindo a visualização do padrão espacial do fenômeno (CÂMARA et al., 2003).

A Geografia Quantitativa destaca a importância da Análise Espacial e Geoestatística e assim, conceitos advindos da Estatística Espacial passam a fazer parte do repertório dos geógrafos. Os procedimentos geoestatísticos como a krigagem é integrado aos estudos geográficos, inicialmente propostas para a modelagem de recursos naturais, atualmente vêm sendo cada vez mais utilizadas para análise espacial de dados socioeconômicos. Apesar da forte relação entre os conceitos da Geografia Quantitativa e o Geoprocessamento, apenas a partir de

meados da década de 90, os SIG passam a dispor de representações computacionais adequadas (CÂMARA et al., 2001).

Foi a partir do engenheiro de minas Daniel G. Krige, após trabalhar com dados de concentração de ouro na África do Sul, concluiu empiricamente que a informação dada pela variância seria insuficiente, pois, era preciso considerar a distância entre as observações (KRIGE, 1951). As ideias de Krige recebe tratamento formal por Matheron (1963, 1971) nos anos 60 do século passado, na França com a denominação de geoestatística, para analisar as chamadas variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial.

Nesse contexto, Matheron (1969) define a geoestatística como a aplicação da teoria das variáveis regionalizadas na estimação dos depósitos mineiros (com todas as aproximações que estas implicam). Assim, um fenômeno é regionalizado quando está inserido no espaço, manifestando certa estrutura, as ciências da terra, entre outras, proporcionam numerosos exemplos. Si $f(x)$ designa o valor em um ponto x de uma característica f deste fenômeno, diremos que $f(x)$ é uma variável regionalizada. Trata-se de um termo neutro e descritivo da interpretação probabilística.

A geoestatística, preocupa-se com o entendimento analítico quantitativo, da gênese e leis naturais que governam fenômenos interpretados como regionais, procura extrair de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais do fenômeno regionalizante, ou seja, uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no tempo estudado. Isso traz como efeito direto, a estimativa das variáveis regionais usando informações e relações a partir de um conjunto discreto de amostras, juntamente com a avaliação dos erros de estimativa, para estabelecer o grau de segurança em previsões e os padrões ótimos de amostragem, que assegure um erro máximo de estimativa e não seja excedido (LANDIM, 2000; LANDIM, 2006).

Landim et al. (2002) discutem que fundamentalmente baseia-se nos seguintes pressupostos: **Ergodicidade** - a esperança referente à média de todas as possíveis realizações da variável é igual à média de uma única realização dentro de certo domínio; **Estacionariedade** - na região em que se pretende fazer estimativas, o fenômeno é descrito como homogêneo dentro desse espaço; **Hipótese intrínseca** - as diferenças entre valores apresentam fraco incremento, isto é, as diferenças são localmente estacionárias.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

O município de João Pessoa (34°49'56" W, 7° 05'46" S), capital do estado da Paraíba (Nordeste do Brasil) possui uma área de 211,47 km², localizando-se no leste paraibano, limita-se ao norte com o município de Cabedelo, a sul com o Conde, a oeste com Bayeux e Santa Rita e a leste com a plataforma oceânica Atlântica (IBGE, 2010; MENESES, et al., 2011) (Fig. 4).

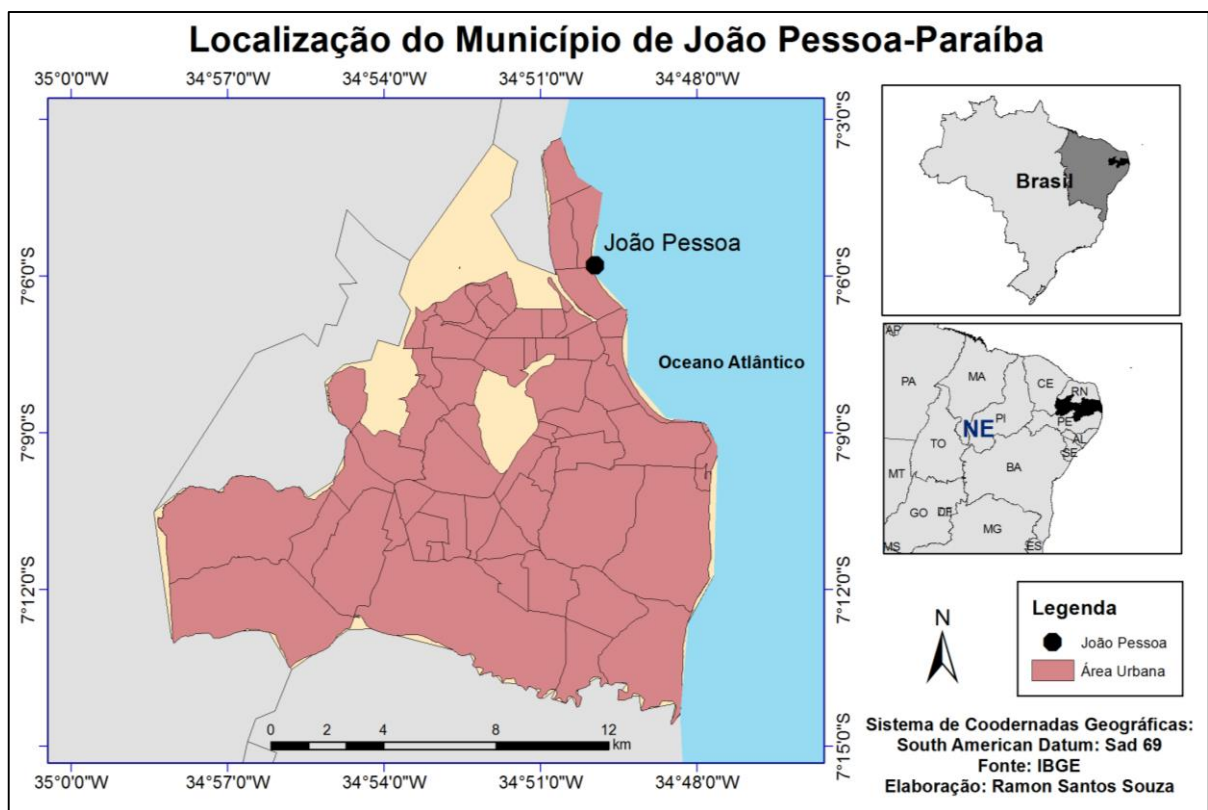


Figura 4. Localização geográfica da área de estudo, com destaque para o adensamento urbano no município de João Pessoa (Paraíba, Nordeste do Brasil).

Fonte: Adaptado do IBGE 2007 e 2010.

O acesso foi cortado pelas rodovias BR 230 e BR 101, e servido pelo Aeroporto Castro Pinto, no município de Bayeux (região metropolitana de João Pessoa). Cerca de 51,2% das ruas e avenidas que integram o sistema viário de João Pessoa estão pavimentadas (RIBEIRO FILHO; SOARES, 2004). A população atual do município de João Pessoa é estimada em 723.514 habitantes (IBGE, 2010). A tabela 1 apresenta uma síntese da evolução populacional do município no período de 1970 a 2010. Há um grande adensamento humano nas áreas urbanas

da cidade chegando, entre 1991 a 2000 a população urbana era de 100% e sempre a população rural foi menor que a urbana.

Tabela 1. Síntese demográfica do município de João Pessoa no período entre 1970 a 2010.

ANO	1970	1980	1991	2000	2010
RURAL	7.955	3.360	0	0	2.725
URBANA	213.591	326.582	497.600	597.934	720.789
TOTAL	221.546	329.942	497.600	597.934	723.514

Fonte: IBGE - Censos Demográficos, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

A área urbana do município está hoje dividida administrativamente em 64 bairros, os quais apresentam diferentes características físicas, demográficas e econômicas, o que nos reporta destacar que vem ocorrendo uma maior demanda de água nessa região (IBGE, 2010).

3.2 ASPECTOS GEOAMBIENTAIS

O município está sob o domínio do Clima Tropical quente-úmido, do tipo As', segundo a classificação do pesquisador alemão Köppen, caracterizada por uma precipitação anual de 1.800 mm, com uma maior concentração de chuvas no final da estação do outono e início do inverno, entre os meses de maio, junho e julho, sendo junho o mês de maior concentração pluviométrica (SOBREIRA, 2010). A área está no domínio do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba (SANTANA, 2011). A mesma encontra-se inserida no Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba – CBH-PB de acordo com o DECRETO N° 27.560, de 4 de setembro de 2006.

De acordo com Meneses (2007), o território de João Pessoa faz parte da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, constituída por uma sequência relativamente pouco espessa de sedimentos e distribuída ao longo da faixa litorânea do estado da Paraíba e de parte do estado de Pernambuco, podendo atingir cerca de 40 km de largura. Segundo Assis (1985), o município encontra-se coberto por uma sequência sedimentar cenozoica, constituída por litologias do Terciário, representado pelo Grupo Barreiras, e do Quaternário, por aluviões, sedimentos de

praia, mangues e areias quartzosas Os aquíferos² da região são representados pelos Aquíferos Beberibe e Barreiras. Com base nas informações e dados levantados por Batista (2010) pela pesquisa modelo hidrogeológico conceitual da área de estudo, são relatadas a seguir:

- Formação geológica ocorrentes: Barreiras, Sedimentos Aluviais e Flúvico marítimos, Gramame e Beberibe (inferior e superior);
- Composição do Sistema Aquífero: um subsistema superior, livre, em toda a extensão constituída pelas formações Barreiras (na parte dos Tabuleiros Costeiros) e os sedimentos Aluviais e Flúvio-marítimos (na planície Costeira). Um subsistema confinado, inferior, também em toda a extensão da área de estudo, constituído pelas formações Beberibe superior e inferior (confinado).
- A formação Gramame, separada por dois subsistemas e serve como camada confinante da parte superior do Aquífero Beberibe;
- O Embasamento Cristalino serve como camada confinante da parte interior do Aquífero Beberibe;
- O aquífero livre é recarregado pelas chuvas e sistemas fluvial que descarrega neste e diretamente no mar;
- A recarga do aquífero confinado ocorre exclusivamente em alguns trechos da fronteira deste (parte noroeste e sudeste) através do fluxo subterrâneo horizontal proveniente do sistema atmosférico (precipitação e evaporação). A descarga do aquífero confinado ocorre diretamente ao mar (Figura 5).

O sistema do Aquífero Beberibe é o mais importante da região. É um aquífero do tipo confinado que apresenta boa qualidade de suas águas e que tem sido explorado de forma crescente para fins de abastecimento humano na grande João Pessoa (SANTANA, 2011). Sua camada confinante é representada pela Formação Gramame (MENESES, 2007). Aflora nos estados de Pernambuco e Paraíba, ocupando uma área aproximada de 318 km². Os poços que captam águas desse aquífero possuem uma vazão específica média em torno de 3 m³/h e vazões médias de 58 m³/h (COSTA, 1998). A recarga deste aquífero ocorre, principalmente, por infiltrações da precipitação pluviométrica, na área de afloramento da Formação Beberibe e, secundariamente, por infiltração vertical descendente, na porção confinada (BARBOSA, 2007).

² Formação ou corpo geológico que contém água e a pode ceder em quantidades economicamente aproveitáveis (ALMEIDA et al., 2000).

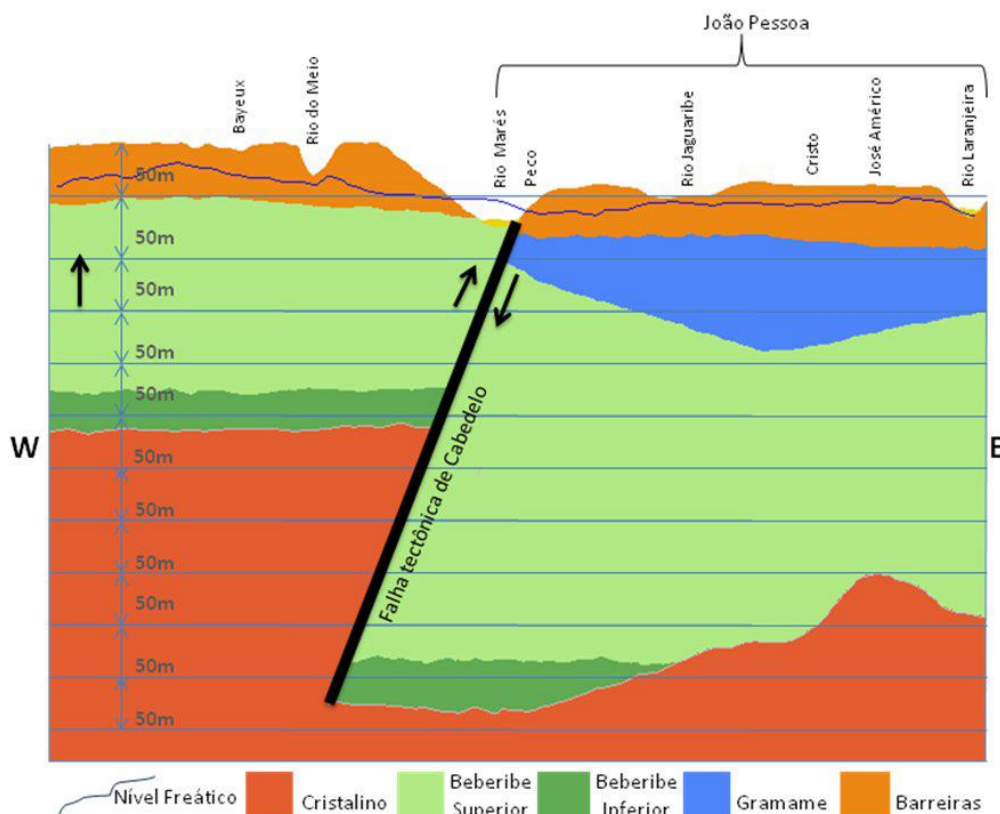


Figura 5. Corte Geológico da Bacia Sedimentar Costeira PE-PB.

Fonte: Projeto ASUB, 2009.

O sistema do Aquífero Barreiras tem ampla distribuição na costa brasileira, aflorando de forma descontínua desde a região Norte até a Sudeste. Constitui um aquífero livre que ocupa uma área de 176.532 km² (MENESES, 2007). É constituído de sedimentos continentais costeiros de idade terciária (Mioceno-Plioceno), que formam extensos tabuleiros, frequentemente cortados por falésias junto à linha de costa. Os principais constituintes litológicos na área são arenitos maduros, arenitos conglomerativos com intercalações de silicatos e folhelhos, variando de alguns centímetros a dezenas de metros. A espessura do pacote sedimentar é superior a 150 metros, com média de 60 metros (COSTA, 1994). A sua recarga se faz por infiltração direta da precipitação ao longo de sua área de cobertura, podendo-se estimar um coeficiente de infiltração de 10 a 30% da precipitação anual (LIRA, 2005).

Este sistema tem grande participação no abastecimento de várias capitais brasileiras, particularmente das capitais litorâneas nordestinas de São Luís, Fortaleza, Natal e Maceió, além de Belém, na região norte do país. O abastecimento com base em águas subterrâneas, geralmente, é adotado como forma complementar de abastecimento das áreas urbanas ou como forma de redução de custos em condomínios residenciais (MENESES, 2007).

No que se refere o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/97, tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (Art. 11). No estado da Paraíba a Lei nº 7.779/05 cria a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA (Art. 1º). No Art. 3º fica estabelecido os objetivos da AESA o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais de domínio do estado da Paraíba, de águas originárias de bacias hidrográficas localizadas em outros estados que lhe sejam transferidas através de obras implantadas pelo Governo Federal e, por delegação, na forma da Lei, de águas de domínio da União que ocorrem em território do estado da Paraíba.

Depende de cadastramento e da outorga do direito de uso pelo Órgão Gestor, a derivação de água de seu curso ou depósito superficial ou subterrâneo, para fins de utilização no abastecimento urbano, industrial, agrícola e outros, bem como, o lançamento de efluentes nos corpos de água, obedecida a legislação federal e estadual pertinente (lei n.º 6.308/96, Art. 16).

O Quadro 1, apresenta um panorama nacional e do estado da Paraíba sobre a regulamentação de uso racional dos recursos hídricos dos aquíferos localizados em João Pessoa (PB), tendo como formas de normalização leis, resoluções e decretos.

A localização dos poços em João Pessoa possui características de uma concentração setorial polarizada e que estão preferencialmente situados no perímetro urbano. Admite-se para tal situação, o aumento da população urbana o que justifica a quantidade de poços perfurados nos anos entre 1957 a 2006. Assim sendo, as demandas de água subterrânea atendem necessariamente os espaços públicos, condomínios, bairros residências e indústrias

Quadro 1. Panorama Nacional e do estado da Paraíba das Leis, Resoluções e decretos sobre os recursos hídricos.

<p style="text-align: center;">Legislação Federal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • O Código de Águas de 1934, que foi a primeira legislação específica do país sobre o assunto, prevê no seu Art. 43, a concessão administrativa para fins de utilidade pública das águas derivadas para uso na agricultura, indústria e higiene, e a autorização administrativa para outros fins. • Na Constituição Federal de 1988, consta, entre outras colocações sobre recursos hídricos: Art. 21. Compete à União: XIX - Instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de direito de seu uso. • A Lei nº 9.433, de 08.01.1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, na sua Seção III, Arts. 11 a 18, disciplina a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. • Lei nº 12.787/13 institui a Política Nacional de Irrigação, a ser executada em todo o território nacional (Art. 1º). • Resolução CNRH 15/01 Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. • Resolução CNRH 22/02 Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos. • Resolução CONAMA 20/86 Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. • Resolução CONAMA 357/05 Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. • Resolução CONAMA 396/08 Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
<p style="text-align: center;">Legislação do estado da Paraíba</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lei nº 6.308/97 - institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. • Lei nº 7.779/05 - cria a Agência de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA e, no seu Capítulo I, Art. 5º, fala sobre a outorga de direito de uso dos recursos hídricos em corpos d'água de domínio do Estado. • Decreto nº 19.260/97 - regulamenta a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Decreto no 25.563/04 - estabelece Critérios e Valores para Compensação dos Custos da Outorga. • Decreto nº 26.224/05 - dispõe sobre a regulamentação e a estrutura básica da AESA e, no seu Capítulo III, Seção XIV, Art. 17, fala sobre as competências da Gerência Executiva de Outorga e Licença de Obras Hídricas.

Fonte: Adaptado de AESA (2007); GUIMARÃES e RIBEIRO (2009).

2.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

A metodologia partiu, inicialmente, do levantamento bibliográfico que consistiu de levantamento de fontes pré-existentes, análise de relatórios técnicos, monografias, dissertações, teses, artigos (periódicos e de reuniões científicas) e obras que tratam de aspectos teóricos e práticos da Estatística e Geoestatística, além de acervo com referência a Hidrogeologia. Foi uma atividade constante ao longo do desenvolvimento da pesquisa para formação e atualização das bases teóricas e conceituais que nortearam a pesquisa.

A segunda etapa, constou de levantamento das bases cartográficas digitais, no formato *.shp, junto a Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de João Pessoa – PMJP, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e o Ministério do Meio Ambiente – MMA. Os dados hidrodinâmicos foram provenientes de 239 poços tubulares³ cadastrados em João Pessoa, obtidos nos arquivos públicos disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS/CPRM). Foi utilizado os valores do nível estático, que segundo a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (1998), é a profundidade do nível da água dentro do poço, quando não está em bombeamento por um bom período de tempo. Medido, geralmente, em metros (m) em relação à boca do poço (Figura 6).

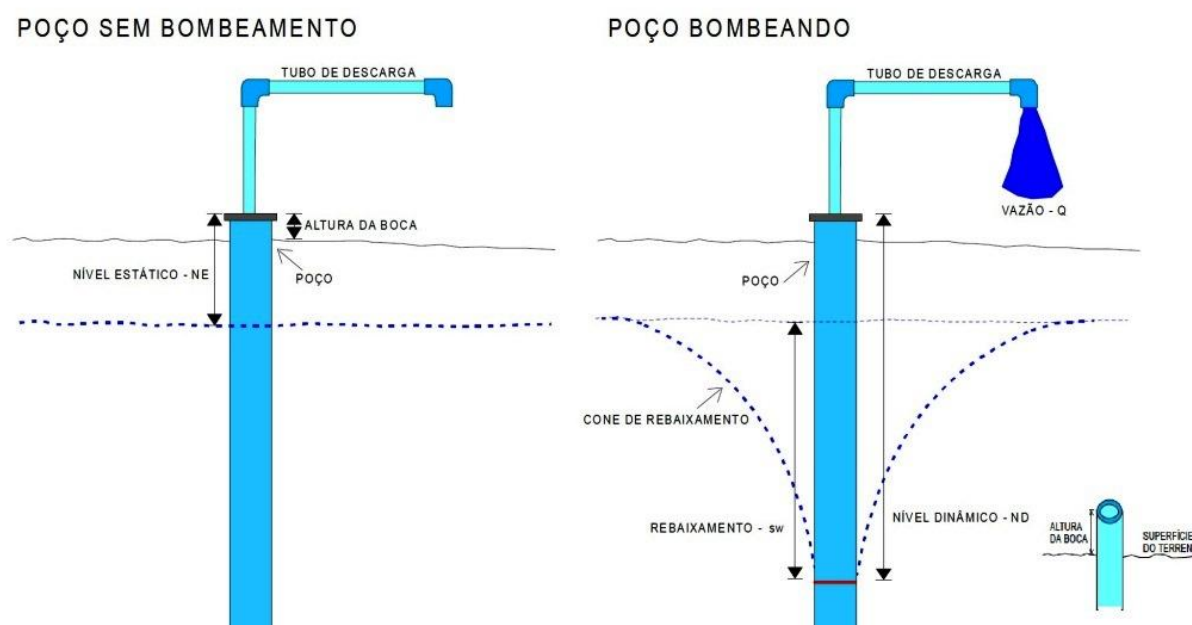


Figura 6. Exemplo de sistema de bombeamento e de perfis de níveis hidrodinâmicos de poços tubulares. **Fonte:** CPRM, 1998.

³ Também conhecido como poço artesianiano, é aquele onde a perfuração é feita por meio máquinas perfuratrizes à percussão, rotativas e rotópneumáticas. Possui alguns centímetros de abertura (no máximo 50 cm), revestido com canos de ferro ou de plástico (CPRM, 1998).

Na terceira etapa, foi realizada a compilação, organização e estruturação dos dados previamente selecionados o que reduziu o universo amostral de 239 para 140 poços, em virtude de alguns não apresentarem os pares de coordenadas e algumas variáveis de interesse para a pesquisa (Figura 7). O banco de dados foi organizado em uma planilha no Microsoft Excel 2010[®], para se realizar a malha amostral do nível estático.

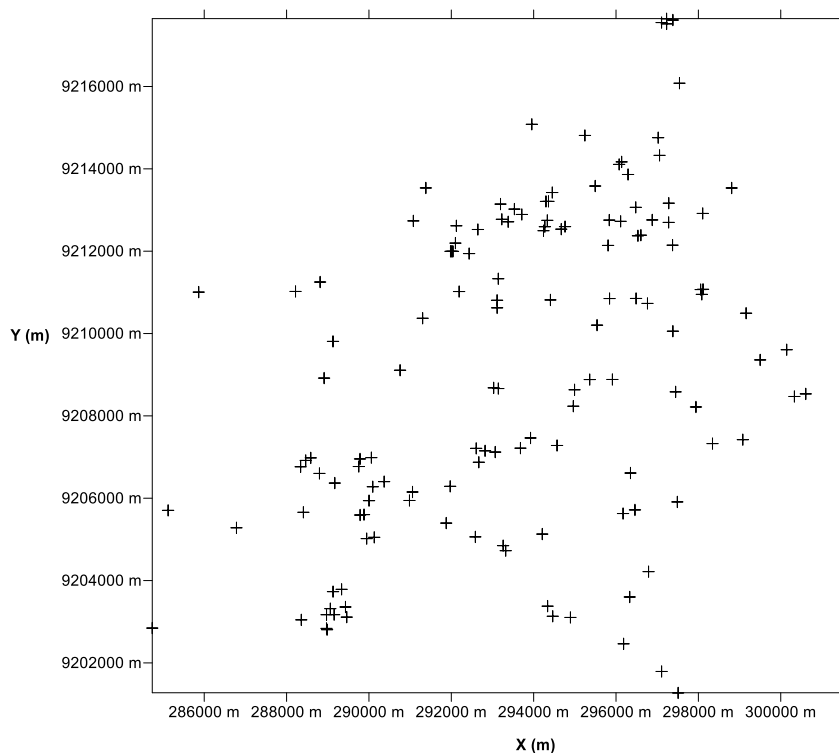


Figura 7. Malha amostral dos poços tubulares, representada com coordenadas UTM.

Fonte: SIAGAS/CPRM (2006).

O SUFER[®] é um pacote de programas gráficos comercial desenvolvido pela *Golden Software inc.* que pode ser utilizado para o cálculo e confecção de mapas de variáveis a partir de dados regularmente distribuídos. É uma importante ferramenta para o técnico ou pesquisador, já que facilita o seu trabalho, evitando traçar mapas com réguas, transferidores e outros instrumentos, reduzindo o tempo desse processo e sendo menos subjetivo, pois usa algoritmos matemáticos para gerar suas curvas, otimizado o trabalho do usuário. Inicialmente desenvolvido em plataforma DOS[®] e posteriormente com a versão 6 passou a ser executado na plataforma WINDOWS[®] (LANDIM et al., 2002).

O Statistical Package for Social Science for Windows (SPSS) é um software para análise estatística de dados, em um ambiente amigável, utilizando-se de menus e janelas de diálogo,

que permite realizar cálculos complexos e visualizar seus resultados de forma simples e autoexplicativas. A primeira versão data de 1968.

García (2004) afirma que todo trabalho geoestatístico deve-se levar em conta três etapas: **análises exploratórias** - estuda os dados amostrados em relação com sua distribuição geográfica, seria uma etapa de aplicação da estatística, comprovando a consistência dos mesmos, eliminando-se erros e identificando-se as distribuições provenientes; **análise estrutural** - esboço da continuidade espacial da variável, se calcula o semivariograma, outra função que explique a variabilidade espacial e se ajusta ao mesmo um semivariograma teórico; **predições** - estimações das variáveis nos pontos amostrados, considerando a estrutura de correlação espacial selecionada e integrando a informação obtida de forma direta nos pontos, assim como a conseguida indiretamente em forma de tendências conhecidas.

Nos estudos estatísticos utilizou-se o programa SPSS 7.5® para os cálculos dos parâmetros como a média (\bar{X}), a variância, o desvio padrão (S), entre outros. Esses parâmetros mereceram atenção especial, pois ao serem analisados representam uma primeira interpretação da natureza das distribuições ocorridas nos aquíferos. Foi utilizado o 1º Coeficiente de Pearson $AS = \frac{\bar{X} - M_0}{S}$, para se para calcular o coeficiente de assimetria (AS) (AS = 0, diz-se que a distribuição é simétrica; AS > 0, diz-se que a distribuição é assimétrica positiva, à direita; AS < 0, diz-se que a distribuição é assimétrica negativa, à esquerda) (CORREA, 2003).

Silva e Chaves (2001) recomendam que para verificar a aderência ou não dos dados a distribuição normal, deve aplica-se o teste de Komolgorov-Smirnov (KS) a nível de 1% de probabilidade, o qual consiste para Costa Neto (1997) o teste KS consiste no cálculo das diferenças entre a probabilidade das variáveis normais reduzidas e a probabilidade acumulada dos dados experimentais. Segundo o autor, se o valor calculado em módulo for menor que o tabelado a distribuição experimental é aceita como aderida a distribuição normal. Par um número de amostras maior que 50 tem-se que: $KS = \sqrt{-1n (p/2)/2n}$, em que: KS = Diferença máxima admitida entre a curva experimental e a aleatória; p = Nível de significância; n = Número de amostras.

Para analisar como os dados estão se comportando conforme várias distâncias estipuladas, bem como se obter o grau de dependência espacial da variável, e também definir os parâmetros necessários para estimar as características em locais não amostrados, utilizou-se um gráfico de $\gamma(h)$ por h denominado de Variograma. Segundo García (2004), é representado como:

$$g(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(X_i) - Z(X_i+h)\}^2 \quad (1)$$

Em que: $Z(x_i)$ representa os valores amostrados nos pontos x_i , em que se têm dados tanto em x_i como x_i+h ; $N(h)$ é o número de pares de dados separados por uma distância h . Na prática, se define um número finito de distâncias, h_j , e se assinala o cálculo de $g(h_j)$ com todos os pares de valores contidos em um intervalo $(h_j - D h_j, h_j + D h_j)$. Dessa forma, se obtém o denominado variograma experimental.

Após o ajuste da função que define os parâmetros do variograma, destaca-se: o efeito pepita (C_0), que é o valor de quando $h=0$; quando h aumenta frequentemente, aumenta até uma distância a , chamada de alcance (a) da dependência espacial; e a partir da qual (h) neste ponto é chamado de patamar ($C+C_0$), cujo valor é aproximadamente igual à variância dos dados (GENÚ, 2004), porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância (CAMARGO, 2001), se ela existe, e é obtido pela soma do efeito pepita e a variância estrutural (C) (GENÚ op. cit.).

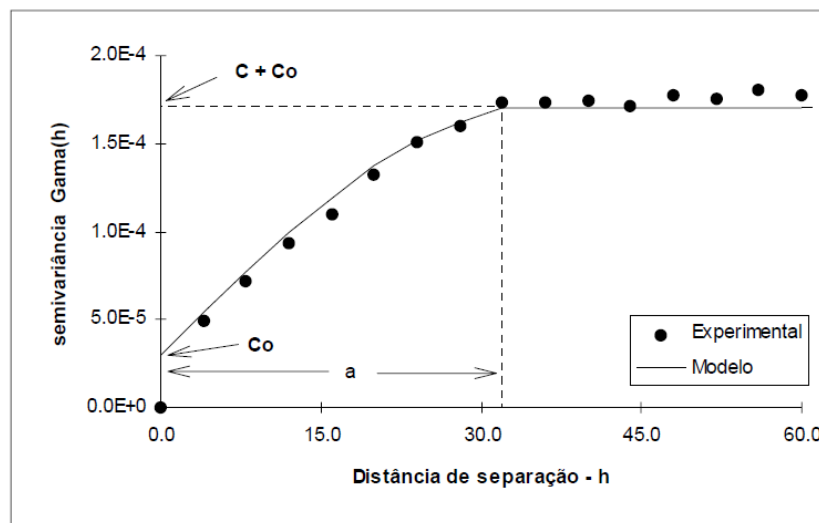


Figura 8. Exemplo de um semivariograma.
Fonte: adaptado de GENÚ, 2004.

O modelo matemático utilizado nesta pesquisa foi o Esférico, o mais utilizado na literatura, representado por sua equação normalizada:

$$Sph(|h|) = \begin{cases} 0 & \text{se } |h| = 0 \\ 1,5 \left(\frac{|h|}{a}\right) - 0,5 \left(\frac{|h|}{a}\right)^3 & \text{se } 0 < |h| < a \\ 1 & \text{se } |h| \geq a \end{cases} \quad (2)$$

sendo o variograma esférico,

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & |h|=0 \\ C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right] & 0 < |h| \leq a \\ C_0 + C_1 & |h| > a \end{cases} = C_0 + C_1 [\text{Sph}(|h|)] \quad (3)$$

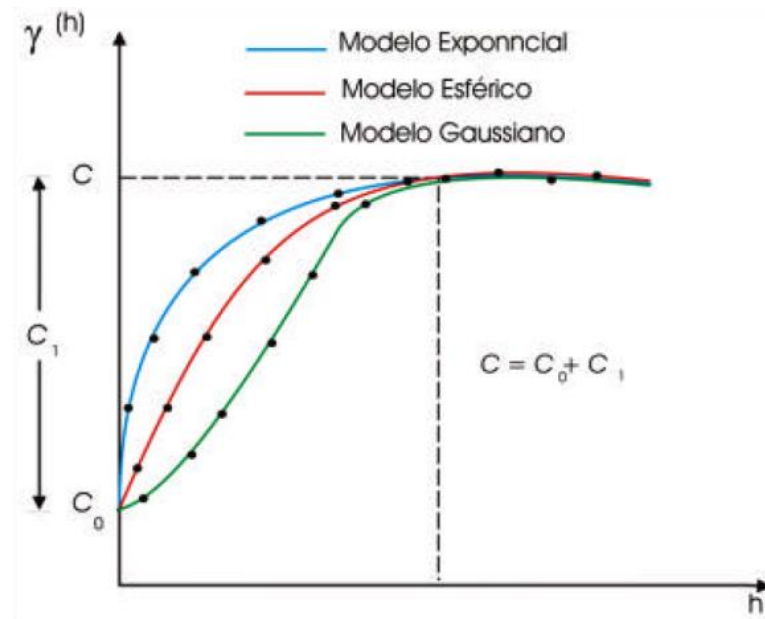


Figura 9. Representação gráfica de semivariogramas experimentais e modelos teóricos.

Fonte: Modificada de ISAAKS e SRIVASTAVA (1989).

Para Landim (2006), Krigagem é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, e/ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo variograma. Trata-se, em último caso, de um método de estimativa por médias móveis. A interpolação do tipo ordinária que representa uma estimativa linear das variáveis regionalizadas distribuídas no espaço que satisfaz a hipótese intrínseca (LANDIM, 1998), sendo as diferenças entre valores de fraco incremento, isto é, as diferenças são localmente estacionárias (LANDIM et al., 2002). É a variação mais utilizada da Krigagem Simples, descrita por Trangmar et al. (1985), em que o valor interpolado de uma variável regionalizada $Z(x_0)$, num local x_0 , pode ser determinada por:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i \times Z(x_i)] \quad (4)$$

Onde: n = número de pontos; \hat{Z} = valor estimado para local não amostrado; $Z(x_i)$ = valor obtido por amostragem no campo; λ_i = peso associado ao valor medido na posição x_i .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados na Tabela 2 os resultados das medidas estatísticas descritivas do Nível Estático (NE). Pode-se observar uma média de 27,4 m (metros), um valor mínimo de 0 m e máximo de 79,4 m, uma mediana de 25 m (Figura 10). Demonstra ainda que 25% dos dados apresentam valores inferiores a 17 m e 75% dos dados abaixo de 38,62 m, evidenciando uma longa faixa do NE próximo a 38 m. Devendo haver nos locais onde o nível é próximo da superfície algumas restrições quanto aos usos dos solos e da qualidade hídrica.

O nível estático apresenta uma curtose de 0,103. O coeficiente de variação apresentou um valor de 0,53 sugerindo alta dispersão dos dados $\geq 30\%$, essa variável pode ser considerada como irregular. O teste de KS - Kolmogorov-Smirnov, sugeriu um valor de 0,074. A curtose proporcionou um valor $< 0,263$ o que indica que a distribuição de frequência dos dados é leptocúrtica, ou seja, curva bastante pontiaguda e alta (Figura 11).

Tabela 2. Estatística descritiva da profundidade do nível estático nos anos de 1970-2006.

Número amostral	140
Medidas de posição	(m)
Mínimo	0
Máximo	79,48
Média (\bar{X})	27,43
1° Quartil (25%)	17
Mediana (50%)	25
3° Quartil (75%)	38,625
Medidas de dispersão	
Variância	216,9949
Desvio padrão (S)	14,73075
Medidas de distribuição	
Coef. de variação	0,53687
Curtose (K)	0,103
Teste KS*	0,074

Obs. *KS - Kolmogorov-Smirnov.

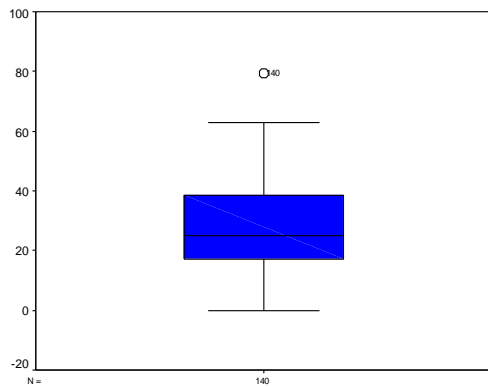


Figura 10. Representação gráfica das distribuições do nível estático nos anos de 1970-2006.

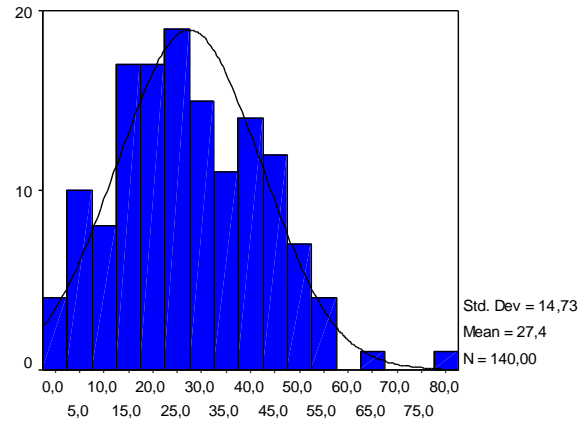


Figura 11. Histograma de frequência do nível estático nos anos de 1970-2006.

O gráfico da figura 12 mostra a variação da mediana da profundidade do NE nos intervalos de tempo definidos anteriormente. Há uma diferença significativa entre os valores da 1970 e os valores dos dois períodos seguintes. A média da profundidade do NE na década de 1970 foi 27,44 m, na década de 1980 é 26 m e de “1990-2006” é 26 metros. Observa-se ainda que nos períodos mais atuais a tendência foi perfurar poços em lençóis freáticos mais subsuperficiais.

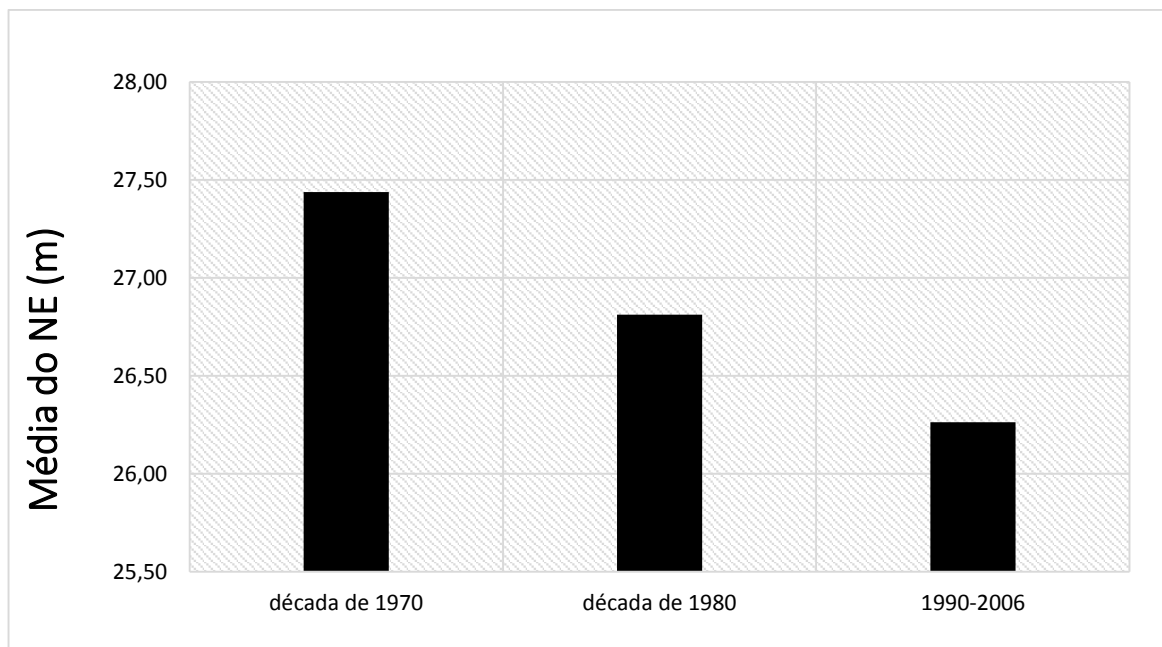


Figura 12. Variação da profundidade média do NE ao longo dos intervalos de tempo de 1970-2006.

Os poços concentram-se nas áreas urbanizadas, demonstrado a sua importância para atender a demanda hídrica do município. A maioria dos poços foram perfurados e equipados durante o regime militar brasileiro, que segundo Beal (2010), nesse período, que patrioticamente descrevia o país sob seu comando como “Brasil Grande”, esse regime apresentou suas iniciativas de obras públicas como uma forma de direcionar o país no caminho do “progresso” (Figura 13).

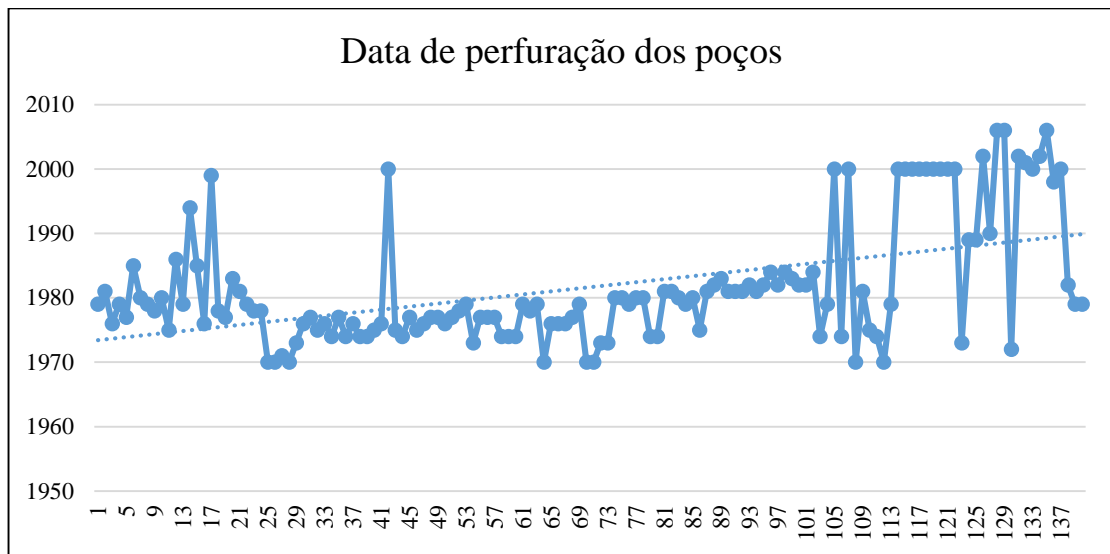


Figura 13. Distribuição Temporal de perfurações dos poços dos intervalos de tempo de 1970-2006 no município de João Pessoa (PB).

Através da interpretação do mapa geral da distribuição geográfica dos poços perfurados e cadastrados observa-se uma concentração preferencial na porção centro-norte, coincidindo com o vetor histórico de ocupação da área pesquisada, logo esse perímetro é formado por bairros mais antigos, e de poder aquisitivo médio a privilegiado, ficou evidente a preferência dos órgãos responsáveis pela perfuração dos poços em planícies fluviais, ao qual apresenta lençol freático superficial (Figura 14).

Meneses et al. (2011) discute que o ritmo acelerado de urbanização do município dificulta o processo de planejamento do uso da terra, influenciando a ocupação de áreas inadequadas para tal e a incompatibilidade de usos. Juntamente com a expansão urbana ocorre também a concentração populacional e, conseqüentemente, uma maior demanda por serviços como abastecimento de água e saneamento básico.

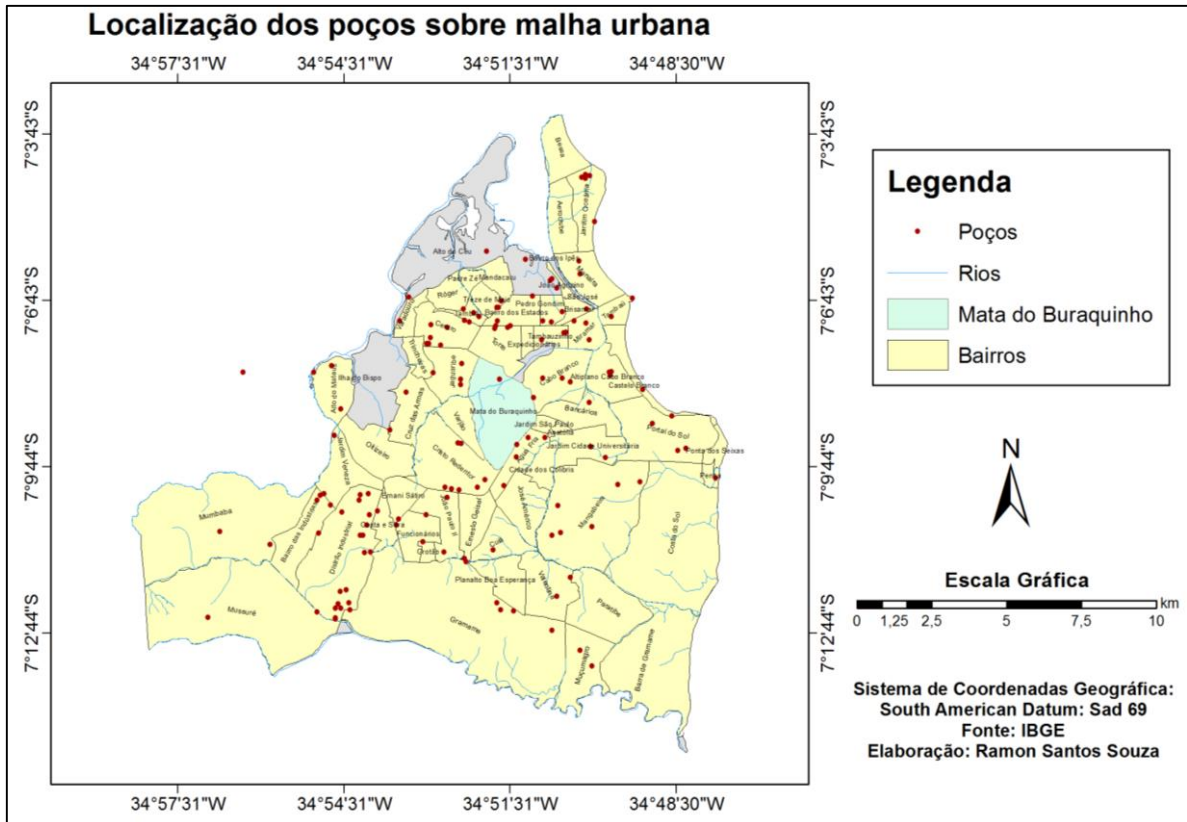


Figura 14. Mapa de Localização dos poços sobre a malha urbana de João Pessoa (PB).

Em João Pessoa a proximidade de alguns poços vai ter um impacto na modelagem variográfica e no alto efeito pepita⁴ resultante, principalmente pelos valores de Nível Estático mais altos no meio de valores mais baixos e vice-versa (Figura 15). O estudo realizado por Monteiro (2003) realizado sobre a estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), também demonstraram similaridades em relação a distribuição dos poços.

O variograma utilizado na krigagem subsequente foi construído com uma distância máxima dos passos (*lags*) de 8.000 m, largura de cada um deles de 1.000 m, foi interpretado como possuindo um efeito pepita, próximo ao valor 100, ao qual foi ajustado um modelo esférico, com patamar próximo de 116,99 m e alcance em torno de 4.200 m, a dependência espacial é moderada (Tabela 3).

A análise do variograma na direção 0°, com tolerância de 90°, cujos extremos são mostrados na mostrou que os resultados dos ajustes ao modelo esférico são satisfatórios para proceder a krigagem ordinária. Tal variograma, mostra a não estacionariedade⁵, com

⁴ É o valor da função variograma na origem ($h=0$), é, na realidade, uma descontinuidade á origem (ANDROTTI, 2002).

⁵ Estacionariedade significa estabilidade das séries temporais ao longo do tempo.

características heterogêneas dos níveis de estabilidade que a águas subterrâneas se apresentam na área (Figura 16).

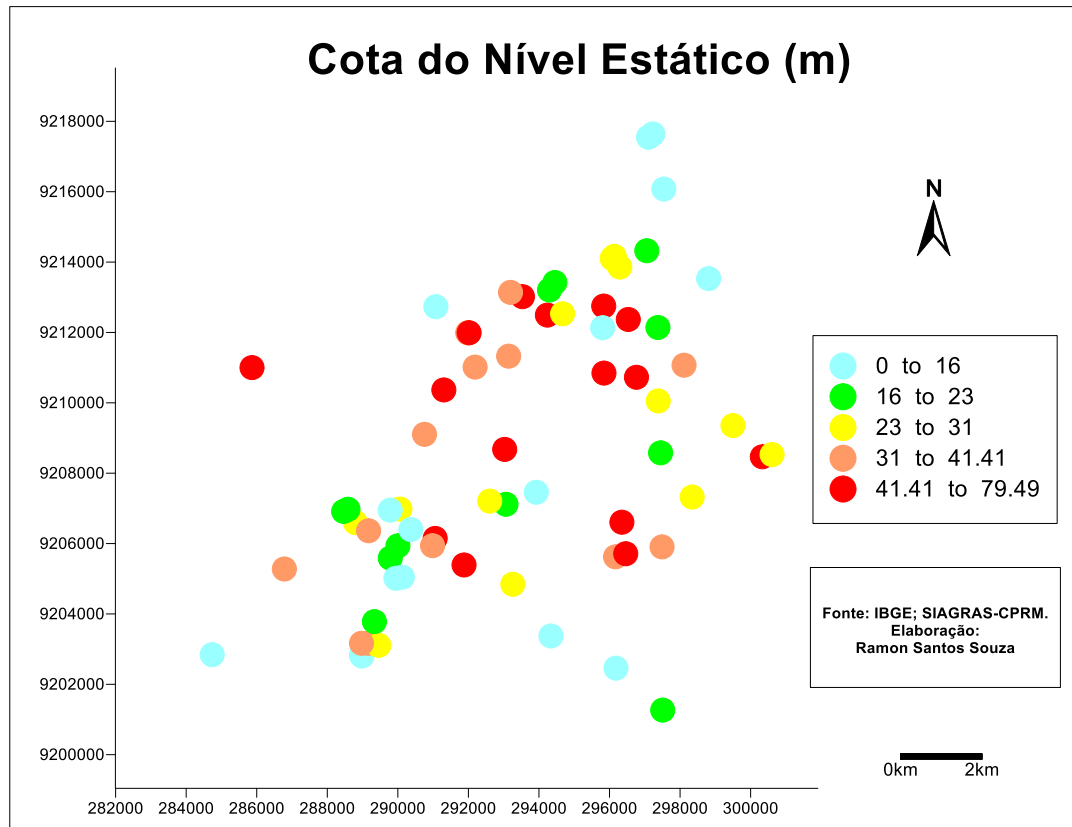


Figura 15. Cota do Nível Estático manipulado no SUFER 10 ®.

Ao analisar os pares de pontos utilizados no variograma, nota-se que a não estacionaridade é causada pelo contínuo aumento ou diminuição dos lenções freáticos de João Pessoa apresenta por causa de sua diversidade hidrogeológica, apresentando dos aquíferos confinados e livres do município.

Tabela 3. Parâmetros variográficos do nível estático dos reservatórios de águas subterrâneas do município de João Pessoa, Paraíba, Brasil.

Variável	Modelo	Co	C	A (km)	C/ Co+C	Dependência Espacial
Nível Estático	Esférico	100	116.99	4,2	0,53	Moderada

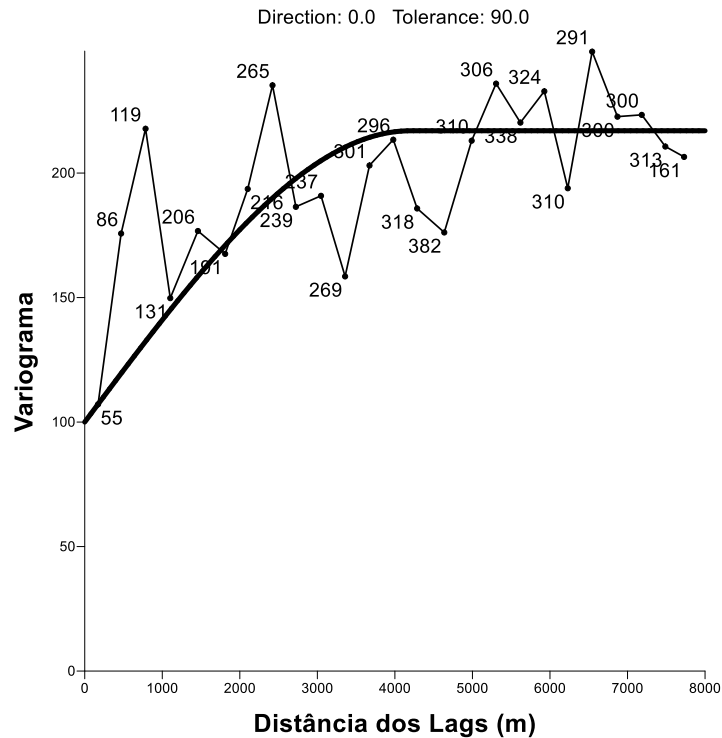


Figura 16. Variograma para os dados do NE dos poços tubulares de João Pessoa.

O mapa do atributo estimado pela Krigagem, apresentou valores do nível estático de 0 a 21 m nas interpolações atribuídas aos poços associados aos depósitos de sedimentos aluviais, mangues e de praias. De acordo com Lima et al. (2004), os aluviões dos rios Paraíba, Gramame, Capibaribe-Mirim e Botafogo e afluentes também fazem parte do conjunto aquífero Grupo Paraíba/Grupo Barreiras. São relativamente bem desenvolvidos e formam um sistema aquífero livre, de nível estático bastante próximo à superfície, com permeabilidade variável em função de sua gênese sedimentar, sendo relativamente explorados por poços amazonas de pouca profundidade. Hidrogeologicamente, recarregam os aquíferos profundos e, em certos trechos, são realimentados por estes (drenança vertical), o que corresponde aos locais onde, em subsuperfície, os fluxos de água estão dirigidos para cima (fluxos ascendentes) – locais propícios para captação de água subterrânea (Figuras 17 e 18).

A classe de 21 a 34 m se concentra, principalmente, na porção central do mapas e é também a área mais urbanizada e sujeita a diversos impactos ambientais sob as reservas subterrâneas além de possuir um grande impermeabilidade devido a cristalização urbana. A classe de 34 a 79 m localiza-se em menores faixas na direção oeste-noroeste, estando de acordo com Lira (2005) após interpolar 19 poços de forma automática no *ArcView*®, afirmou que o nível estático apresenta seu maior valor na área central 60 m, nas zonas litorâneas encontra-se os menores valores entre 26 e 36 m (Figuras 17 e 18).

Meneses (2007) define em seu trabalho, a classe de maior vulnerabilidade foi definida nas áreas onde os aquíferos são aflorantes ou estão muito próximos à superfície, como é o caso das áreas localizadas ao longo dos cursos d'água e na Planície Marinha. Na medida em que as profundidades se elevam, a vulnerabilidade se reduz. As áreas onde se apresentaram as maiores profundidades da zona não-saturadas localizam-se na porção extremo oeste do município estudado.

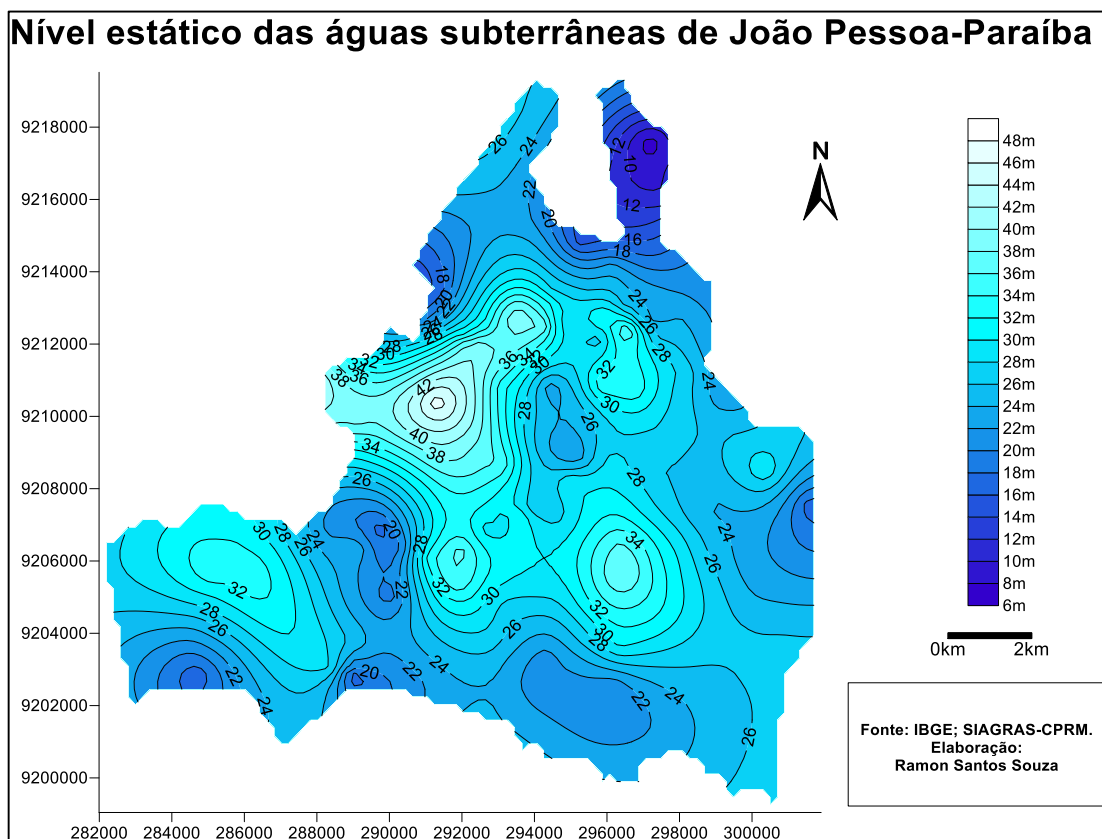


Figura 17. Mapa de isolinhas do Nível Estático interpolado no SUFER 10 ®.

O aquífero Barreiras (região central do município) se apresenta mais protegido que o segundo compartimento identificado, que corresponde às áreas compostas predominantemente de sedimentos arenosos, localizadas nas regiões de cotas mais baixas do terreno (MENESES, 2007). Segundo Lima et al. (2004) os sedimentos desse compartimento geomorfológico são também fontes razoáveis de recursos. Os poços perfurados sobre essa unidade atingem geralmente 60 metros e produzem em média 2 a 4 m³/h, sendo localmente recomendáveis à exploração de águas.

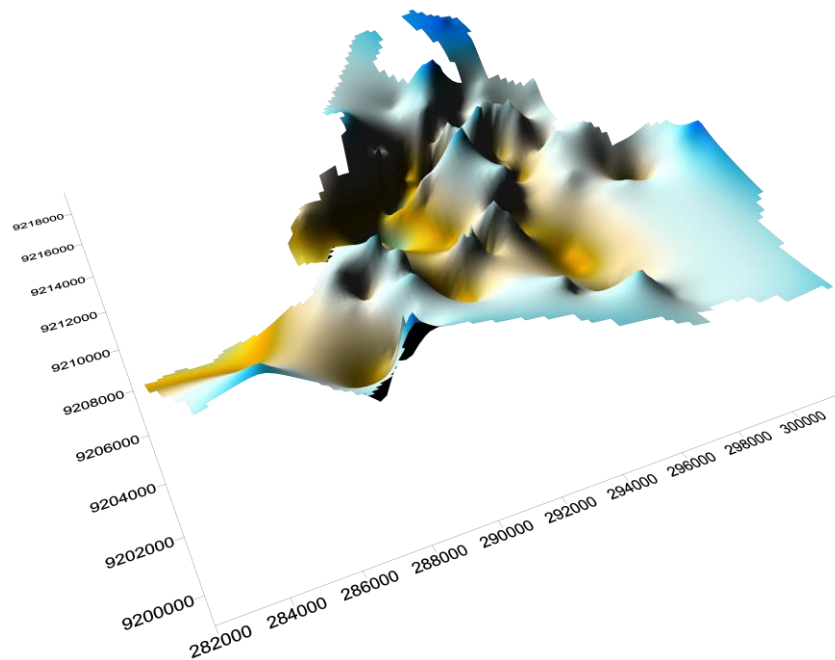


Figura 18. Mapa de 3D do Nível Estático interpolado no SUFER 10 ®.

Recorrendo aos estudos de Meneses et al. (2011), as áreas mais vulneráveis são aquelas onde predominam condições de forte infiltração ocasionadas pela textura dos solos que, sendo mais arenosos, apresentam maior quantidade de vazios e também de maior proximidade do nível freático em relação à superfície do terreno, o que torna o aquífero altamente propício à contaminação. Estas áreas localizam-se em sua maior parte na Planície Marinha e nos aluviões às margens dos cursos d'água. As áreas menos vulneráveis, por sua vez, distribuem-se nas encostas, fato este devido especialmente ao fator declividade do terreno, que propicia um maior escoamento superficial, em detrimento da infiltração das águas de chuva, dificultando a percolação de elementos contaminantes.

5 CONCLUSÃO

Portanto, as maiores profundidades do rebaixamento do nível d'água apresentados neste trabalho ocorrem por haver uma concentração de poços em bairros mais adensados, o que ocasiona uma demanda acelerada e crescente, sendo que quanto mais forem perfurados poços a tendência é o nível dinâmico baixar ainda mais e ocorrer o subdimecionamento da oferta hídrica no futuro vindouro.

Destarte, recomenda-se a elaboração de um zoneamento ambiental em consonância com a legislação vigente para mitigar as pressões sofridas sobre esse manancial, visto que pouco se conhece do atual estágio envolvendo os poços clandestinos na região em foco, além de realização também de trabalhos geofísicos visando avaliar melhor a direção preferencial do fluxo subterrâneo e estimação da reserva hídrica atual.

Pode-se verificar na zona urbana de João Pessoa que a água subterrânea possui uma grande tendência aos efeitos ambientais como cemitérios, disposição irregular de resíduos sólidos, postos de combustíveis, principalmente, onde os rebaixamentos dos níveis de água são mais superficiais. Admite-se também, que o maior rebaixamento subsuperficial pode estar associado ao estágio recente de exploração destes reservatórios hídricos.

A realização deste trabalho serviu de produção do conhecimento para subsidiar os gestores públicos na adequação de formas sustentáveis de uso e manejo dos aquíferos existentes. Já o emprego dos sistemas computacionais foi útil para levantar e elaborar avaliações a partir de cartogramas que notificam os aspectos hidrodinâmicos dos poços tubulares perfurados, entre 1970 a 2006.

Durante as análises, observou-se que os dados níveis estatísticos da área de estudo encontram-se moderadamente dependentes espacialmente e ainda influenciados pela formação geológica e geomorfológica da área, o que influencia na análise geoestatística. Assim, os produtos gerados possuem uma relevância para propor modelos de planejamento e gestão dos recursos hídricos disponíveis.

Espera-se no futuro uma exaustão hídrica subterrânea, dado o grande número de poços abertos em condomínios, carecendo de estudos para se mensurar a vazão dos poços e tomar medidas enérgicas a partir dos órgãos para tratar do assunto de forma séria com a sociedade.

REFERÊNCIAS

AESA, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Outorga de água e licença para implantação de obra hídrica**. 2007.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; BARBOSA, M. C.; AZEVEDO, S. G.; CARVALHO, A. M. O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável. **Revista Recursos Hídricos**, v. 32, n. 2, p. 53-61, 2011.

ALBUQUERQUE, H. R.; OLIVEIRA, J. E. C. A Importância das águas subterrâneas. **Revista ABASTECE**, nº 4, 999.

ANTUNES, A. F. B. **Iniciando em geoprocessamento**. 2012.

ASSIS, A. D. Geologia. In: EGLER, C. A. G. (Org.). **Atlas geográfico do estado da Paraíba**. João Pessoa: Grafset, 1985. p. 22-23.

BARBANTI, N.R.; PARENTE, K.S.P. Águas subterrâneas: alternativa para abastecimento. In: XXVIII Congresso interamericano de Ingeniería sanitaria y ambiental. **Anais**: Cancun, México, 2002. p.1-8.

BARBOSA, L. K. L. **Zoneamento de aquíferos através de delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: o caso da cidade de João Pessoa**. (Dissertação de mestrado), João Pessoa: UFPB/CT, 2007. 101 p.

BATISTA, M. L. C. **Modelagem do fluxo subterrâneo na bacia sedimentar costeira do baixo curso do rio paraíba**. (Dissertação de mestrado), Campina Grande: UFCG/ PPGECA, 2010.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Decreto-lei nº 7.841, de 8 de agosto de 1945**. Código de águas minerais.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

CÂMARA, G. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. INPE.1998. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/>.

CÂMARA, G. MONTEIRO, A. M. V. MEDEIROS, J. S. Fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 05/02/14.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.V.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.V.; CARVALHO, M. S.; DRUCK, S. **Análise espacial de dados geográficos**. 2ª ed. (online), 2003. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Noções básicas sobre poços tubulares: cartilha informativa**. 1998.

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L. MONSORES, A. L. M. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários**. Rio de Janeiro: SEMADS 2001. 70p.

COLERIDGE, S. T. O ciclo hidrológico In: SIEVER, P.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4ª ed. São Paulo: Bookman, 2006.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística**. 2ª ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003. 116 p.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS CNRH. **Resolução CNRH nº 12, de 19/07/2000**. Brasília: MMA, 2000.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS CNRH . **Resolução CNRH nº 15, de 11/01/2001**. Brasília: MMA, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE CONAMA. **Resolução CONAMA nº 396, de 07/04/2008**. Brasília: MMA, 2008.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 468p.

COSTA, M.L.M. **Estabelecimento de critérios de outorga de direito de uso para águas subterrâneas**. (Dissertação de mestrado), Campina Grande: UFCG, 2009. 149 p.

DRUCK, S. A geoestatística e os sistemas de informações geográficas. **Espaço & Geografia**, vol. 5, nº 1, p. 1:15, 2002.

FOSTER, S.S.D., HIRATA, R.C.A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. Lima: World Health Organization, Pan American Health Organization, Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, 1988. Technical Report.

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa – 1:100.000**. Tese (Doutorado em Geografia física), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GARCÍA, F. J. M. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas. **Enero**, v. 13, n. 1, p. 78-86, 2004.

GENÚ, A. M. **Geoestatística multivariada**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Texto Didático, 2004. 16 p.

GUIMARÃES, P. B. V.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos institucionais e outorga de águas subterrâneas para uso industrial no baixo curso do Rio Paraíba, estado da Paraíba, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. Taubaté, v. 4, n. 2, p. 135-146, 2009.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2010.

_____. CIDADES. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=250750>>. Acessado em: 09 fev. 2012.

KRIGE, D. G. A. Statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Johannesburg Chemistry Metallurgy Mining Society South African**, v. 52 n. 6, p. 119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Fundação editora UNESP, 1998. 226 p.

_____. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. DGA, IBGE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, **Texto Didático 02**, 2000, 20p.

_____. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, v. 2, nº 1, p. 19-33, 2006.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R.; MONTEIRO, R. C. Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, **Texto Didático 06**, 2002, 12p.

LIRA, G. A. R. **Sistema de informações Baseado nas características dos poços de abastecimento público em áreas urbanas litorâneas do estado da Paraíba**. (Dissertação de Mestrado) – UFPB/CT, 2005. 120 p.

MANOEL FILHO, J. Água subterrânea: histórico e importância In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2 ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000, p. 3-10.

MATHERON, G. **Curso de geoestatística**. Los Cuadernos del Centro de Morfología Matemática de Fontainebleau Fascículo 2 (Traducido al español por ALFARO, Marco., 2005), 1969.

_____. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 15, p. 1246-1266, 1963.

_____. **The theory of regionalized variables and it's applications**. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau). Paris: École de Mines de Paris, 1971. 211 p.

MENESES, L.F. **Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos livres no município de João Pessoa/PB, através do modelo DRASTIC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia urbana), João Pessoa: - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007. 88 p.

MENESES, L. F.; SILVA, T. C.; FIGUEIREDO, E. C. T. P.; RAFAEL, R. A. Evolução urbana e vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa – PB. **Revista Brasileira de Cartografia** N° 63/02, 2011. 267-280.

MMA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas subterrâneas: programa de águas subterrâneas**. Brasília: MMA, 2001. 21p.

_____. **Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília, 2007.

MONTEIRO, R. C. **Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP), Brasil**. Rio Claro: Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista-Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 2003, 212p.

MORAIS, L. M. F. A. **Expansão urbana e qualidade ambiental no litoral de João Pessoa-PB**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009, 170 p.

NÓBREGA, T. M. Q. **A problemática da drenagem em áreas urbanas planas: o caso da planície costeira da cidade de João Pessoa**. Dissertação (Mestrado desenvolvimento e meio ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2002. 126 p.

PARAÍBA. **Lei n° 6.308, de 02 de julho de 1996**. Com as alterações e revogações introduzidas pelas Leis n° 6.544/1997 e n° 8.446/2007. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências.

PARAÍBA. **Decreto n° 19.260, de 31 de outubro de 1997**. Regulamenta a Outorga do Direito de Uso dos Recursos Hídricos.

PARAÍBA. **Decreto n° 25.563, de 09 de dezembro de 2004**. Estabelece Critérios e Valores para Compensação dos Custos da Outorga. Estabelece os critérios e valores para compensação dos custos de análise do processo e vistoria para fins de outorga de direito de uso de recursos hídricos.

PARAÍBA. **Lei n° 7.779, de 07 de julho de 2005**. Com as alterações e revogações introduzidas pela Lei n° 8.042, de 27 junho de 2006. Cria a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA e dá outras providências.

PARAÍBA. **Decreto n° 26. 224, de 14 de setembro de 2005**. Dispõe sobre a Regulamentação e a Estrutura Básica da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA e determina outras providências.

PITERMAN, A.; GRECO, R. M. A água seus caminhos e descaminhos entre os povos. **Revista APS**, v.8, n.2, p. 151-164, 2005.

RIBEIRO FILHO, A. A.; SOARES, M. C. Infraestrutura urbana de João Pessoa. In: ARRUDA, Avenzoar. **Uma nova visão da cidade**. João Pessoa: CAAP, 2004. p. 131-141.

ROSA, R. Análise espacial em geografia. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, out. 2011, p. 275-289.

SANTANA, R. S. **Aplicação do método drastic para caracterizar a vulnerabilidade do aquífero livre no bairro do Bessa em João Pessoa- PB.** (Dissertação de Mestrado) – João Pessoa: UFPB, 2011. 78 p.

SIAGAS, SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Sistema de informação de águas subterrâneas.** Disponível em: <<http://www.siagas.cprm.gov.br>>.

SILVA, P.C.M; CHAVES, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de Fósforo, Potássio e matéria orgânica em alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** V.5, n.3, p.431-436, 2001.

SOBREIRA, L. C. **Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa-PB.** 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia urbana e ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SBGF, Sociedade Brasileira de Geofísica. **Estudo preliminar revela maior reservatório de água do mundo.** Número 4. 2010.

STRUCKMEIER, W. **Água subterrânea: reservatório para um planeta com sede?.** Fotografias de Ted Nield. Tradução Braga Pangeo In: CONFERÊNCIA PLANETATERRA, CIÊNCIAS DA TERRA PARA A SOCIEDADE, 2008, Lisboa. 16p.

TESSLER, M. G.; GOY, A. S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, 2005, p. 11-23.

TUMA, L. S. R. **Mapeamento geotécnico da grande João Pessoa-PB.** Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, São Paulo, 2004. 195 p.

VASCONCELOS, S. M. S.; SOUSA, A. J. G. A abordagem geoestatística em estudos hidrogeológicos: um exemplo de aplicação. **Revista de Geologia**, v. 22, n. 1, p. 61-74, 2009.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

ANEXO

ANEXO A - PLANILHA DE DADOS

PONTO	UTME	UTMN	LONG	LAT	PROJETO	DATA PERFURACAO	PERFURADOR	NE m
2600008440	288217	9211026	-34,917633	-7,133719	AQUIFEROS COSTEIROS	1979	CONESP	46,05
2600008441	296532	9212378	-34,842321	-7,121802	AQUIFEROS COSTEIROS	1981	CONESP	54
2600008443	298055	9211072	-34,828583	-7,133664	AQUIFEROS COSTEIROS	1976	CONESP	32,7
2600008445	294239	9212502	-34,863071	-7,120598	AQUIFEROS COSTEIROS	1979	CONESP	51,8
2600008446	294407	9210820	-34,861612	-7,135811	AQUIFEROS COSTEIROS	1977	CONESP	4,5
2600008447	291058	9206155	-34,8921	-7,177863	AQUIFEROS COSTEIROS	1985	CONESP	44
2600008448	291973	9206293	-34,883812	-7,17665	AQUIFEROS COSTEIROS	1980	CONESP	49,6
2600008449	293029	9208685	-34,874164	-7,155063	AQUIFEROS COSTEIROS	1979	CONESP	42,5
2600008450	297281	9213170	-34,835513	-7,114668	AQUIFEROS COSTEIROS	1978	CONESP	28
2600008451	288798	9206606	-34,91254	-7,173701	AQUIFEROS COSTEIROS	1980	CONESP	24,6
2600008452	289062	9203322	-34,910275	-7,203401	AQUIFEROS COSTEIROS	1975	CONESP	4,3
2600008453	288969	9202842	-34,911135	-7,207737	AQUIFEROS COSTEIROS	1986	CONESP	0
2600008454	289128	9203735	-34,909662	-7,19967	AQUIFEROS COSTEIROS	1979	CONESP	39,25
2600008455	288983	9202811	-34,911009	-7,208018	AQUIFEROS COSTEIROS	1994	CONESP	0,6
2600008463	293712	9212896	-34,867827	-7,117016	AQUIFEROS COSTEIROS	1985	CONESP	40,7
2600008468	289785	9205596	-34,903644	-7,18287	AQUIFEROS COSTEIROS	1976	CONESP	18,5
2600008470	288911	9208922	-34,91143	-7,152767	AQUIFEROS COSTEIROS	1999	HIDROGESP	29,45
2600008765	291980	9212000	-34,883537	-7,125053	RECENSEAMENTO DE POCOS SUDENE	1978	CONESP	37,85
2600008775	292100	9212200	-34,882443	-7,12325	RECENSEAMENTO DE POCOS SUDENE	1977	CONESP	17
2600009052	292000	9212000	-34,883356	-7,125054	RECENSEAMENTO DE POCOS SUDENE	1983	CONESP	37,6
2600009054	292040	9212000	-34,882994	-7,125056	RECENSEAMENTO DE POCOS SUDENE	1981	CONESP	43,5
2600009056	292020	9212000	-34,883175	-7,125055	RECENSEAMENTO DE POCOS SUDENE	1979	CONESP	46,05
2600045013	288814	9211255	-34,912221	-7,131671	AESA-PB	1978	CONESP	32
2600045014	294670	9212539	-34,859169	-7,120279	AESA-PB	1978	F. SESP	30
2600045016	292645	9212531	-34,877498	-7,120277	AESA-PB	1970	DNOCS	24
2600045019	297373	9212150	-34,834717	-7,123893	AESA-PB	1970	DNOCS	17
2600045020	297941	9208220	-34,829717	-7,159446	AESA-PB	1971		25

2600045022	292190	9211024	-34,881672	-7,133885	AESA-PB	1970	F. SESP	40
2600045027	299079	9207426	-34,819444	-7,166666	AESA-PB	1973	DNOCS	21
2600045035	297508	9201275	-34,833889	-7,222221	AESA-PB	1976	DNOCS	21
2600045036	294762	9212601	-34,858334	-7,119722	AESA-PB	1977	DNOCS	15
2600045037	296292	9213867	-34,84444	-7,108331	AESA-PB	1975	DNOCS	26
2600045038	293227	9212779	-34,872221	-7,118056	AESA-PB	1976	DNOCS	45
2600045039	288587	9206984	-34,914436	-7,170276	AESA-PB	1974	DNOCS	20
2600045040	292668	9206878	-34,877499	-7,171387	AESA-PB	1977	DNOCS	16
2600045041	296076	9214112	-34,846386	-7,106108	AESA-PB	1974	DNOCS	25
2600045042	289753	9206774	-34,903889	-7,172218	AESA-PB	1976	DNOCS	12
2600045043	294299	9213213	-34,862502	-7,114172	AESA-PB	1974	DNOCS	20
2600045044	290093	9206283	-34,90083	-7,17667	AESA-PB	1974	DNOCS	15
2600045045	296137	9214173	-34,845832	-7,105559	AESA-PB	1975	DNOCS	28
2600045046	293112	9210812	-34,873334	-7,135836	AESA-PB	1976	DNOCS	23
2600045047	295836	9212759	-34,848607	-7,118332	AESA-PB	2000	DNOCS	48
2600045048	294209	9205133	-34,863613	-7,18722	AESA-PB	1975	DNOCS	29
2600045049	294452	9213429	-34,86111	-7,112224	AESA-PB	1974	DNOCS	17
2600045050	288341	9206768	-34,916671	-7,172219	AESA-PB	1977	DNOCS	19
2600045051	293924	9207467	-34,866107	-7,166108	AESA-PB	1975	DNOCS	12
2600045052	294568	9207285	-34,860284	-7,167777	AESA-PB	1976	DNOCS	20
2600045054	296184	9202468	-34,845832	-7,211387	AESA-PB	1977	DNOCS	11
2600045055	292584	9205065	-34,878326	-7,187775	AESA-PB	1977	DNOCS	31
2600045058	293259	9204852	-34,872224	-7,189726	AESA-PB	1976	DNOCS	26
2600045059	300145	9209611	-34,809716	-7,146948	AESA-PB	1977	DNOCS	24
2600045060	288464	9206922	-34,915552	-7,170832	AESA-PB	1978	DNOCS	20
2600045061	297107	9201796	-34,8375	-7,217496	AESA-PB	1979	DNOCS	22
2600045062	297448	9208587	-34,834167	-7,15611	AESA-PB	1973	DNOCS	22
2600045064	293113	9210628	-34,873332	-7,137499	AESA-PB	1977	DNOCS	35
2600045065	297489	9205914	-34,833892	-7,180279	AESA-PB	1977	DNOCS	31
2600045067	293381	9212718	-34,87083	-7,118613	AESA-PB	1977	DNOCS	40

2600045068	293066	9207125	-34,873887	-7,169168	AESA-PB	1974	DNOCS	17
2600045069	301594	9207559	-34,796673	-7,165553	AESA-PB	1974	DNOCS	3
2600045070	299500	9209363	-34,815564	-7,149168	AESA-PB	1974	DNOCS	29
2600045072	288357	9203050	-34,916667	-7,205834	AESA-PB	1979	DNOCS	45
2600045073	292605	9207215	-34,878056	-7,168337	AESA-PB	1978	CIDAGRO	28
2600045074	295494	9213587	-34,851673	-7,110834	AESA-PB	1979	CIDAGRO	22
2600045075	295807	9212144	-34,848892	-7,123891	AESA-PB	1970	DNOCS	3
2600045080	297278	9212703	-34,835557	-7,11889	AESA-PB	1976	DNOCS	13
2600045081	289155	9203176	-34,909438	-7,204725	AESA-PB	1976	CONESP	33
2600045082	298083	9210955	-34,828333	-7,134723	AESA-PB	1976	CONESP	18
2600045083	290002	9205945	-34,901667	-7,179722	AESA-PB	1977	CONESP	17
2600045087	294463	9203137	-34,861387	-7,205275	AESA-PB	1979	DNOCS	22
2600045088	293141	9211335	-34,873053	-7,131108	AESA-PB	1970	DNOCS	38
2600045089	289880	9205606	-34,902784	-7,182783	AESA-PB	1970		22
2600045091	289461	9203116	-34,906671	-7,205279	AESA-PB	1973	COPERSO	23
2600045092	289430	9203362	-34,906942	-7,203053	AESA-PB	1973	COPERSON	23
2600045104	290059	9206990	-34,901111	-7,170277	AESA-PB	1980	CONESP	25
2600045107	289127	9209813	-34,909442	-7,14472	AESA-PB	1980	CONESP	46
2600045108	291304	9210375	-34,889716	-7,13972	AESA-PB	1979	CORNER	63
2600045113	295912	9208888	-34,84806	-7,153333	AESA-PB	1980	CONER	33
2600045114	296351	9206616	-34,844168	-7,17389	AESA-PB	1980	CONER	42
2600045117	296487	9210856	-34,842784	-7,135561	AESA-PB	1974	F. SESP	30
2600045126	289945	9205023	-34,902217	-7,188056	AESA-PB	1974	SONDAL	12
2600045129	294963	9208239	-34,856674	-7,159166	AESA-PB	1981	DNOCS	48
2600045130	291078	9212740	-34,891673	-7,11833	AESA-PB	1981	DNOCS	9
2600045131	293955	9215086	-34,865548	-7,097225	AESA-PB	1980	DNOCS	24
2600045133	290756	9209113	-34,894723	-7,151109	AESA-PB	1979	F. SESP	35
2600045135	296879	9212763	-34,839167	-7,118333	AESA-PB	1980	J. N. CRISPIN	15
2600045140	284738	9202850	-34,949436	-7,207503	AESA-PB	1975	F. SESP	7
2600045144	299159	9210498	-34,81861	-7,138894	AESA-PB	1981	DNOCS	16

2600045145	290984	9205949	-34,892777	-7,179723	AESA-PB	1982	CORNER	34
2600045146	296333	9203605	-34,844441	-7,201113	AESA-PB	1983	CONESP	38
2600045147	291876	9205400	-34,884723	-7,18472	AESA-PB	1981	CONESP	44
2600045148	295539	9210208	-34,851388	-7,141385	AESA-PB	1981	DNOCS	25
2600045149	297381	9210061	-34,83472	-7,142781	AESA-PB	1981	DNOCS	26
2600045150	293321	9204730	-34,871667	-7,190831	AESA-PB	1982	DNOCS	25
2600045151	289171	9206372	-34,909173	-7,175831	AESA-PB	1981	DNOCS	36
2600045152	295361	9208886	-34,853047	-7,153331	AESA-PB	1982	DNOCS	14
2600045153	293532	9213026	-34,869452	-7,115834	AESA-PB	1984	DNOCS	46
2600045154	294360	9213214	-34,86195	-7,114165	AESA-PB	1982	DNOCS	54
2600045155	295843	9210854	-34,848613	-7,135556	AESA-PB	1984	DNOCS	49
2600045156	296790	9204221	-34,840282	-7,19556	AESA-PB	1983	CORNER	31
2600045157	296171	9205632	-34,845834	-7,18278	AESA-PB	1982	CORNER	41
2600045158	292820	9207155	-34,876112	-7,168888	AESA-PB	1982	CDRM	40
2600045159	293195	9213148	-34,872497	-7,114719	AESA-PB	1984	CDRM	35
2600045161	292123	9212621	-34,882219	-7,119444	AESA-PB	1974	DNOCS	26
2600045163	289336	9203791	-34,907777	-7,199171	AESA-PB	1979	CIDAGRO	21
2600045165	291382	9213540	-34,888892	-7,111108	AESA-PB	2000	DNOCS	8
2600045166	294339	9203382	-34,862501	-7,203056	AESA-PB	1974	F. SESP	15
2600045167	294893	9203108	-34,857496	-7,205553	AESA-PB	2000		24
2600045168	290369	9206407	-34,898327	-7,175559	AESA-PB	1970	DNPM	12
2600045169	296604	9212393	-34,841669	-7,121669	AESA-PB	1981	CONESP	54
2600045170	290129	9205054	-34,90055	-7,187783	AESA-PB	1975	DNOCS	12
2600045171	294993	9208638	-34,856388	-7,15556	AESA-PB	1974	DNOCS	16
2600045173	289783	9206958	-34,903611	-7,170556	AESA-PB	1970	DNOCS	7
2600045174	294271	9212599	-34,862778	-7,119722	AESA-PB	1979	CONESP	52
2600045177	300332	9208475	-34,808064	-7,157226	AESA-PB	2000		42,15
2600045178	288408	9205662	-34,916106	-7,182221	AESA-PB	2000		25
2600045180	298809	9213539	-34,82167	-7,111387	AESA-PB	2000		15
2600045182	295244	9214815	-34,853891	-7,099722	AESA-PB	2000		1,5

2600045183	297106	9217557	-34,83694	-7,074998	AESA-PB	2000		2
2600045184	297381	9217619	-34,834449	-7,074447	AESA-PB	2000		4,5
2600045185	297228	9217649	-34,835832	-7,074171	AESA-PB	2000		5
2600045186	297229	9217526	-34,835828	-7,075283	AESA-PB	2000		5
2600045187	297541	9216084	-34,833056	-7,088331	AESA-PB	2000		5
2600045189	293679	9207220	-34,868334	-7,168332	AESA-PB	1973		48
2600045190	298113	9211078	-34,828057	-7,133612	AESA-PB	1989		33
2600045191	298105	9212921	-34,828064	-7,116949	AESA-PB	1989		28,65
2600045192	286783	9205286	-34,930831	-7,185559	AESA-PB	2002		32,1
2600045193	296112	9212729	-34,84611	-7,118613	AESA-PB	1990		33
2600045196	297057	9214331	-34,837499	-7,104163	AESA-PB	2006		17,63
2600045197	297024	9214761	-34,837782	-7,100274	AESA-PB	2006		17,4
2600045203	288970	9203175	-34,911113	-7,204727	AESA-PB	1972		34
2600045204	294332	9212753	-34,862221	-7,118332	AESA-PB	2002		21,8
2600045206	296764	9210735	-34,840281	-7,136665	AESA-PB	2001		43,91
2600045208	296479	9213069	-34,842776	-7,115552	AESA-PB	2000		14
2600045209	298343	9207331	-34,82611	-7,167498	AESA-PB	2002		23,1
2600045210	292433	9211946	-34,879438	-7,125558	AESA-PB	2006		55,64
2600045211	300608	9208538	-34,805563	-7,156666	AESA-PB	1998		29
2600045212	285123	9205709	-34,945841	-7,181671	AESA-PB	2000		41
2600047476	296460	9205720	-34,843214	-7,181995	RIMAS	1982	CORNER	41,41
2600047478	293142	9208668	-34,873142	-7,155221	RIMAS	1979	CONESP	42,5
2600047480	285866	9211010	-34,938913	-7,133775	RIMAS	1979	CAGEPA	79,48

Fonte: Sistema de Informação de Águas Subterrâneas-SIAGAS (2006).