

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

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

**PROPOSTA PARA O ENQUADRAMENTO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA SEDIMENTAR  
DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA**

**CAMILA MACÊDO MEDEIROS**

**Campina Grande**  
**Data: FEVEREIRO / 2012**

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E**  
**AMBIENTAL**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E**  
**AMBIENTAL**

**PROPOSTA PARA O ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**  
**NA BACIA SEDIMENTAR DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA**

Dissertação de Mestrado

**Camila Macêdo Medeiros**

Campina Grande – PB  
Fevereiro de 2012

---

Camila Macêdo Medeiros

**PROPOSTA PARA O ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
NA BACIA SEDIMENTAR DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadora: Márcia Maria Rios Ribeiro

Co-Orientadora: Beatriz Susana Ovruski de Ceballos

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2012



**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC**

**M488p**

**Medeiros, Camila Macêdo.**

Proposta para o enquadramento das águas subterrâneas na bacia sedimentar do baixo curso do rio Paraíba / Camila Macêdo Medeiros. - Campina Grande, 2010.

115f.: il. col.

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

Orientadoras: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Márcia Maria Rios Ribeiro, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos.

Referências.

1. Enquadramento dos Corpos d'Água. 2. Águas Subterrâneas. 3. Metas de Qualidade. 4. Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco. I. Título.

CDU 556.32 (043)

PROPOSTA PARA O ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS  
SUBTERRÂNEAS NA BACIA SEDIMENTAR DO BAIXO CURSO DO RIO  
PARAÍBA

*Márcia Maria Rios Ribeiro*

---

**Profª. Drª. Márcia Maria Rios Ribeiro**

Universidade Federal de Campina Grande

Orientadora

*Beatriz Susana Ovruski de Ceballos*

---

**Profª. Drª. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos**

Universidade Estadual da Paraíba

Coorientadora

*Simone Rosa da Silva*

---

**Profª. Drª. Simone Rosa da Silva**

Examinadora Externa

*Andréa Carla Lima Rodrigues*

---

**Profª. Drª. Andréa Carla Lima Rodrigues**

Examinadora Interna

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2012

## DEDICATÓRIA

---

*Dedico esta vitória aos meus pais.*

## AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a Deus, por mais uma conquista, pois sem as suas bênçãos não poderia alcançar, quero agradecer também por todas as pessoas que o Senhor me enviou que me ensinaram muito no decorrer desta caminhada.

Agradeço aos meus pais, Lúcia de Jesus Macêdo Medeiros e Francisco Assis de Medeiros Filho, que sempre me encorajaram e me incentivaram a estudar. Agradeço às minhas irmãs Beatriz e Marília pelos momentos de descontração e apoio. Agradeço a meu esposo Victor Maia pela compreensão e pela companhia durante as madrugadas em que precisei estudar.

Agradeço às minhas professoras, Márcia Maria R. Ribeiro e Beatriz S. O. de Ceballos pela orientação e compreensão no desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço à Prof<sup>a</sup> Dayse Luna Barbosa pela amizade, por me nortear e ter sempre o conselho certo para dar.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG: Carlos de Oliveira Galvão, Eduardo Enéas de Figueiredo, Zedna Mara de Castro Lucena Vieira, Iana Alexandra Alves Rufino, Annemarie Konig, Camilo Alyson e Rui de Oliveira pelos conhecimentos prestados e esclarecimentos concedidos durante o curso. Aos professores Patrocínio Tomaz e Janiro Costa Rêgo pela ajuda e pelas dúvidas esclarecidas.

Agradeço a minha amiga Maria Adriana de Freitas M. Ribeiro por compartilhar as horas de estudos, os almoços na universidade e os domingos e férias no laboratório. A Marcondes Batista pelas palavras de incentivo. A todos da minha turma do mestrado de recursos hídricos: John Elton, Itamara Mary, Renato Santiago, Ester de Araújo e Antônio Leomar pelo coleguismo, companheirismo, amizade, cumplicidade durante todo o curso. A todos da turma de saneamento pela paciência e ensinamentos durante as aulas: Erick Leal, Barbara Gitana, Andreza Miranda e Paulo Nobrega.

Ao coordenador do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG, Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho, à secretária do curso Josete de Sousa Ramos, pelo apoio e ajuda nos assuntos burocráticos durante o período do curso.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica da UFCG: Alrezinha, Haroldo, Ismael, Lindimar, Raulino, Ronaldo e Vera pela atenção e compartilhamento de bons momentos de descontração durante muitos anos de convivência.

A todos da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba) que colaboraram de forma gloriosa para a concretização desse trabalho. Ao Engenheiro José Carlos, do setor de manutenção da CAGEPÁ, pelo apoio nas medições de campo.

Aos examinadores Prof<sup>a</sup> Simone Rosa e Prof<sup>a</sup> Andrea Rodrigues pelo reforço que forneceram para a melhoria dessa dissertação.

À UFCG (Universidade Federal de Campina Grande - PB), pelo oferecimento do programa de mestrado. À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro, através da bolsa de estudos concedida para a realização desse trabalho.

Ao Projeto "Integração dos instrumentos de outorga, cobrança e enquadramento das águas subterrâneas" (ASUB) – MCT/FINEP/CT-HIDRO – pela portunidade de ganhar conhecimento e de trabalhar em equipe. A todos que fazem parte desse projeto e em especial Daniel Araújo, José Augusto de Souza, Renata Travassos, Bárbara Barbosa, Samilly Jaciara, Douglas Almeida, Ubirajara Duarte, André Felipe, Augusto Carvalho, Pedro Felipe e Dátia Marques pelo companheirismo, compreensão, paciência e momentos de descontração.

Finalmente, agradeço a todos, que de alguma forma, colaboraram para a realização e conclusão dessa dissertação.

*Muito Obrigada!*

EPÍGRAFE

---

---

*"A simplicidade é o último degrau da sabedoria"*  
Khalil Gibran

## RESUMO

---

No Brasil, a utilização da água subterrânea tem crescido nas últimas décadas, ainda que em menor grau que as superficiais. Da mesma forma, as águas subterrâneas estão suscetíveis a contaminações, porém uma vez contaminadas, sua despoluição é bem mais complexa e onerosa quando comparada com as águas superficiais. A Política Nacional de Recursos Hídricos objetiva a proteção da qualidade das águas por meio da gestão com a implementação do instrumento de enquadramento dos corpos hídricos. A pesquisa tem por objetivo estudar possíveis metas para o enquadramento de corpos de água subterrâneos, tendo como área de estudo parte da Bacia Sedimentar Costeira da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do rio Paraíba, especificamente a região mais urbanizada desta área, que envolve as cidades de Cabedelo e a capital João Pessoa. A proposta de enquadramento é feita mediante estudos dos critérios estabelecidos nas resoluções CONAMA 396/2008 e CNRH 91/2008, porém não contempla todas as variáveis que deveriam ser consideradas. Propõem-se como critérios complementares para o enquadramento das águas subterrâneas a avaliação da intrusão salina e a interferência entre poços. Neste estudo foram simulados todos os critérios estabelecidos nas resoluções e os propostos para a área de estudo. Para isto foi feita a classificação dos corpos d'água. O aquífero confinado e o aquífero livre foi caracterizado em classe 3. Os corpos d'água superficiais apresentaram classe 3 para um trecho do rio Jaguaribe e o Riacho de Cabelo e classe 4 para outro trecho do rio Jaguaribe e o rio Cuiá. Projetou-se como metas de enquadramento possíveis de serem alcançadas para as águas subterrâneas as classes 1 e 2, mediante as ações sugeridas neste trabalho. Foi concluído que uma das causas da pouca ou escassa implementação do instrumento enquadramento das águas subterrâneas nos estados brasileiros deve-se em grande parte à complexidade de sua aplicação.

**Palavras-chave:** Enquadramento dos corpos d'água, águas subterrâneas, metas de qualidade, Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco.

## ABSTRACT

In Brazil, the use of groundwater has increased in the recent decades, however to a lesser degree than the surface water. Groundwater is susceptible to contamination just as surface water, but once contaminated, clean up is much more complex and costly when compared with surface water. The National Water Resources Policy aims to protect water quality by managing the implementation of the framework of the instrument of water bodies. The research aims to study possible goals for the framework of bodies of water, of the Lower Basin of the Paraíba River Course, specifically the most urbanized region, involving the cities of Cabedelo and Joao Pessoa, the capital. The proposed framework is done through analysis of the criteria set forth in resolutions CONAMA 396/08 and CNRH 91/08, but does not include all variables that should be considered. Criteria are proposed as complementary frameworks for the assessment of groundwater intrusion and interference between wells. In this study we simulated all the criteria and the resolutions proposed for the study area. For this we classify water bodies. The confined aquifer and aquifer free was featured in class 3. The surface water bodies showed class 3 for a stretch of the Jaguaribe river and the Cabedelo creek, then class 4 to another part of Jaguaribe river and Cuiá river. Through the actions suggested in this work, classes 1 and 2 have the designed framework goals possible to be achieved for groundwater. It was concluded that one of the causes of poor or inadequate implementation of the instrument framework of groundwater in the Brazilian states is due in large part to the complexity of its application.

**Key-words:** Framework of the water bodies, groundwater, quality goals, Coastal Sedimentary Basin Pernambuco-Paraíba.

## SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO.....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	XIII
LISTA DE TABELAS .....	XIV
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO .....	15
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.1 Objetivo geral .....	16
1.1.2 Objetivos específicos .....	17
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Águas Subterrâneas .....	18
2.2 Qualidade das águas subterrâneas .....	19
2.2.1 Fontes de contaminação .....	19
2.2.2 Vulnerabilidade de aquíferos .....	21
2.3 Enquadramento dos corpos d’água .....	22
2.3.1 Histórico do enquadramento no Brasil .....	23
2.3.2 Estudos do enquadramento das águas subterrâneas no Brasil .....	26
2.3.3 O Enquadramento de corpos d’água e os demais instrumentos de gestão .....	27
2.3.4 Aspectos legais e institucionais do enquadramento das águas subterrâneas no Brasil .....	28
2.4 Identificação dos critérios de enquadramento dos corpos d’água subterrâneos .....	36
2.5 Experiência Internacional .....	40
CAPÍTULO III – CASO DE ESTUDO .....	50
3.1 Localização.....	50
3.1.1 Características Fisiográficas.....	51
3.1.2 Características Hidrogeológicas.....	51
3.1.3 Caracterização Socioeconômica.....	52
3.2 Zoneamento da Área de Estudo .....	54
3.3 Estudos para a zona 7.....	60
3.3.1 Caracterização Hidrogeológica.....	60

3.3.2 Caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição.....	62
3.3.3 Cadastramento de poços existentes e em operação .....	67
3.3.4 Uso e ocupação do solo e seu histórico .....	69
3.3.5 Interferência entre poços.....	71
3.3.6 Intrusão salina .....	74
CAPÍTULO IV – METODOLOGIA .....	76
4.1 Localizações das fontes potenciais de poluição .....	78
4.2 Qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.....	79
4.3 Qualidade das águas superficiais.....	81
4.4 Viabilidade técnica econômica .....	82
4.5 Proposta de novos critérios de enquadramento .....	83
4.5.1 Interferência entre poços.....	83
4.5.2 Intrusão Salina .....	84
CAPÍTULO V – SIMULAÇÕES E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	85
5.1 Localização das fontes potenciais de poluição.....	85
5.2 Qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.....	86
5.3 Qualidade das águas superficiais.....	93
5.4 Sugestões de ações para alcançar as metas.....	100
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	104
6.1 Conclusões .....	104
6.2 Recomendações para pesquisas futuras .....	107
6.3 Recomendações para o Sistema de Gestão .....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

---

**LISTA DE FIGURAS**

---

- Figura 01- Linha do tempo do instrumento de enquadramento
- Figura 02- Etapas do processo de enquadramento (adaptado de ANA, 2009)
- Figura 03- Localização da área de estudo
- Figura 04- Corte geológico da Bacia Sedimentar Costeira PB-PE(Projeto ASUB, 2009)
- Figura 05- Zoneamento da área estudada
- Figura 06- Usos da água subterrânea na zona 7
- Figura 07- Distribuição Superficial das Formações Geológicas (Fonte: BATISTA, 2010)
- Figura 08 – Mapa de Distribuição Superficial das Formações Geológicas e fluxo horizontal (→) no aquífero Beberibe (BATISTA, 2010)
- Figura 09- Subáreas de acordo com a condutividade hidráulica (BATISTA, 2010)
- Figura 10 – O método de vulnerabilidade GOD (FONTE: Manoel Filho & Feitosa, 2008)
- Figura 11- Distribuição dos poços na área de estudo
- Figura 12 – Mapas Temáticos de cada plano de informação do método GOD (MEDEIROS, et. al, 2011)
- Figura 13- Mapa de vulnerabilidade do aquífero
- Figura 14- Distribuição dos poços existentes e dos poços em operação da área de estudo
- Figura 15- (a) Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2001 (RUFINO, et. al., 2010) (b) Mapa de uso e ocupação do solo para o ano de 2009 (ALMEIDA FILHO, et. al., 2011)
- Figura 16- Áreas de Influência dos poços: (a) cenário 1 - 4 horas; (b) cenário 2 - 8 horas; (c) cenário 3 - 12 horas; (d) cenário 4 - 24 horas (BATISTA et al, 2010)
- Figura 17- Simulação da intrusão salina na área de estudo
- Figura 18- Fluxograma das etapas metodológicas
- Figura 19- Mapa da localização dos pontos de coleta de água subterrânea na zona 7
- Figura 20- Mapa da localização dos pontos de coleta nos rios
- Figura 21- Esquema do efeito de interferência entre poços (COSTA, 2009)
- Figura 22- Mapa da localização das fontes de poluição das águas subterrâneas
- Figura 23- Diagrama de Piper para as épocas de estiagem (a) e chuvoso (b)
- Figura 24- Mapa com a classificação dos corpos de águas superficiais inseridos na zona 7

**LISTA DE TABELAS**

---

- Tabela 01- Classes de águas subterrâneas segundo a Resolução CONAMA nº 396/08
- Tabela 02- Instituições que participam da elaboração e efetivação do enquadramento
- Tabela 03- Classes de águas subterrâneas do Estado do Texas- EUA
- Tabela 04- Classes de águas subterrâneas do Estado da Carolina do Norte- EUA
- Tabela 05- Classes de águas subterrâneas do Estado de Connecticut- EUA
- Tabela 06- Subclasses do nível de desenvolvimento utilizadas no Canadá
- Tabela 07- Subclasses da vulnerabilidade utilizadas no Canadá
- Tabela 08- Classificação das águas subterrâneas do Canadá
- Tabela 09- Cálculo para o posicionamento de prioridade utilizada no Canadá
- Tabela 10- Dados sócio-econômicos das cidades inseridas na área de estudo
- Tabela 11- Taxas de Bombeamento por áreas (BATISTA, 2010)
- Tabela 12- Grau de vulnerabilidade do aquífero
- Tabela 13- Quantidade de poços na área de estudo
- Tabela 14- Distribuição dos valores das classes de uso do solo para a zona 7
- Tabela 15- Raio de influência de poços para regime de bombeamento de 8, 12 e 24 horas (BATISTA et. al., 2010)
- Tabela 16- Resumo dos critérios de enquadramento
- Tabela 17- Quantificação das fontes de poluição da área de estudo
- Tabela 18- Resultado das análises de qualidade da água do aquífero confinado para as duas campanhas, realizadas nas épocas seca (fevereiro a março de 2010) e de chuva (junho a agosto de 2010) na zona 7 da Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do rio Paraíba
- Tabela 19- Resultado das análises de qualidade da água do aquífero livre para as duas campanhas, realizadas nas épocas seca (fevereiro a março de 2010) e de chuva (junho a agosto de 2010) na zona 7 da Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do rio Paraíba
- Tabela 20- Resultado das análises estatísticas dos dados de qualidade da água para as amostras das duas campanhas de monitoramento dos corpos de água superficiais
- Tabela 21- Classes de condições atuais da qualidade e da meta a serem alcançadas para os aquíferos das 4 subáreas estudadas.

## CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

---

As águas subterrâneas abastecem grande parcela da população mundial, praticamente todos os países fazem uso desse recurso, atendendo a cerca de 1,5 bilhões de pessoas. Em alguns países da América Latina, onde o número de pessoas abastecidas por água subterrânea ultrapassa 150 milhões de habitantes, a situação chegou a um ponto crítico, em parte porque muitos aquíferos que fornecem água a vários municípios estão passando por problemas de superexploração e/ou de aumento da poluição. Entre as cidades da região Nordeste do Brasil que mais dependem dos recursos hídricos subterrâneos se destaca Recife, capital de Pernambuco com 1.537.704 habitantes em 2010. Cidades como Lima, capital do Perú, com mais de 7.500.000 habitantes, assim como a maioria das capitais de América Central, entre elas cidade de México e outras cidades nesse país também enfrentam, desde varias décadas atrás, por problemas de déficit hídrico (BARROS, 2009; REBOUÇA & AMORE, 2002; FOSTER, 2002).

No Brasil, a utilização da água subterrânea tem crescido nas últimas décadas, ainda que em menor grau que as superficiais. Tucci & Cabral (2003) descrevem que há cerca de 300 mil poços tubulares em operação no país, sendo perfurados mais de 10 mil poços por ano, utilizados para os mais diversos fins, como o abastecimento humano, a irrigação, indústria e o lazer. No Brasil, 15,6 % dos domicílios utilizam, exclusivamente, água subterrânea, 77,8 % usam rede de abastecimento de água e 6,6 % usam outras formas de abastecimento (IBGE apud ANA, 2007).

Esta crescente utilização pode comprometer as águas subterrâneas, e assim como as superficiais, elas também sofrem com a poluição produzida pelas diversas atividades antrópicas. Porém, uma vez poluída, o processo para despoluição é bem mais lento, além de exigir técnicas mais elaboradas e onerosas. Entre os fatores que interferem na qualidade de águas subterrâneas, destacam-se: construção inadequada dos poços, a disposição de resíduos sólidos no solo nas proximidades da área de recarga do aquífero, a presença em locais próximos de postos de combustíveis e cemitérios e o uso de fertilizantes e agrotóxicos nas terras cultivadas na região e a intrusão salina.

Diante das possibilidades de contaminação, a Política Nacional de Recursos Hídricos, que objetiva a preservação da qualidade das águas, institui como um dos seus instrumentos de gestão, o enquadramento dos corpos d'água. Sendo este instrumento definido como o estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo, é um instrumento que se relaciona com os demais instrumentos de GRH e com os instrumentos de gestão ambiental.

O instrumento do enquadramento, conforme a Lei 9.433/97, tem como um dos seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. A Resolução CONAMA 396/08 classifica as águas subterrâneas em 6 classes de acordo com o uso a que forem determinadas e estabelece limites para os parâmetros de qualidade. Esta resolução define enquadramento como o estabelecimento de metas de qualidade da água (classe) a serem obrigatoriamente alcançadas ou mantidas em um aquífero ou porção dele, de acordo com os usos preponderantes pretendidos ao longo do tempo.

Mediante o exposto, esta pesquisa propõe-se estudar os critérios para o enquadramento de corpos de água subterrâneos elaborando metas e propondo ações para o atingimento dessas metas, tendo como área de estudo a Bacia Sedimentar Costeira da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do rio Paraíba, na Paraíba, especificamente a região mais urbanizada desta área, a qual abrange parte do litoral paraibano, estando inseridas a capital do estado, João Pessoa, e a cidade portuária de Cabedelo.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Propor metas para o enquadramento de corpos de água subterrâneos da Bacia Sedimentar Costeira da Bacia Hidrográfica do Baixo Curso do rio Paraíba, Estado da Paraíba.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar critérios de enquadramento já estabelecidos nos normativos a serem aplicados no estudo;
- Caracterizar a qualidade das águas subterrâneas da área da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco incluída na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, objeto deste estudo;
- Propor critérios adicionais para o enquadramento de águas subterrâneas sob estudo, que sejam considerados necessários para complementar ou satisfazer as metas propostas para o enquadramento;
- Simular os critérios;
- Elaborar metas de enquadramento para as águas subterrâneas da área de estudo;
- Propor ações para o atendimento das metas de enquadramento;
- Selecionar critérios mínimos para o enquadramento dos corpos d'água subterrâneos.

## CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos básicos sobre águas subterrâneas e qualidade da água, necessários para o acompanhamento desta pesquisa. Apresentam-se também aspectos legais e institucionais do enquadramento dos corpos de água subterrâneos de âmbito nacional e estadual, além da revisão internacional deste instrumento.

### 2.1 Águas Subterrâneas

Albuquerque e Rêgo (1998) e Albuquerque (2004), conceituam água subterrânea como sendo “aquela que ocorre e que circula em profundidade preenchendo poros de naturezas diversas (vazios entre grãos, fraturas, falhas e fissuras abertas, cavidades cársticas, juntas entre camadas ou entre colunas de rochas vulcânicas, etc.) e/ou que aflora e circula em superfície formando lagos, lagoas ou constituindo o escoamento de base da rede hidrográfica superficial”.

As formações permeáveis, como as areias e os arenitos, são exemplos de aquíferos. Chama-se de aquícluído a formação que pode conter água, mas é incapaz de transmiti-la em condições naturais, como por exemplo, as formações impermeáveis, como as camadas de argila. Um aquítarde é uma camada ou formação semipermeável delimitada no topo e/ou na base por camadas de permeabilidade muito maior (FEITOSA et. al.,2008).

De acordo com a pressão, o aquífero pode ser livre, também chamado de freático ou não confinado, cujo limite superior é a superfície de saturação ou freática na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. E pode também ser confinado, chamado de aquífero sob pressão, onde a pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica. Já em função das camadas limítrofes pode ser definido como: confinado não-drenante e confinado drenante. O aquífero confinado não-drenante é aquele em que as camadas limítrofes, inferiores e superiores, são impermeáveis, na captação por sondagem nesse tipo de aquífero, a água jorra naturalmente, sem necessidade de bombeamento, e os poços são denominados “jorrantes” ou “artesianos”. Já o aquífero confinado drenante é aquele que pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável, permitindo a entrada ou saída de fluxos (CPRM, 2011).

## 2.2 Qualidade das águas subterrâneas

A qualidade da água é definida por suas características físicas, químicas e biológicas, sendo que os usos atribuídos às diferentes qualidades de águas são dependentes dessas características. O conjunto de todos os elementos que compõem ou definem a qualidade de uma água permite estabelecer as classes dessas águas e os usos de cada uma delas, de acordo com os valores máximos permitidos e estabelecidos na legislação vigente.

Contribui com a qualidade das águas subterrâneas a dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos e por onde a água percola. Devido ao maior contato com materiais geológicos, a baixa velocidade de fluxo e a maiores pressões e temperaturas, as águas subterrâneas contêm geralmente mais minerais do que as águas superficiais. Pelas mesmas razões, possuem menores teores de materiais em suspensão, em especial os de natureza orgânica, devido à ação biodegradadora dos microrganismos. Também, devido as suas condições de circulação, as águas subterrâneas tendem a apresentar menores teores de oxigênio dissolvido do que as superficiais (SEMADS, 2001).

Segundo Feitosa et. al. (2008), os processos e os fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos ou extrínsecos ao aquífero, pois a água subterrânea tende a aumentar as concentrações das substâncias dissolvidas à medida que se move lentamente no meio subterrâneo. Porém, muitos outros fatores interferem, tais como: clima, composição da água de recarga, tempo de contato entre a água e o meio físico, litologias, além da contaminação antrópica.

### 2.2.1 Fontes de contaminação

O incremento acelerado do uso da água subterrânea foi a causa de construções de poços sem critérios técnicos. Sua perfuração em locais inadequados, inclusive, coloca em perigo a qualidade da água. Entre os fatores construtivos dos poços que oferecem riscos de contaminação à água está a proximidade com pontos potencialmente poluidores, como fossas de esgotos, postos de gasolinas, cemitérios e lixões.

A forma de construção do poço é fundamental para garantir a qualidade da água captada e maximizar a eficiência da operação do poço e a exploração do aquífero. Entre os

fatores construtivos dos poços que podem representar risco à qualidade estão: a ausência de laje de proteção sanitária e altura inadequada da boca do poço, a não desinfecção do poço após a construção, a não cimentação do espaço anelar entre o furo e o poço, dentre outros (ANA, 2007).

Todo projeto de poço que vise a captação de água subterrânea para abastecimento público é regulamentado pela norma ABNT NBR- 12.212/2006, que define as condições cabíveis para preparação do projeto. Já a norma que regulamenta a execução do mesmo é a ABNT NBR-12.244/2006.

A ausência de saneamento representa um risco às águas subterrâneas pela infiltração das descargas das fossas negras e pelo escoamento superficial de esgotos. De forma geral, o impacto do lançamento de esgotos e de outros poluentes orgânicos sobre a qualidade das águas subterrâneas pode ser detectado pela elevação dos teores das concentrações de nitrato, assim como pela depleção de oxigênio dissolvido e aumento da DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio (ANA, 2007).

O chorume, constituído por produtos da degradação do lixo, que inclui metais pesados e altas concentrações de matéria orgânica, é uma importante fonte potencialmente poluidora. A infiltração do chorume contamina o solo e pode atingir a água subterrânea. A escolha, portanto, do local de disposição dos resíduos sólidos deve ser feita com cuidados e levando em consideração a localização dos aquíferos. Áreas com alto grau de vulnerabilidade, que apresentam nível de água raso e elevada permeabilidade favorecem a migração de contaminantes em subsuperfície (ANA, 2007).

Os cemitérios também constituem grande risco às águas subterrâneas. A lixiviação do necrochorume pode atingir aquíferos. A contaminação está relacionada à modificação da qualidade química das águas por substâncias tóxicas e à contaminação com microrganismos dos corpos em decomposição. A Resolução CONAMA nº 335/2003 dispõe sobre o licenciamento ambiental dos cemitérios e estabelece uma distância mínima de 1,5m entre a sepultura e o lençol freático.

O uso de fertilizantes e agrotóxicos na agricultura, sobretudo em terrenos próximos das áreas de recarga dos aquíferos, constitui risco potencial para as águas subterrâneas. Dentre os

componentes mais frequentes nos agrotóxicos destacam-se: a atrazina, o metolacoloro, o carbofuram e o diuron, todos de uso bastante expandido na cultura de cana-de-açúcar (ANVISA, 2009). A ação dos agrotóxicos sobre a saúde humana costuma ser deletéria, provocando desde náuseas, tonteados, dores de cabeça ou alergias até lesões renais e hepáticas, cânceres, e alterações genéticas. Essa ação pode ser sentida logo após o contato com o produto (os chamados efeitos agudos) ou após semanas/anos (são os efeitos crônicos) que, neste caso, muitas vezes requerem exames sofisticados para a sua identificação (UFRRJ, 2012).

O vazamento de derivados de petróleo no solo está muito bem representado pelo vazamento dos tanques de armazenamento de combustíveis, resultando na principal forma de contaminação do subsolo e, conseqüentemente, das águas subterrâneas. Os vazamentos em postos de combustíveis estão associados a problemas de instalação e, principalmente, à corrosão dos tanques, normalmente construídos com aço. Para a saúde pública, os hidrocarbonetos de petróleo apresentam, entre seus componentes, compostos-depressores do sistema nervoso central e carcinogênicos, como o benzeno (ANA, 2007).

Segundo Foster et. al. (2002), para uma abordagem do perigo de contaminação da água subterrânea deve-se considerar a interação entre a carga contaminante que é, ou poderá ser aplicada no solo como resultado da atividade humana e a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, conseqüência das características naturais dos estratos que o separam da superfície da terra.

### *2.2.2 Vulnerabilidade de aquíferos*

A expressão “vulnerabilidade do aquífero à contaminação” busca representar a sensibilidade de um aquífero aos efeitos adversos de uma carga contaminante a ele imposta. A vulnerabilidade do aquífero à contaminação considera o conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, o que determina sua suscetibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície (Foster, 1987).

A vulnerabilidade é função da acessibilidade ao aquífero saturado, no sentido hidráulico, à penetração dos contaminantes e da capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da zona saturada, resultante da retenção físicoquímica ou da reação dos contaminantes com o meio (FOSTER et. al., 2002).

O conceito de vulnerabilidade está intimamente relacionado ao perigo de contaminação da água subterrânea, sendo este definido como a probabilidade de que a água subterrânea na parte superior de um aquífero atinja níveis inaceitáveis de contaminação, em decorrência das atividades que se realizam na cobertura imediata da superfície do solo.

Existem diversas metodologias para a obtenção de uma medida da vulnerabilidade de um aquífero. Geralmente esses métodos propõem um índice de vulnerabilidade único e integrado, os quais consideram as características físicas do poço para obtenção deste índice e posteriormente expande para o aquífero todo. Entre os métodos mais utilizados destacam-se: Método GOD (Foster e Hirata, 1988), SINTACS (Civita et al., 1991), EPPNA (Eppna, 1998) e Método do Índice de Susceptibilidade (IS) (Francês et al., 2001), entre outros, diferenciáveis pela quantidade de parâmetros a serem considerados no cálculo do índice.

### **2.3 Enquadramento dos corpos d'água**

O enquadramento dos corpos d'água é um dos principais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, fundamental para a gestão da qualidade hídrica e para o planejamento ambiental, definidos pela Lei nº 9.433/1997. Esse instrumento foi conceituado pelo projeto Bacias Críticas (USP/UFPR, 2010) como o processo que envolve a definição do estado qualitativo que a sociedade pretenda dar a um dado corpo d'água, baseada nos aspectos ambientais, sociais e econômicos.

O enquadramento dos corpos d'água é essencial em bacias hidrográficas onde existem conflitos de uso, uma vez que os usos da água são condicionados pela sua qualidade: águas de melhor qualidade permitem usos mais exigentes.

No processo de enquadramento deve-se considerar o estado atual do corpo hídrico condicionado aos seus usos. Caso a situação atual atenda a todos os usos pretendidos, medidas devem ser tomadas para a sua proteção, de modo a evitar a degradação. Outro aspecto que

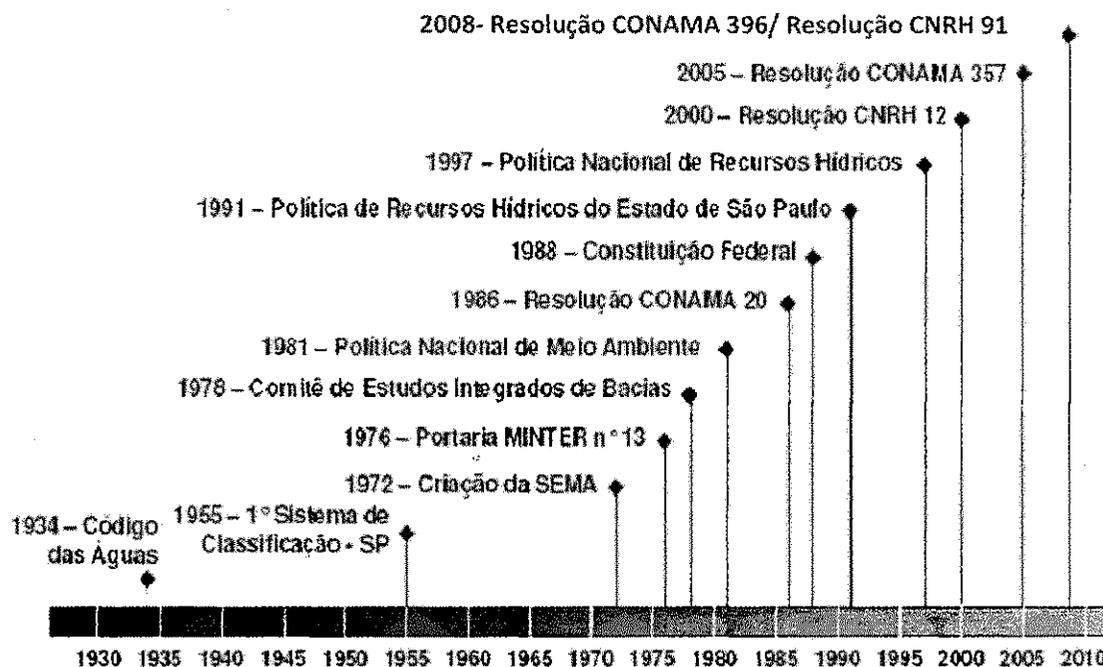
deve-se analisar é a vontade da sociedade que desconsidera as limitações técnicas e financeiras existentes, porém esses aspectos devem ser avaliados para a elaboração de uma meta realista e possível de ser alcançada.

Existem duas formas de se enquadrar um corpo de água: por classes de uso, como é o caso do Brasil, onde os padrões ambientais são definidos para cada classe de uso; ou por uso, quando se classifica o corpo de água diretamente pelos usos designados (USP/UFPR, 2010). Os padrões ambientais são valores fixados em resoluções, os quais estabelecem limites de um determinado parâmetro para o monitoramento da qualidade ambiental.

### *2.3.1 Histórico do enquadramento no Brasil*

Partindo das experiências de gestão da qualidade da água, o Brasil é reconhecido internacionalmente quanto aos seus instrumentos legais e institucionais para efetivação das metas de qualidade da água. Isto é demonstrado pela evolução das legislações (Figura 01). Tal reconhecimento veio a partir da Política Nacional de Recursos Hídricos com a definição do instrumento de gestão para o enquadramento dos corpos d'água e das resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente- CONAMA e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos- CNRH, que dão diretrizes para a implementação desse instrumento (DINIZ et. al., 2006).

A Figura 01 apresenta, em, ordem cronológica, os registros dos principais marcos legais relacionados ao enquadramento dos corpos d'água e à qualidade da água dos corpos hídricos.



Adaptado de USP/UFPR, 2007.

Figura 01-Linha do tempo do instrumento de Enquadramento

O código das águas de 1934 foi a primeira legislação brasileira de recursos hídricos e esta já estabelecia que "... a ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de terceiros" e ainda instituiu que "os trabalhos para a salubridade das águas sejam realizados à custa dos infratores que, além da responsabilidade criminal, se houver, também respondem pelas conseqüentes perdas e danos, e por multas impostas pelos regulamentos administrativos" (BRASIL, 1934).

Em 1955 o estado de São Paulo criou o 1º Sistema de Classificação das Águas do Brasil e enquadrou alguns rios de seu domínio por meio do Decreto Estadual nº 24.806/1955. Já na esfera federal, o primeiro sistema de enquadramento de corpos d'água foi após a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente – SEMA, órgão subordinado ao Ministério do Interior, que através da Portaria nº 13/1976 instituiu o enquadramento das águas doces em classes, conforme os usos preponderantes a que as águas se destinam. Após a criação dessa portaria alguns estados realizaram o enquadramento de seus corpos d'água com base nesse normativo, são eles: São Paulo (1977), Alagoas (1978), Santa Catarina (1979) e Rio Grande do Norte (1984) (ANA, 2007).

Em 1978 foram criados os Comitês de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas para diversos rios brasileiros em busca de uma gestão descentralizada e participativa. Dentre os estudos desses comitês destacam-se os de enquadramento dos corpos d'água das bacias do rio Paranapanema, em 1980, e do rio Paraíba do Sul, em 1981, (ANA, 2007).

Em 1981 foi instituída a Política Nacional do Meio Ambiente através da Lei nº 6.938/81, que foi considerada um marco na gestão dos recursos hídricos por obrigar que os instrumentos de comando-controle estejam associados aos padrões de qualidade das águas e por criar o Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA (DINIZ et. al., 2006).

Nesse sentido, em 1986, foi criada a Resolução nº 20/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que substituiu a Portaria nº 13/1976. Esta resolução estabeleceu uma nova classificação para as águas doces, salobras e salinas do território nacional, distribuídas em nove classes e conceituou o enquadramento como estabelecimento de meta e a classificação como a qualificação com base nos parâmetros.

A Constituição Federal de 1988 foi um importante marco para a gestão das águas, porque apresentou diretrizes que devem ser incorporadas na gestão dos recursos hídricos e também por conceder à União atribuição para instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A Constituição definiu, ainda, a dominialidade das águas, em seu art 26 quando incluiu entre os bens dos Estados as águas subterrâneas.

Em 1991, o Estado de São Paulo instituiu sua Política Estadual de Recursos Hídricos, por meio da Lei nº 7.663/1991, a qual definiu o enquadramento dos corpos d'água como um de seus instrumentos legais. Após seis anos, em 08 de janeiro de 1997, foi instituída a Lei nº 9.433/1997, que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que tem como um de seus instrumentos o enquadramento dos corpos d'água.

Em 2000, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH elaborou a Resolução nº 12/2000 que estabeleceu os procedimentos para o enquadramento dos cursos d'água em classes de qualidade, determinando as competências para elaboração e aprovação da proposta de enquadramento, bem como as etapas a serem seguidas. Em 2005 o CONAMA publicou a Resolução nº 357/2005, revogando a Resolução nº 20/1986. Essa resolução dispõe sobre a

classificação dos corpos de água superficiais e institui diretrizes ambientais para o enquadramento dos mesmos, como também estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. As águas do território brasileiro foram classificadas em doces, salobras e salinas, e distribuídas em 13 classes de acordo com a qualidade requerida para os seus usos preponderantes.

Após três anos da edição da resolução que trata especificamente das águas superficiais, o CONAMA publicou a Resolução nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. A classificação dessas águas é feita em 6 classes.

Ainda no ano de 2008, o CNRH estabeleceu a Resolução nº 91/2008, que revogou a Resolução nº 12/2000 e dispôs sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. O grande diferencial entre essas resoluções foi a inserção das águas subterrâneas no processo de enquadramento e o fato de considerá-las parte do mesmo ciclo hidrológico.

### *2.3.2 Estudos do enquadramento das águas subterrâneas no Brasil*

O enquadramento tem providências tanto na Lei nº 9.433/1997, quanto nas políticas estaduais de muitos estados. O Ceará, Goiás, Paraíba, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina e Tocantins, não têm em sua Política Estadual de Recursos Hídricos o enquadramento como instrumento, embora o mesmo deva subsidiar a outorga e a cobrança pelo uso da água.

Algumas bacias possuem enquadramentos antigos baseados na Portaria nº 13/1976 do Ministério do Interior ou na Resolução CONAMA nº 20/1986, como é o caso do estado da Paraíba, entre outros. Já com relação aos rios de domínio da União, na década de 80 foram desenvolvidos estudos de enquadramento dos corpos hídricos superficiais das bacias dos rios Paraíba do Sul, Paranapanema, Guaíba, São Francisco, Jari, Iguaçu, Jaguarí/Piracicaba, Paranaíba, Ribeira do Iguape e Pardo/Mogi (ANA, 2007).

A resolução para o enquadramento dos corpos d'água subterrâneos é relativamente nova, do ano de 2008, por isso muitos estados estão ainda em fase de estudo de seus aquíferos

para enquadrá-los, como é o caso de São Paulo. Este foi o primeiro estado brasileiro a dispor de valores próprios de referência de qualidade da água subterrânea, para a avaliação dos graus de poluição do solo e das águas subterrâneas. Note-se que tais valores foram criados anteriores à resolução e desenvolvidos pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo.

O projeto "Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas", chamado de "ASUB", no qual esta pesquisa está inserida, estudou os critérios para o enquadramento dos corpos d'água subterrâneos em bacias dos estados da Paraíba, Alagoas e Rio Grande do Sul. O projeto é executado pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), co-executado pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), tendo por intervenientes técnicos a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA) e o Instituto do Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA).

### *2.3.3 O Enquadramento de corpos d'água e os demais instrumentos de gestão*

A Política Nacional de Recursos Hídricos tem como uma de suas diretrizes gerais a integração entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental, como também a articulação da gestão dos recursos hídricos com a do uso do solo, além da integração entre os instrumentos da própria PNRH. Segundo Porto (2002), o enquadramento dos corpos d'água é um dos instrumentos mais importantes para a articulação entre os instrumentos de gestão associando a quantidade e a qualidade.

O enquadramento dos corpos d'água é um instrumento de Gestão de Recursos Hídricos (GRH) que relaciona-se com os demais instrumentos de GRH tais como outorga, cobrança, planos e sistemas de informações; e com instrumentos de gestão ambiental, como o licenciamento e o zoneamento.

A definição das metas de melhoria da qualidade dos corpos de água, as medidas que serão tomadas, os programas e os projetos a serem desenvolvidos e implantados, devem estar bem definidos na elaboração dos Planos de Recursos Hídricos. As prioridades de uso para a

outorga do direito de uso, respeitando a classe em que o corpo de água estiver enquadrado também deve constar nos planos. Já com a cobrança pelo uso da água, o enquadramento relaciona-se em vários aspectos, pois quanto melhor a qualidade que se pretenda atingir em um corpo d'água, maior é o custo a ser arrecadado pelos usuários. Também observa-se essa relação na formulação da cobrança, na qual deverá ser considerada a classe do enquadramento do corpo hídrico.

Os planos de uso do solo, o zoneamento e o licenciamento ambiental controlam as atividades potencialmente poluidoras, ponderando a contaminação lançada ao meio ambiente, e auxiliando para atingir ou manter a meta de enquadramento estabelecida.

#### *2.3.4 Aspectos legais e institucionais do enquadramento das águas subterrâneas no Brasil*

A lei nº 9.433/1997 estabelece como um dos seus objetivos assegurar a necessária disponibilidade de água a atual e às futuras gerações em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Para isso define o enquadramento dos corpos d'água como uma forma de atingir tal objetivo. O artigo 10 da PNRH determina que *"as classes de corpos d'água serão estabelecidas pela legislação ambiental"*, portanto a sua implementação exige integração entre o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SINGREH e o Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA. O enquadramento dos corpos hídricos dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH e os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

Entre os normativos que dão suporte ao enquadramento das águas subterrâneas estão a Resolução CNRH nº 107/2010, que estabelece as diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de uma Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas, considerando o monitoramento das águas subterrâneas essencial para estabelecer a referência de sua qualidade, a fim de viabilizar o seu enquadramento em classes.

*Resolução CNRH nº 91/2008*

A Resolução nº 91/2008 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos institui que o enquadramento dos corpos de água se dará por meio do estabelecimento de classes de qualidade, conforme disposto nas Resoluções CONAMA nºs 357/2005 e 396/2008. E terá como referências básicas a bacia hidrográfica, como unidade de gestão, e os usos preponderantes mais restritivos.

De acordo com a resolução, a proposta de enquadramento deverá ser desenvolvida em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, preferencialmente durante a sua elaboração, devendo conter diagnóstico, prognóstico, propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento e programa para efetivação. A elaboração da proposta de enquadramento deve considerar, de forma integrada e associada, as águas superficiais e subterrâneas, com vistas a alcançar a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade compatíveis com os usos preponderantes identificados. Tal proposta deve ser elaborada conforme o fluxograma da Figura 02.

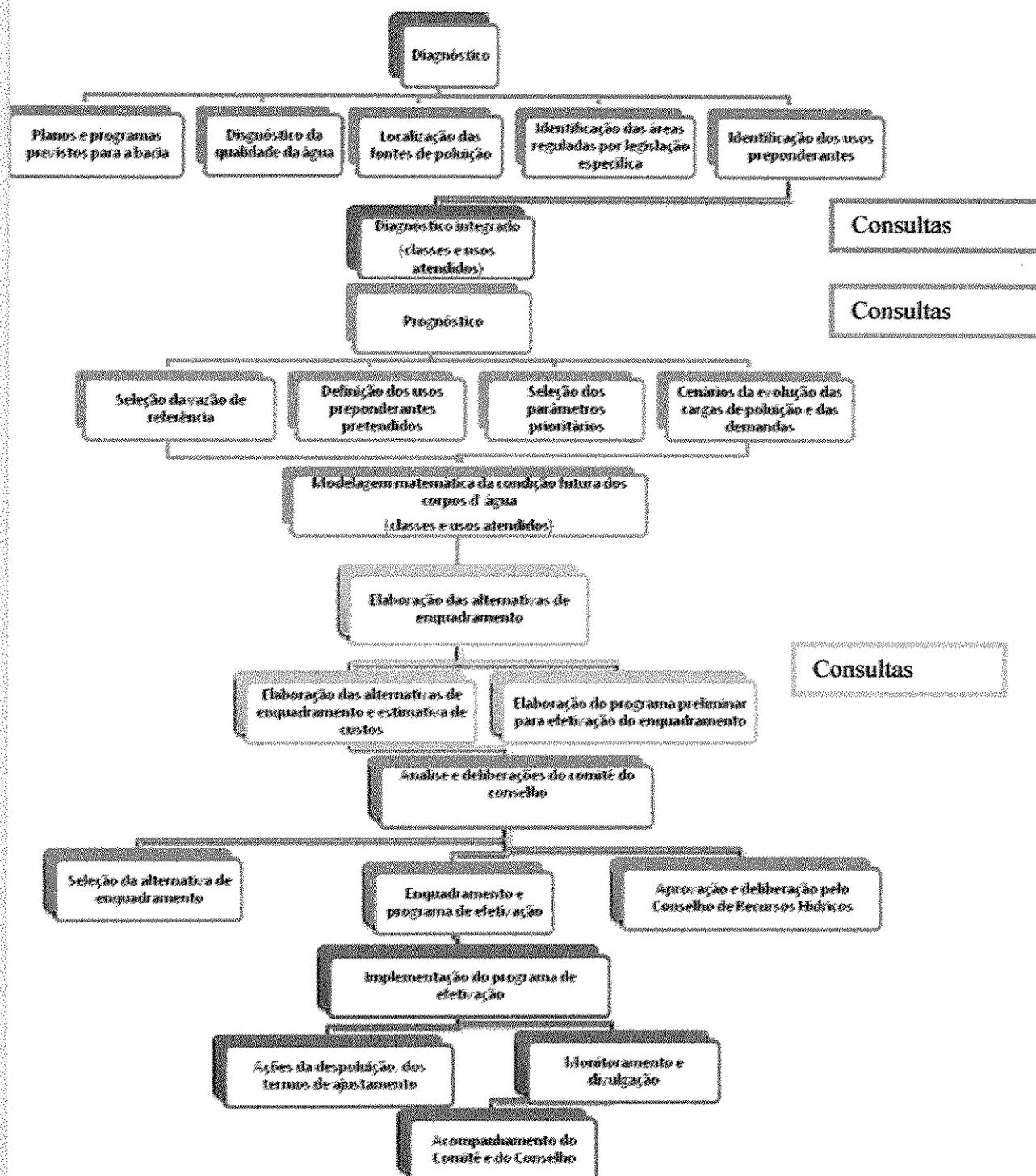


Figura 02- Etapas do processo de enquadramento (adaptado de ANA, 2009)

Na etapa de diagnóstico deve ser reunido o maior número de informações possíveis sobre a situação atual qualitativa e quantitativa da bacia hidrográfica, do uso e ocupação do solo, do uso dos recursos hídricos, localização das fontes potencialmente poluidoras, mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição dos recursos hídricos, arcabouço legal e institucional, planos e programas existentes, localização de áreas regulamentadas por legislação específica, caracterização socioeconômica da bacia hidrográfica e também a capacidade de investimento em ações de gestão de recursos hídricos. Essas informações deverão ser sistematizadas para construir um diagnóstico da situação dos recursos hídricos da bacia.

Para o prognóstico devem ser avaliados os impactos sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, advindos da implementação dos planos e programas de desenvolvimento previstos. Tais planos e programas devem considerar a realidade regional da bacia com horizontes de curto, médio e longo prazo, formulados de acordo com cenários de projeções de potencialidade, disponibilidade e demanda da água, cargas poluidoras de origem urbana, industrial, agropecuária e de outras fontes causadoras de alteração, degradação ou contaminação dos recursos. Também devem ponderar as condições de quantidade e qualidade e os usos pretendidos de recursos hídricos considerando as características específicas de cada bacia.

Na elaboração da proposta de enquadramento as informações obtidas nas etapas de diagnóstico e prognóstico devem ser analisadas em conjunto, para o estabelecimento das classes do enquadramento. As propostas devem ser elaboradas com vistas ao alcance ou manutenção das classes de qualidade de água desejada e devem ser identificadas as fontes de recursos para implementação das ações do programa de efetividade do enquadramento. Na etapa de análise e deliberações do Comitê da Bacia e do Conselho de Recursos Hídricos, o Comitê deverá analisar e selecionar uma das propostas de enquadramento elaboradas e seu respectivo Programa de Efetivação do Enquadramento, considerando a efetividade das ações para a recuperação, viabilidade técnica e econômica, custo em relação à redução da carga poluidora e a viabilidade financeira do projeto. Uma vez aprovada pelo Comitê da Bacia, a proposta de enquadramento é encaminhada para o Conselho (Estadual ou Nacional) para

aprovação e então é implantado o Programa de Efetivação do Enquadramento. Ressalte-se aqui a importância de se fazer o monitoramento para certificar ou revisar a meta de enquadramento.

*Resolução CONAMA nº 396/2008*

A Resolução CONAMA nº 396/2008 estabelece que o enquadramento das águas subterrâneas será realizado por aquífero, conjunto de aquíferos ou porções desses, na profundidade onde estão ocorrendo as captações para os usos preponderantes, devendo ser considerados, no mínimo, a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica, a caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição, o cadastramento de poços existentes e em operação, o uso e a ocupação do solo e seu histórico, a viabilidade técnica e econômica das metas, a localização das fontes potenciais de poluição, a qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.

A classificação das águas subterrâneas é feita em seis classes (Tabela 01). Nessa classificação, as águas subterrâneas da classe especial deverão ter suas condições de qualidade naturais mantidas. Os padrões das classes 1 a 4 deverão ser estabelecidos com base nos Valores de Referência de Qualidade – VRQ, determinados pelos órgãos competentes, e nos Valores Máximos Permitidos – VMP, para cada uso preponderante, observados os Limites de Quantificação Praticáveis – LQPs, apresentados na resolução. Para o enquadramento das águas subterrâneas em classe 5 ficam estabelecidos, como condicionantes, que as mesmas estejam em aquíferos, conjunto de aquíferos ou porções desses, confinados, e que apresentem valores de Sólidos Totais Dissolvidos superiores a 15.000mg/L.

Tabela 01- Classes de águas subterrâneas segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008

Classe	Destinação
<b>Classe Especial</b>	Preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e às águas subterrâneas que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficiais enquadrados como classe especial.
<b>Classe 1</b>	Aquíferos sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
<b>Classe 2</b>	Aquíferos sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
<b>Classe 3</b>	Aquíferos com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
<b>Classe 4</b>	Aquíferos com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente podem ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.
<b>Classe 5</b>	Áquíferos que podem estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinados a atividades que não tenham requisitos de qualidade para uso.

As classes deverão ser escolhidas em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente. Dentre os parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos - SDT, nitrato e coliformes termotolerantes. (CONAMA, 2008).

A resolução também estabelece que os órgãos competentes deverão monitorar os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea, com base naqueles selecionados, tais como pH, turbidez, condutividade elétrica e medição do nível de água. A frequência inicial do monitoramento deverá ser no mínimo semestral e definida em função das características naturais dos aquíferos, das fontes de poluição e dos usos pretendidos, podendo ser reavaliada após um período representativo.

De acordo com essa resolução, a aplicação e a disposição de efluentes e de resíduos no solo deverão observar as exigências e os critérios definidos pelos órgãos competentes e não poderão conferir às águas subterrâneas características em desacordo com o seu enquadramento.

Os órgãos ambientais em conjunto com os órgãos gestores dos recursos hídricos deverão promover a implementação de Áreas de Proteção de Aquíferos e Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento, objetivando a proteção da qualidade da água subterrânea. Para locais onde seja necessária a restrição do uso ou da captação da água para proteção dos aquíferos, da saúde humana e dos ecossistemas, os órgãos ambientais, em conjunto com os órgãos gestores dos recursos hídricos e da saúde, deverão promover a implementação de Áreas de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea, em caráter excepcional e temporário. Tais restrições deverão ser observadas no licenciamento ambiental, no zoneamento econômico-ecológico e na implementação dos demais instrumentos de gestão ambiental.

#### *Aspectos institucionais do enquadramento dos corpos d'água*

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.831/1981) estabelecem as competências das instituições responsáveis pelo enquadramento e a implementação desse instrumento, conforme apresentado na Tabela 02.

Tabela 02- Instituições que participam da elaboração e efetivação do enquadramento no Brasil

Instituição	Atribuições
Conselho Nacional de Recursos Hídricos/Conselho Estadual de Recursos Hídricos	- Avaliar os relatórios do enquadramento e as sugestões do comitê, determinando providências e intervenções no âmbito do SGRH necessárias para atingir as metas.
Secretaria Executiva do CNRH/CERH	- Apoiar técnica, administrativa e financeiramente o CNRH/CERH.
Comitê de Bacia	- Selecionar e aprovar a proposta de enquadramento e elaborar sugestões para a efetivação do enquadramento.
União, Estados, Municípios	- Exercer os poderes legislativo, executivo e judiciário em função da efetivação do enquadramento; - Planejar e fiscalizar as metas; - Garantir orçamento para a efetivação das metas e; - Participar do processo decisório do Comitê.
Agência Nacional de Águas/Agências de Bacia	- Propor alternativas de metas; - Secretariar as atividades do Comitê e; - Adotar providências visando a efetivação do enquadramento.
Órgão de Gestão de Recursos Hídricos/Órgão de Gestão Ambiental	- Monitorar, controlar e fiscalizar o cumprimento das metas e; - Elaborar relatórios identificando o cumprimento do enquadramento, submetendo-os ao CNRH/CERH.
Prestadores de Serviços de Saneamento	- Elaborar planos em função da efetivação do enquadramento.

Fonte: BRITES et al, 2009

Como apresentado na Tabela 02, a elaboração e efetivação do enquadramento dos corpos d'água dependem da articulação de diversas instituições, onde cada uma deve desempenhar suas funções dentro do processo de enquadramento.

O enquadramento representa um meio de integração entre a gestão ambiental e a gestão de recursos hídricos, pois sua implementação exige a articulação entre os órgãos gestores dessas duas instâncias, uma vez que tanto o órgão gestor de recursos hídricos quanto o órgão de gestão ambiental tem a função de, juntos, monitorar, controlar e fiscalizar a efetivação das metas de enquadramento. Com o processo de elaboração das metas, um dos setores que mais ganha destaque é o de saneamento, visto que a principal fonte de poluição das águas são os esgotos doméstico, seguido das indústrias e do escoamento superficial de águas servidas. Deste modo, a efetiva implementação da meta depende também de uma forte articulação dos Comitês de Bacia com o Setor de Saneamento, a fim de promover a elaboração dos Programas

de Efetivação do Enquadramento, que inclui o saneamento da bacia em última instância (ANA, 2009).

Os Comitês de Bacia têm a responsabilidade de cobrar de todos os envolvidos no processo de enquadramento que as metas sejam cumpridas. Na ausência da figura da Agência de Bacias, os Comitês de Bacia também estabelecem metas para o enquadramento. O Conselho de Recursos Hídricos deve acompanhar a implementação do enquadramento por meio de monitoramento realizado pelos órgãos gestores de meio ambiente e de recursos hídricos.

#### **2.4 Identificação dos critérios de enquadramento dos corpos d'água subterrâneos**

Os órgãos ambientais fazem uso de vários instrumentos para a proteção da qualidade e quantidade das águas subterrâneas. São eles: licenciamento ambiental e fiscalização de fontes potencialmente poluidoras, monitoramento da qualidade da água, estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, zoneamento ambiental, elaboração de sistemas integrados de informação, classificação e enquadramento das águas subterrâneas, controle da contaminação do solo e os Planos de Recursos Hídricos.

A resolução CONAMA 396/2008 considera a necessidade de integração das Políticas Nacionais de Gestão Ambiental, de Gestão de Recursos Hídricos e de Uso e Ocupação do Solo, a fim de garantir os desempenhos social, econômico e ambiental das águas subterrâneas, uma vez que o uso e a ocupação do solo afetam diretamente a qualidade da água dos aquíferos. O normativo considera também que *"a prevenção e o controle da poluição estão diretamente relacionados aos usos e classes de qualidade de água exigida para um determinado corpo hídrico subterrâneo"*.

O art. 29 dessa resolução estabelece que a proposta de enquadramento da água subterrânea deve considerar, no mínimo, os critérios de:

##### *1 - Caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica*

As características hidrogeológicas de movimento, direção de fluxo, volume, distribuição e qualidade, são aspectos a serem considerados no processo de enquadramento. A partir dos

conhecimentos da direção de fluxo, do movimento das águas e de sua distribuição no subsolo pode-se fazer uma previsão de contaminação por uma fonte de poluição localizada na superfície e em que direção este contaminante está percolando. Através da avaliação da hidrogeoquímica da água subterrânea, principalmente das substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas da água, pode-se verificar a existência de contaminação por atividade antrópica e das características naturais dessas águas e a partir dessa avaliação definir o tipo de tratamento requerido para os determinados usos. Esses usos definem o nível ou classe para o enquadramento.

### *II - Caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição*

A vulnerabilidade deve também ser observada durante a elaboração da proposta de enquadramento. Para definir a vulnerabilidade de contaminação de um aquífero, são necessários estudos hidrogeológicos, como extensão da área de recarga, qualidade das águas subterrâneas e profundidade do nível de água e a partir desses dados fazer a avaliação dos riscos. O conceito de vulnerabilidade está ligado diretamente a esses estudos e difere do risco de poluição, sendo o risco dependente da vulnerabilidade e da existência de cargas poluidoras, pois, é possível existir um aquífero com alto índice de vulnerabilidade, mas seu risco devido à ausência de carga poluente, sem risco de poluição; ou exatamente o inverso, um aquífero com baixo índice de vulnerabilidade, porém com um risco de poluição considerável. Daí a importância de distinguir-se vulnerabilidade e risco de poluição. O risco é causado não apenas pelas características intrínsecas do aquífero, na maioria das vezes muito estáveis, mas também pela existência de atividades poluentes, fator dinâmico que, em princípio, pode ser controlado (LOBO FERREIRA E OLIVEIRA, 2003 apud SOUZA, 2009).

A proteção dos aquíferos abrange o conceito de perigo de contaminação, que pode ser definido pela interação e associação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga contaminante aplicada no solo ou em subsuperfície. Esta interação de fatores admite ponderar o grau de ameaça de poluição a que um aquífero está suscetível (FOSTER & HIRATA apud ZOBY, 2008).

### *III - Cadastramento de poços existentes e em operação*

A quantidade de poços existentes no local é de grande importância para a qualidade da água e conseqüentemente para o processo de enquadramento. A densidade de poços e seu regime de bombeamento interferem na disponibilidade da água dos aquíferos, e, com isso, na qualidade da água extraída.

### *IV - Uso e ocupação do solo e seu histórico*

Os usos e a ocupação do solo da bacia devem ser considerados no processo de enquadramento, uma vez que estes interferem tanto na qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos quanto na elaboração e efetivação das metas. Os poços localizados em locais mais urbanizados estão mais suscetíveis a contaminação, assim como a proximidade de fontes potencialmente poluidoras.

O uso e a ocupação do solo, bem como seu histórico, definem os planos e programas de desenvolvimento previstos para a efetivação das metas. As metas são formuladas de acordo com cenários de projeções de diversos intervenientes da qualidade da água subterrânea, entre eles, o mapa de uso e ocupação do solo, seu histórico e estudos da evolução e alterações desse processo.

### *V - Viabilidade técnica e econômica do enquadramento*

A viabilidade técnica e econômica, o custo em relação à redução da carga poluidora e à viabilidade financeira do projeto, o cronograma de implementação e os agentes responsáveis pelas ações são elementos analisados para a elaboração e atingimento da meta. Segundo Porto (2002), os aspectos técnicos indicam a viabilidade de implantação do tipo de tratamento e de controle da poluição que sejam eficientes para os objetivos a serem alcançados no corpo hídrico. Os aspectos econômicos dizem respeito aos investimentos feitos nas soluções de tratamento e controle de poluição, já que estes refletem o tempo em que se deseja atingimento as metas de enquadramento.

### *VI - Localização das fontes potenciais de poluição*

A identificação e localização das fontes potencialmente poluidoras da água subterrânea, e a distância destas fontes de contaminação até o ponto de captação da água ou dos locais de recarga de aquíferos, são componentes de grande relevância para a avaliação da qualidade da água. Com base na localização destas fontes pode-se apontar a possível causa de contaminação da água e então elaborar ações de gestão para redução desta poluição. As fontes de contaminação mais comuns das águas subterrâneas são: cemitérios, lixões, indústrias, uso de agrotóxicos e fertilizantes, fossas sépticas, tanques de postos de combustíveis, entre outros.

#### *VII - Qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.*

A partir das análises físicas, químicas e biológicas dessas águas pode-se fazer a sua classificação, analisar se a classe na qual é classificado satisfaz os usos que lhe forem atribuídos, e então elaborar metas a serem atingidas. A classificação é a qualificação das águas subterrâneas em função de padrões de qualidade que possibilitam o seu enquadramento. Esta definição de classes ocorre através da condição de qualidade apresentada pelas águas subterrâneas, ao longo do tempo, frente aos requisitos de qualidade dos usos.

Os parâmetros de qualidade a serem monitorados selecionados deverão ser escolhidos em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente. Dentre os a serem parâmetros selecionados, deverão ser considerados, no mínimo, Sólidos Totais Dissolvidos, nitratos e coliformes termotolerantes. Os resultados dessas análises deverão ser reproduzidos em laudos contendo a identificação do local de amostragem, data e horário de coleta, indicação do método de análise utilizado para cada parâmetro, limites das técnicas de quantificação praticados pelo laboratório, resultados dos "brancos" de cada um dos métodos, incertezas de medição de cada parâmetro e ensaios de adição.

#### *VIII- Qualidade da água superficial*

A interconexão entre as águas superficiais e subterrâneas também deve ser considerada na proposta de enquadramento dos aquíferos ou poços, uma vez que ambas participam do mesmo ciclo hidrológico, visto que as águas subterrâneas são responsáveis pelo escoamento de

base dos rios em época de estiagem e as águas superficiais são as que alimentam o aquífero. Então, a partir dos resultados da análise da qualidade das fontes superficiais, é possível verificar se as águas superficiais podem ou não contaminar o aquífero, situação esta que pode ocorrer no caso de as águas superficiais adquirirem condições de carga hidráulica superiores às das águas subterrâneas.

O art 31. da resolução CONAMA nº 396/2008 estabelece que os estudos para enquadramento das águas subterrâneas deverão observar a interconexão hidráulica com as águas superficiais, visando compatibilizar as respectivas propostas de enquadramento.

## **2.5 Experiência Internacional**

Em pesquisa sobre os sistemas de gestão da qualidade das águas de outros países observou-se a existência de um instrumento para a proteção da qualidade das águas subterrâneas, o qual classifica e projeta metas de melhoria da qualidade, assim como o enquadramento instituído no Brasil, porém com outra designação.

A política governamental dos Estados Unidos institui um grau de independência aos estados, observando diferenças, quando se trata da forma de estabelecer critérios e objetivos de qualidade das águas subterrâneas de um estado para outro. Como a União Europeia é constituída de 27 países, observa-se que a legislação de recursos hídricos é muito abrangente, para poder considerar as particularidades dos países. Já o Canadá é um país caracterizado por possuir abundância de água. Diante disto, a seguir serão apresentados os sistemas de classificação e objetivos das águas subterrâneas de alguns estados dos Estados Unidos (Texas, Connecticut e Carolina do Norte), União Europeia e Canadá.

### *Estados Unidos*

A entidade federal responsável pelo estabelecimento dos critérios de qualidade da água nos Estados Unidos é a United States Environmental Protection Agency (USEPA), a agência ambiental norteamericana, que desenvolve e recomenda critérios nacionais da qualidade da água a serem aplicados pelos estados norteamericanos.

A organização política dos Estados Unidos é fundamentada no elevado grau de independência dos estados. Isto também é aplicado à gestão dos recursos hídricos, e os estados são responsáveis por definirem os objetivos de qualidade e a escolha dos parâmetros que melhor representem os usos desejados e as condições naturais do local. Entretanto a USEPA define regras gerais que devem ser consideradas, a exemplo da Lei da Água Potável (*Safe Drinking Water Act*), a qual estabelece ações para proteção das águas superficiais e subterrâneas utilizadas para o consumo humano. Essa lei citada estabelece também que o órgão gestor, os estados e os sistemas de abastecimento de água devem trabalhar juntos para garantir o cumprimento das normas. Dessa forma, o estado é o principal articulador para a classificação das águas estatais. Dentre os estados dos EUA que possuem os seus corpos d'água subterrâneos classificados estão: Texas, Connecticut, Carolina do Norte, Nova Jersey, Utah e Califórnia (FABIANO VICZ & SILVA JUNIOR, 2007).

No estado do Texas, a Assembleia Legislativa reconheceu a importância das águas subterrâneas quando criou, em 1989, o Comitê de Proteção das Águas Subterrâneas do Texas (TGPC- *Texas Groundwater Protection Committee*), com a finalidade de desenvolver e atualizar as estratégias de proteção das águas subterrâneas do estado fornecendo diretrizes para a prevenção da contaminação e para a conservação destes recursos. O TGPC é composto por nove representantes de órgãos estaduais e do *Texas Alliance of Groundwater Districts* (TAGD), sendo este responsável também pela classificação dos corpos d'água subterrâneos. A classificação usado distribuí em 4 classes (Tabela 03) estabelecidas com base na concentração dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

Tabela 03- Classes de águas subterrâneas do estado do Texas - EUA

Classe	STD (mg/L)	Usos	Medidas tomadas pelas agências responsáveis
<b>Doce</b>	0 – 1.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo humano e todos os outros usos</li> </ul>	Proteção ou medidas de reabilitação com base no uso atual (consumo humano)
<b>Levemente salina</b>	1.000 – 3.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo humano, quando não houver água da classe doce disponível</li> <li>• Animal</li> <li>• Irrigação</li> <li>• Industrial</li> <li>• Extração mineral</li> <li>• Produção de petróleo e gás</li> </ul>	Mesmo que o anterior
<b>Moderadamente salina</b>	3.000 – 10.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água com potencial futuro para consumo humano e para os animais e irrigação, quando não tiver águas da classe ligeiramente salina</li> <li>• Industrial</li> <li>• Extração mineral</li> <li>• Produção de petróleo e gás</li> </ul>	Mesmo que o anterior
<b>Muito salina</b>	Maior que 10.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extração mineral</li> <li>• Produção de petróleo e gás</li> </ul>	Proteção ou medidas de reabilitação com base no consumo humano

Fonte: TGPC, 2003

O sistema de classificação é implementado pelas agências membros do TGPC sendo a classificação integrante dos programas de proteção das águas subterrâneas, servindo como base comum para a proteção destes recursos. A classificação é utilizada, no Texas, como uma ferramenta de mapeamento para delimitar áreas de proteção e um instrumento de planejamento para identificar a disponibilidade das águas subterrâneas para futuro potencial de uso (TGPC, 2003).

No estado Carolina do Norte, a Divisão de Qualidade da Água (*Division of Water Quality-DWQ*), órgão subordinado ao Departamento do Meio Ambiente e dos Recursos

Naturais (DENR), é a agência responsável por regulamentar os programas estaduais de proteção das águas subterrâneas (DENR, 2010). A DWQ é responsável pela proteção e preservação de recursos hídricos subterrâneos da Carolina do Norte através de estratégias de prevenção da poluição e programas de monitoramento da qualidade, permitindo ações de proteção. Os aquíferos são classificados, de acordo com o uso, condição e ocorrência, em 3 classes (Tabela 04).

Tabela 04- Classes de águas subterrâneas do estado da Carolina do Norte- EUA

Classe	Uso	Condição	Ocorrência
<b>Classe GA</b>	Fonte real ou potencial de abastecimento para consumo humano.	Destinada aos usos em que as concentrações de cloreto são iguais ou inferiores a 250mg /L, e ao uso potável em seu estado natural, mas que pode necessitar de tratamento para melhorar a qualidade relacionada com as condições naturais.	Na zona saturada do aquífero.
<b>Classe GSA</b>	Fonte real ou potencial de abastecimento de água mineral potável e conversão para águas doces.	Destinada aos usos em que as concentrações de cloreto, devido às condições naturais é superior a 250 mg /L, mas que pode ser considerada adequada ao consumo humano após tratamento para reduzir as concentrações das substâncias naturalmente presentes.	Na zona saturada do aquífero.
<b>Classe GC</b>	Fonte de abastecimento de água para outros fins além de beber, incluindo outros usos domésticos por seres humanos.	Esta categoria inclui as águas subterrâneas que não cumprem os critérios de qualidade para GA ou GSA e para as quais os esforços para melhorar a qualidade não seriam tecnologicamente viáveis, ou não no melhor interesse do público.	Subterrâneas desta classe devem ser definidas pela Comissão nos termos da Seção 0,0300 desta mesma regulamentação, de acordo com o caso.

Fonte: DENR, 2011

Para cada classe são listados os valores limites dos parâmetros e a cada três anos o estado da Carolina do Norte é obrigado a rever seus padrões de qualidade e as concentrações máximas admissíveis, a fim de verificar se ocorreram as mudanças desejadas e uma possível alteração de classe. A última atualização dos padrões ocorreu em 2008 e a lista tinha cerca de 160 padrões de acordo com a classe, tendo como referência os padrões estabelecidos pela USEPA, na lei *Drinking Water Standards*, entre outras normas que serviram como base para elaboração dessa lista. No caso das substâncias que, naturalmente, possam exceder o valor do padrão estabelecido, o padrão será a concentração natural.

No estado de Connecticut, o Departamento de Proteção Ambiental, que estabelece os padrões de qualidade e classificação dos corpos d'água, tem como um de seus objetivos a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas e a restauração dos aquíferos degradados a fim de garantir o uso designado. Em 2011, este departamento publicou o *Water Quality Standards (WQS)*, um documento dividido em três componentes: normas e padrões, critérios e mapas de classificação. Estes três elementos são adotados por meio de processos com a participação pública de acordo com o Estatuto Geral de Connecticut, sendo revistos a cada três anos. A participação pública consiste em reuniões, audiências públicas e notificações.

Na seção de normas das águas subterrâneas estão inclusas orientações políticas para: classificação, antidegradação, fontes de poluição, bem como as políticas de prevenção da poluição. A segunda parte trata de critérios descrevendo os parâmetros permitidos e as metas de classificação da qualidade. Já a parte final trata dos mapas de classificação que mostram cada classe em que se enquadrou o corpo hídrico, revelando, também, os usos designados.

O sistema de classificação deste estado enquadra as águas subterrâneas em quatro classes, sendo que algumas contêm subclasses, como indica a Tabela 05.

Tabela 05- Classes de águas subterrâneas do estado de Connecticut - EUA

Classe		Uso destinado
GAA	GAA	Águas subterrâneas adequadas para beber sem tratamento. Águas de abastecimento público ou individual.
	GAAs	Águas subterrâneas com fluxo conectadas hidráulicamente com a água de superfície.
GA		Potenciais fontes públicas ou privadas de água adequada para beber sem tratamento.
GB		Águas de processo industrial e de refrigeração. Usadas também para consumo humano com tratamento adequado.
GC		Assimilação de descargas autorizadas pelo Estatuto Geral.

\*G: Groundwater, ABC: do uso mais nobre ao menos. Fonte: Connecticut Department of Energy & Environmental Protection, 2011

#### *União Europeia*

A gestão de recursos hídricos na União Europeia é governada pela Diretiva 2000/60/CE, que estabelece um quadro de ações no âmbito da política das águas. A diretiva tem a finalidade de prevenir a degradação da qualidade dos corpos de águas superficiais e subterrâneas, instituindo ferramentas de controle para assegurar a gestão sustentável, com medidas de monitoramento, proteção e purificação dessas águas e garantir o equilíbrio entre a extração e a demanda (PARLAMENTO EUROPEU, 2000).

A Diretiva 2006/118/CE trata, exclusivamente, da proteção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração. Tal diretiva considera as águas subterrâneas como um recurso natural valioso devendo ser protegido. Estabelece critérios para a avaliação do bom estado químico das águas subterrâneas e critérios para a identificação e mudança de disposições significativas e persistentes para o aumento das concentrações de poluentes e para a definição dos pontos de monitoramento. Este documento dá suporte às políticas das águas dos países integrantes da União Europeia. Assim, os países membros devem instituir os seus parâmetros em forma de normas, incluindo os padrões para a identificação da ocorrência da intrusão salina, ou de qualquer outra substância poluente.

*The United Kingdom's Technical Advisory Group on the Water Framework Directive* (UKTAG) é o órgão que assessora tecnicamente a Agência Ambiental e as Administrações Governamentais do Reino Unido. A UKTAG desenvolveu um sistema de classificação das águas subterrâneas baseado na DQA, que especifica os parâmetros que serão utilizados para a classificação do estado qualitativo da água subterrânea de acordo com a situação quantitativa do aquífero, chamado de "bom estado quantitativo", e segundo a concentração dos poluentes, chamado de "bom estado químico".

O processo de classificação é realizado em quatro etapas: (1) desenvolvimento de um modelo conceitual, (2) avaliação da qualidade, (3) determinação do estado e (4) reavaliação (UKTAG, 2007).

Na fase de desenvolvimento do modelo conceitual é observada a dinâmica da água subterrânea, como ela interage com os rios, a taxa de fluxo e outros aspectos. Este modelo é utilizado como precursor para determinação do estado da água, sendo uma representação de como a água subterrânea se comporta no meio. Na segunda fase são feitos testes na água para identificar a ocorrência da intrusão salina ou outras substâncias poluentes, identificar áreas com água potável, avaliar a qualidade geral da água de acordo com as normas e por fim, realizam-se análises que possibilitem a determinação do balanço hídrico, analisando o equilíbrio entre as retiradas e a recarga do aquífero. Todos os dados do monitoramento juntamente com o modelo conceitual auxiliam na fase de determinação do estado, onde se recomenda que se utilizem dados de seis anos para a classificação, assim este resultado deve ser usado na definição de prioridades dentro do Plano da Bacia Hidrográfica (UKTAG, 2007).

#### *Canadá*

A Política Federal das Águas do Canadá (*Federal Water Policy*) institui que o governo federal organizará estratégias para a avaliação e proteção das águas subterrâneas, realizando investigações e elaborando projetos de desenvolvimento e tecnologia com práticas sustentáveis de manejo da água subterrânea. A estrutura federal do Canadá divide as responsabilidades de governo entre o governo federal e os governos das dez províncias, então a gestão de recursos

hídricos de domínio das províncias tem seus normativos estabelecidos pelo governo da província.

Na província da Colômbia Britânica, onde 25% do abastecimento público é feito através de poços, o sistema de classificação se baseia em duas componentes (*BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002*):

1. Classificação para categorizar os aquíferos, e
2. Um ranking para indicar a importância relativa do aquífero.

A classificação e os valores do ranking são determinados para os aquíferos como um todo, e não por partes dos aquíferos. A classificação é feita de acordo com o nível de desenvolvimento (Tabela 06) e a vulnerabilidade à contaminação (Tabela 07), sendo a classe do aquífero um resultado da composição dessas duas componentes.

As subclasses de desenvolvimento são determinadas pela avaliação da demanda versus produtividade (recarga). Já as subclasses da vulnerabilidade de um aquífero à contaminação de fontes de superfície são avaliadas com base em: espessura, tipo e extensão do material geológico que cobre o aquífero, profundidade da água (ou topo de aquíferos confinados), e dos tipos de materiais do aquífero. E a classe do aquífero é a combinação das três subclasses de desenvolvimento e três subclasses de vulnerabilidade, resultando em nove classes do aquífero (Tabela 08). Por exemplo, um aquífero com classe IA seria fortemente desenvolvido com alta vulnerabilidade à contaminação, enquanto um IIIC seria levemente desenvolvido com baixa vulnerabilidade (*BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002*).

Tabela 06-Subclasses do nível de desenvolvimento utilizadas na Columbia Britânica

Subclasse	I	II	III
Descrição	Pesado	Moderado	Leve
Critério	A demanda é alta relativa à produtividade.	A demanda é moderada relativa à produtividade.	A demanda é baixa relativa à produtividade.

Fonte: (*BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002*)

Tabela 07- Subclasses da vulnerabilidade utilizadas na Columbia Britânica

Subclasse	A	B	C
Descrição	Alto	Moderado	Baixo
Critério	Altamente vulnerável à contaminação da superfície.	Moderadamente vulnerável à contaminação da superfície.	Não muito vulnerável à contaminação da superfície.

Fonte: (BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002)

Tabela 08- Classificação das águas subterrâneas na Columbia Britânica

Classe	I	II	III
A	IA-pesado desenvolvimento, alta vulnerabilidade.	IIA-moderado desenvolvimento, alta vulnerabilidade.	IIIA-leve desenvolvimento, alta vulnerabilidade.
B	IB-pesado desenvolvimento, moderada vulnerabilidade.	IIB-moderado desenvolvimento, moderada vulnerabilidade.	IIIB-leve desenvolvimento, moderada vulnerabilidade.
C	IC-pesado desenvolvimento, baixa vulnerabilidade.	IIC-moderado desenvolvimento, baixa vulnerabilidade.	IIIC-leve desenvolvimento, baixa vulnerabilidade.

Fonte: (BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002)

O componente ranking é a medida numérica de prioridade de um aquífero, fornecido pelo valor de classificação do mesmo. O valor de classificação é determinado pela soma das pontuações para cada um dos seguintes critérios hidrogeológicos e de uso da água: produtividade, tamanho, vulnerabilidade, demanda, tipo de uso, implicações de risco à saúde e as preocupações com a quantidade (Tabela 09). As pontuações finais possíveis no ranking variam de um mínimo de cinco e máximo de vinte e um; quanto maior a pontuação do ranking, maior a prioridade do aquífero (BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002).

Tabela 09- Cálculo para o ranking de prioridade utilizado na Columbia Britânica

Critério	Justificativa	Pontuação		
		1	2	3
<b>Produtividade</b>	Abundância de recurso	Baixo	Moderado	Alto
<b>Vulnerabilidade</b>	Potencial para degradação	Baixo	Moderado	Alto
<b>Tamanho</b>	Regionalização do recurso	<5 km <sup>2</sup>	5-25 km <sup>2</sup>	>25 km <sup>2</sup>
<b>Demanda</b>	Nível de confiança para o abastecimento	Baixo	Moderado	Alto
<b>Tipo de uso</b>	Diversidade dos usos que o recurso pode suprir	Água não-potável	Água potável	Múltiplo uso
<b>Interesse qualitativo</b>	Interesse real	Isolado	Local	Regional
<b>Interesse quantitativo</b>	Interesse real	Isolado	Local	Regional

Fonte: (BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002)

A classe do aquífero e a posição no ranking estão relacionadas de forma que, juntas, possam fornecer informações descritivas e quantitativas sobre o aquífero. A aplicação do sistema de classificação para o aquífero ajuda a definir seu potencial na gestão das águas subterrâneas na província. A classificação é mostrada em forma de mapa para auxiliar na delimitação de zonas de proteção. Dos 153 aquíferos identificados, 10% têm qualidade/quantidade preocupantes e 10% são consideradas altamente desenvolvidas (BC Ministry of Water, Land and Air Protection, 2002).

Ao fazer uma comparação com o sistema de enquadramento das águas subterrâneas do Brasil com os demais países vistos, observa-se que o sistema brasileiro é mais completo com relação às variáveis que se deve considerar para a elaboração das propostas de metas, englobando os principais critérios de alteração da qualidade das águas subterrâneas.

## CAPÍTULO III – CASO DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentadas a localização e a caracterização da área de estudo, bem como o zoneamento estabelecido no Projeto ASUB (UFCG/UFAL/UFSM, 2010) para o enquadramento. Apresentam-se também os estudos dos critérios já estabelecidos para a área de estudo.

### 3.1 Localização

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba é dividida em três sub-bacias: Baixo, Médio e Alto Paraíba. A região em estudo é a Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco, inserida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba (Figura 03). A área de estudo tem 1.129,35 km<sup>2</sup> e abrange no total ou parcialmente 10 municípios: Bayeux, Cabedelo, Cruz do Espírito Santo, Lucena, a capital do estado – João Pessoa, Mari, Pedras de Fogo, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Sapé.

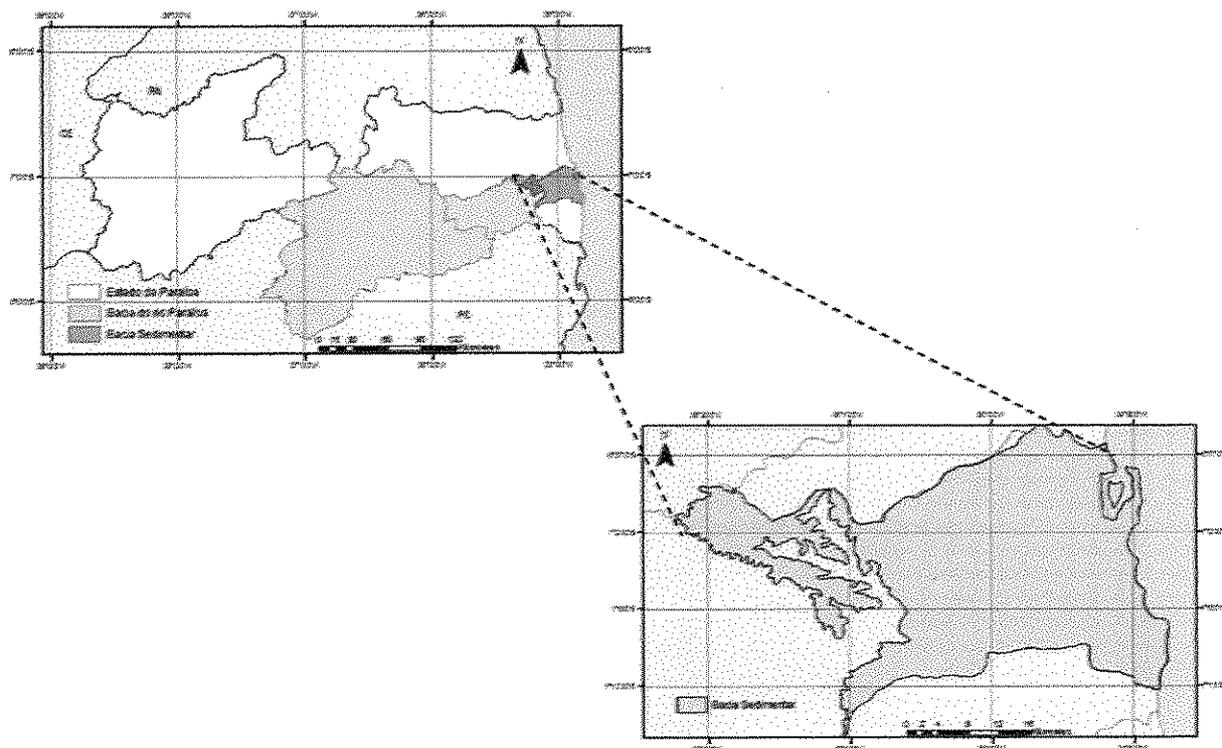


Figura 03- Localização da área de estudo no mapa do estado da Paraíba

### *3.1.1 Características Fisiográficas*

A temperatura média mensal anual da Região do Baixo Curso do rio Paraíba está em torno de 25,6 °C, com mínimo de 19,7°C e máximo de 31,2 °C, atingindo valores máximos nos meses de janeiro e fevereiro. A umidade relativa do ar varia de 76,7% a 84,8%, com os valores máximos entre os meses de junho e julho e os mínimos entre novembro e dezembro (PARAÍBA, 2006). De acordo com Araújo et. al. (2008), o período chuvoso da região acontece de abril a julho e o seco de setembro a março.

A precipitação média anual é em torno de 1.500 mm, com variações entre 1.200 e 1.700 mm, com valores decrescentes para o interior do estado. A evaporação anual varia entre 1.300 a 1.800 mm. De acordo com a classificação climática de Köeppen, a Região do Baixo Curso do rio Paraíba possui clima do tipo Aw'i, ou seja, tropical úmido com estação seca na primavera e variação de temperatura mensal do ar ao longo do ano praticamente desprezível (PARAÍBA, 2006).

### *3.1.2 Características Hidrogeológicas*

O sistema aquífero Paraíba-Pernambuco tem por arcabouço geológico a bacia sedimentar Paraíba-Pernambuco, de origem tectônica preenchida por sedimentos continentais e marinhos constituintes das Formações Beberibe Inferior, de arenitos de granulometria variada, com base de conglomerados; Beberibe Superior também denominada Itamaracá, composta em sua maior parte de arenitos calcíferos, com intercalações de litologias pelíticas, todas estas formações de idades Cretáceas. Elas são cobertas, em sua parte mais litorânea, pela Formação Barreiras, originada no Terciário e por sedimentos fluvio-marítimos (areias, calcários conchíferos etc.), aluviais (areias, siltes e argilas) e de praias (areias finas), inclusive dunas, de idades quaternárias. Falhamentos desenvolvidos durante e após o processo de sedimentação desempenharam um importante papel na hidrogeologia regional e local do sistema aquífero. A falha de gravidade de Cabedelo preservou todo o pacote de sedimentos depositados na bacia. Assim, ocorrem nesta área dois subsistemas aquíferos: um sistema livre ou não-confinado, contido na Formação Barreiras e nos sedimentos fluvio-marítimos constituinte da Planície Costeira e mais areias aluviais e de praias, possuindo espessura entre 20 e 70 metros; e um

contido na Formação Barreiras e nos sedimentos fluvio-marítimos constituinte da Planície Costeira e mais areias aluviais e de praias, possuindo espessura entre 20 e 70 metros; e um subsistema confinado, sotoposto, contido nas Formações Beberibe Inferior e Superior, com espessura entre 200 e 350 metros, tendo como camada confinante superior a formação Gramame e o Cristalino como embasamento confinante inferior (Figura 04) (MEDEIROS, et. al., 2009).

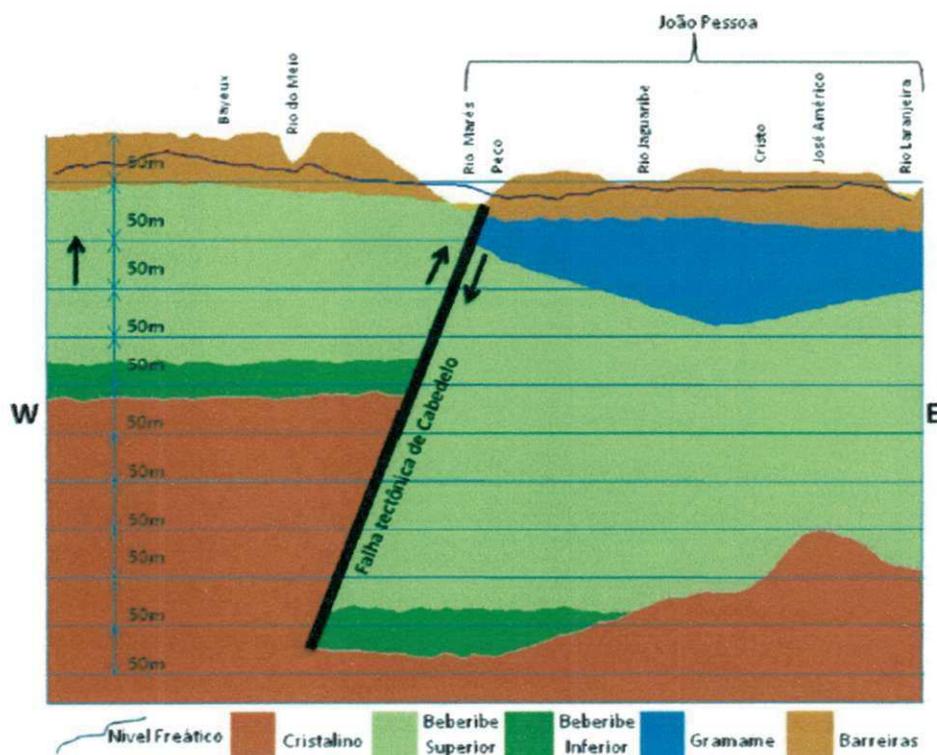


Figura 04- Corte geológico da Bacia Sedimentar Costeira PB-PE (UFCG/UFAL/UFSM, 2010)

### 3.1.3 Caracterização Socioeconômica

Dos municípios da área de estudo, os mais desenvolvidos economicamente são João Pessoa e Cabedelo. A Tabela 10 mostra as populações e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de cada município da área de estudo. Na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, verifica-se baixo percentual de esgotamento sanitário, apenas 26,87% dos 279.560 domicílios da área (PARAÍBA, 2006).

Tabela 10- Dados socioeconômicos das municípios inseridas na área de estudo

<b>Município</b>	<b>Número de Habitantes*</b>	<b>IDH**</b>
<b>Bayeux</b>	99.716	0,689
<b>Cabedelo</b>	57.944	0,757
<b>Cruz do Espírito Santo</b>	16.257	0,547
<b>Lucena</b>	11.730	0,604
<b>João Pessoa</b>	723.515	0,783
<b>Mari</b>	21.176	0,56
<b>Pedras de Fogo</b>	27.032	0,568
<b>Santa Rita</b>	120.310	0,659
<b>São Miguel do Taipu</b>	6.696	0,524
<b>Sapé</b>	50.143	0,556
<b>BRASIL</b>	194.946.470	0,718

Fonte: \* IBGE (2010)

De acordo com o cadastro da Federação da Indústria da Paraíba - FIEP (2006), a região possui cerca de 75 empresas de grande e médio porte, dentre elas, indústrias de extração mineral, têxteis, preparação de couros, de fabricação de produtos químicos, entre outros ramos de atividades. Na região também existem grandes áreas de plantações, sobretudo de cana-de-açúcar, abacaxi, inhame e mandioca.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba, PERH-PB (PARAÍBA, 2006), estimou para 2008 que a demanda de água da Região do Baixo Curso do rio Paraíba fosse de 196.035.140 m<sup>3</sup>/ano, sendo 51% desse valor apenas para a irrigação, como mostra. Vale destacar que os dados disponíveis no Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba referem-se à toda a Região do Baixo Curso do rio Paraíba, no entanto, a área de estudo deste trabalho está limitada a região sedimentar da Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

### 3.2 Zoneamento da Área de Estudo

A área em estudo apresenta características distintas em termos hidrológicos, geológicos e de uso do solo, tendo sido dividida em sete zonas de gerenciamento no âmbito do projeto ASUB (UFCG/UFAL/UFSM 2010; COSTA, 2009).

- Zona 1

A Zona 1 é formada pelas exposições mais interiores da bacia sedimentar. É caracterizada pela presença do cristalino entre as exposições sedimentares (exumação erosiva do cristalino), e composta pelos açudes de médio porte, São Salvador e Pacatuba. Esta zona contém a bacia hidrográfica do rio Una definida pela seção transversal, a partir da qual o rio penetra completamente no domínio da bacia sedimentar costeira.

- Zona 2

A Zona 2 é definida como a área topograficamente delimitada pela Bacia do rio Soé, desemboca na foz do rio Paraíba, na cidade de Cabedelo. Hidrogeologicamente, na margem esquerda do rio Pau Brasil-Tapira encontra-se a formação geológica Beberibe Inferior. A leste do rio Tapira até o final da zona, o subsistema é livre, formado pelos aquíferos Barreiras, Beberibe Superior e Beberibe Inferior. Esta zona abrange parte dos municípios de Lucena e Santa Rita, possuindo uma área de 255,47 km<sup>2</sup>. Não possui uma quantidade significativa de poços cadastrados, porém, segundo visitas a região, percebeu-se a intensa exploração da água subterrânea para irrigação, especialmente de cana-de-açúcar.

- Zona 3

A Zona 3 situa-se ao sul da Bacia do rio Soé, limitada pela falha norte, que marca o horst do rio Paraíba. Contém a Bacia Hidrográfica do rio Engenho Novo e os afluentes pela margem esquerda do rio Una, onde se encaixam as falhas geológicas do horst do rio Paraíba. Hidrogeologicamente é definida a leste pelo subsistema livre, conforme descrito na zona 2. Até a falha Tibiri/Tapira é definida pelo aquífero Beberibe Inferior. Totalizando uma área de 135,95 km<sup>2</sup>, abrangendo parcialmente os municípios de Santa Rita e Cruz do Espírito Santo. A zona não possui muitos poços cadastrados.

- Zona 4

A Zona 4 corresponde geologicamente ao horst do rio Paraíba, onde se estabeleceu o vale deste rio. É a região das várzeas do rio Paraíba. Hidrogeologicamente é definida por uma formação do subsistema livre representado pelo aquífero aluvial e pelos sedimentos flúvio-marítimos. Totaliza uma área de 154,54 km<sup>2</sup>, abrangendo parcialmente os municípios de Santa Rita, Cruz do Espírito Santo, Bayeux, João Pessoa e Cabedelo. Esta zona também não possui uma quantidade significativa de poços cadastrados, porém a água subterrânea é bastante utilizada para irrigação de diversas culturas.

- Zona 5

A Zona 5 é definida pelos limites norte ocidentais da bacia sedimentar PB-PE, os quais se prolongam até o curso do rio Preto (afluente do rio Paraíba), correspondente a parte da falha que limita ao sul o citado horst do rio Paraíba. Esta zona é marcada para o leste pela falha dos rios Tibiri/Tapira e ao sul pelo limite da Bacia Hidrográfica do rio Gramame. Hidrogeologicamente é a zona de presença do aquífero Beberibe. Possui área de 118,43 km<sup>2</sup>, abrangendo parcialmente os municípios de Santa Rita, Cruz do Espírito Santo, São Miguel de Itaipu e Pedras de Fogo. Trata-se de uma região que utiliza a água subterrânea para os mais diversos usos.

- Zona 6

A Zona 6 é limitada pela falha dos rios Tibiri/Tapira, pelo rio Paraíba e pela falha de Cabedelo. O limite sul corresponde ao divisor da Bacia Hidrográfica do rio Gramame. Hidrogeologicamente é contida no subsistema livre, constituído pelas formações Barreiras (topo), Beberibe Superior e Beberibe Inferior (base). Totaliza uma área de 66,86 km<sup>2</sup>, abrangendo parcialmente os municípios de Santa Rita, Bayeux e João Pessoa. Apresenta uma quantidade significativa de poços cadastrados, como pode ser visto no mapa da Figura 05. Também é uma região que utiliza a água subterrânea para os mais diversos usos.

- Zona 7

- Zona 7

A Zona 7 é individualizada pela falha de Cabedelo a oeste, pelo oceano ao norte e a leste e pelo divisor de bacia do rio Gramame ao sul. Hidrogeologicamente trata da zona mais completa, integrada pelo subsistema livre contido nas formações Barreiras, Aluviais e depósitos flúvio-marítimos da planície costeira e pelo subsistema confinado contido nas formações Beberibe Superior e Inferior. A zona é limitada no topo pelo calcário Gramame e na base pelo cristalino que ocorre em subsuperfície. Totalizando uma área de 169,40 km<sup>2</sup>, abrangendo os municípios de João Pessoa e Cabedelo. Apresenta uma quantidade significativa de poços cadastrados, os quais são utilizados para os mais diversos usos. Esta zona também apresenta grande concentração de fontes poluidoras de águas subterrâneas, pois abrange a Região Metropolitana de João Pessoa.

O subsistema aquífero no qual encontram-se as zonas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 pode ser considerado, genericamente, como um subsistema livre, em que a formação Beberibe é aflorante. A zona 7 é a única da região em estudo que apresenta a formação completa do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco, sendo assim, a formação Beberibe encontra-se confinada pelos calcários da formação Gramame.

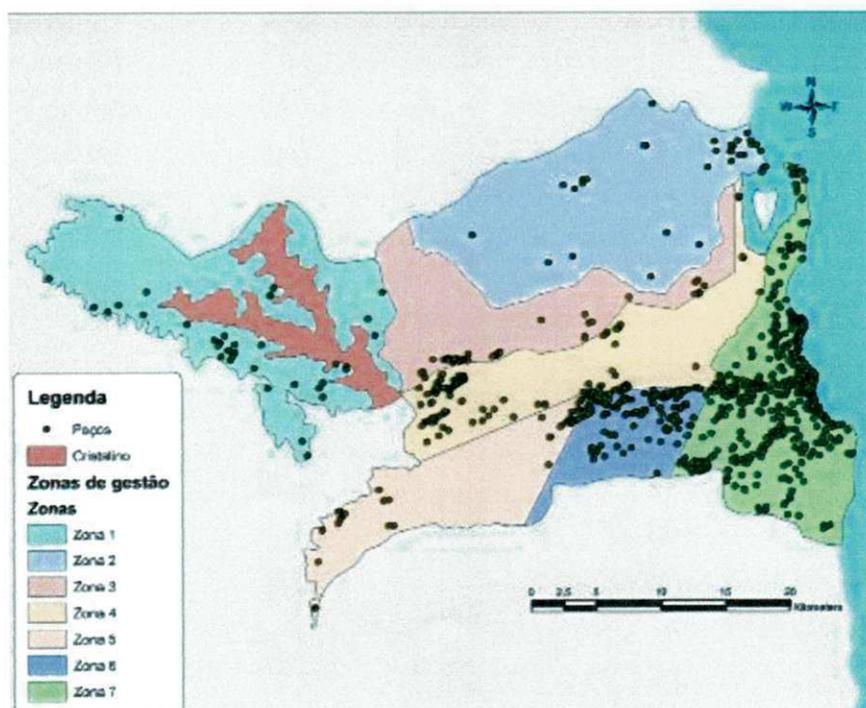


Figura 05 – Zoneamento da área estudada (UFCG/UFAL/UFSM, 2010)

A zona 7 é a região escolhida para o estudo de enquadramento das águas subterrâneas, pela importância em termos de uso da água e por ser a região mais urbanizada que contém as duas principais cidades da região: João Pessoa e Cabedelo. Ambas apresentam o maior número de fontes potencialmente poluidoras quando comparadas com as outras zonas. Além disso, esta zona apresenta a formação completa do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco. O município de João Pessoa apresenta economia diversificada e distribuída no setor secundário, com indústrias de bebidas alcoólicas, usinas de beneficiamento e destilaria de cana-de-açúcar, além de fábricas do setor calçadista e têxtil. No comércio destaca-se o mercado de exportação de peixes, além da criação de crustáceos nos manguezais que formam principais rios que compõem a rede hidrográfica (BATISTA, 2010).

A zona escolhida apresenta quantidade significativa de poços cadastrados, em torno de 900, segundo o levantamento feito nos cadastros da Agência Executiva de Gestão das Águas – AESA, conforme Costa et. al. (2007) e de acordo também com o Sistema de Informações das Águas Subterrâneas – SIAGAS, do Serviço Geológico do Brasil.

Dentre os poços cadastrados, 63% são destinados ao abastecimento predial, incluídos todos os usos domésticos, desde lavagem de áreas externas até consumos mais nobres como o humano. Isto foi observado em visitas a estes prédios, onde foi possível verificar também que na maioria deles não existia tratamento (ex. cloração) adequado da água antes do consumo. Destaca-se que 10% dos poços são destinados ao abastecimento público, que são os poços administrados (explorados) pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA, a qual destina a água à rede de abastecimento público após o devido tratamento, de modo que as características dessa água satisfaçam a Portaria 2914/2011. Ressalta-se ainda que nem todos esses poços administrados pela CAGEPA se encontram em funcionamento. Observa-se que 17% são utilizados para fins comerciais, como os dos lava-jatos, e 8% são para o uso industrial. Ainda, 1% dos poços é destinado para irrigação e 1% para lazer em balneários (Figura 06).

### Demandas da Água Subterrânea na zona 7

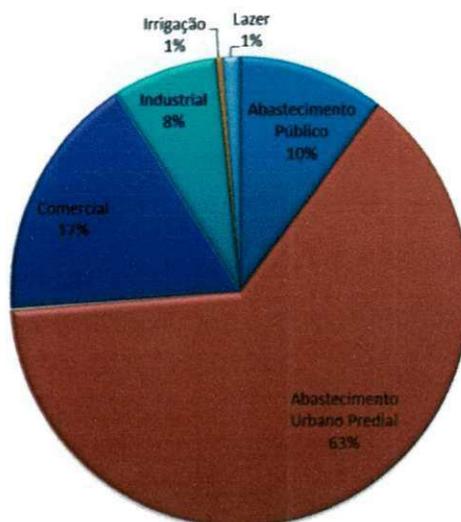


Figura 06 – Usos da água subterrânea na zona 7

Com relação à geologia da zona 7, esta é caracterizada pela ocorrência do embasamento cristalino, com presença de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas, e terrenos sedimentares na região litorânea. O mapa da Figura 07 mostra a distribuição superficial das formações geológicas Barreiras, Beberibe Superior, Gramame e Sedimentos aluviais e fluvio-marítimos que são constituintes da Planície Costeira, das dunas, dos sedimentos de praia e dos aluviões que ocorrem nos vales dos rios e riachos que se instalaram na superfície da bacia sedimentar (ASUB, 2010).

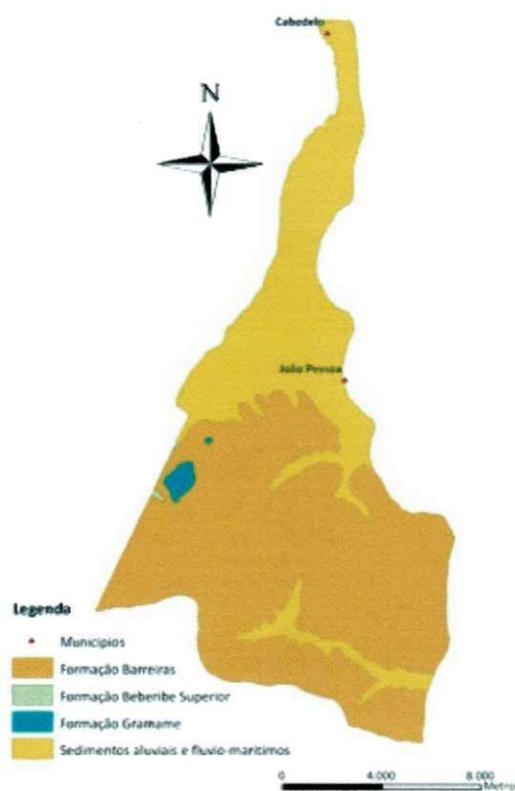


Figura 07- Distribuição da camada superficial das formações geológicas da zona 7 da área de estudo (Fonte: BATISTA, 2010)

A formação Beberibe é uma sequência que se inicia com arenitos continentais, quartzozos, com uma espessura que pode atingir em território paraibano, até 100m, com média de 50m, em geral, sem fósseis. São arenitos médios, finos e grossos, cinzentos, cremes, vermelhos e roxos, mal selecionados, apresentando grãos subangulosos e subarredondados, com componente argiloso. A formação Gramame envolve uma porção sedimentar com até 102m de espessura, com média de 50m, formado por calcários argilosos cinzentos de fácies marinha plena, com algumas intercalações finas de argila, geralmente bioturbadas, e camadas de margas e argilas mais puras. A formação Barreiras é uma sequência de areias, siltes e argilas, repetida irregularmente na dimensão vertical, com predominância ora da litologia arenosa, ora da siltosa, ou ainda da argilosa, apresentando granulometrias e cores variadas (COSTA et al, 2007).

### 3.3 Estudos para a zona 7

A seguir apresentam-se os estudos realizados para a zona 7.

#### 3.3.1 Caracterização Hidrogeológica

Batista (2010) aplicou um modelo matemático que representou o comportamento hidrogeológico na zona 7, área de estudo, para subsidiar a Gestão de Águas Subterrâneas. Com isto, obteve-se o maior número de informações físicas em cadastros de poços e em visitas de campo. Com todas as informações, foi construído o mapa geológico regional que permitiu o entendimento dos aspectos relacionados com a geologia, hidrografia e hidrogeologia da Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do rio Paraíba. Além dessas informações pré-existentes, foram utilizados dados de medições *in loco*, feitas durante o desenvolvimento do projeto: foram realizadas duas campanhas de medições de níveis estáticos, uma em julho de 2009, quando foram visitados 31 poços e obteve-se medidas em 18 deles; e outra campanha em outubro de 2009, quando 19 poços foram visitados e em 11 poços foram medidos os níveis estáticos. Todos os poços medidos eram administrados pela CAGEPA.

Para a simulação do fluxo subterrâneo na área de estudo, Batista (2010) utilizou o programa MODFLOW contido no pacote computacional PMWIN (Processing Modflow for Windows – versão 7.0). Este aplicativo simula o fluxo bidimensional ou tridimensional em meios porosos e oferece alternativas para simulações de aquíferos confinados, não confinados, ou uma combinação de confinados e não confinados.

Com base nas informações, nos dados levantados e após a modelagem de fluxo, Batista (2010) observou que o aquífero livre é recarregado pelas chuvas e pelo sistema fluvial que descarrega neste e diretamente ao mar. A recarga do aquífero confinado ocorre exclusivamente em alguns trechos da fronteira deste (parte noroeste e sudoeste) através do fluxo subterrâneo horizontal proveniente de regiões vizinhas, nas quais a formação Beberibe aflora à superfície e o aquífero passa a ser livre e a interagir diretamente com o sistema atmosférico (precipitação e evaporação). A descarga do aquífero confinado acontece diretamente no mar. A Figura 08 mostra a direção do fluxo horizontal no aquífero confinado Beberibe.



Figura 08 – Mapa de Distribuição Superficial das Formações Geológicas e fluxo horizontal (→) no aquífero Beberibe (BATISTA, 2010)

Outro resultado muito importante obtido da análise de Batista (2010) diz respeito às taxas de bombeamento dos poços. A área total foi subdividida em 4 subáreas, as quais possuem a mesma condutividade hidráulica. Obteve-se a taxa de bombeamento para cada área, assim tem-se uma ideia da quantidade de água explorada e quais os locais que o uso é mais intenso.

A Tabela 11 apresenta as taxas de bombeamento para cada área demarcada no mapa da Figura 09.

Tabela 11– Taxas de Bombeamento e condutividade hidráulica por áreas (BATISTA, 2010)

Áreas	Taxas de Bomb. (m <sup>3</sup> /d)	Condutividade Hidráulica	
		(m/d)	(m/s)
01	-	6,5	7,52 X 10 <sup>-05</sup>
02	27.500	6,0	6,94 X 10 <sup>-05</sup>
03	11.750	1,5	1,74 X 10 <sup>-05</sup>
04	13.250	13,5	1,56 X 10 <sup>-04</sup>

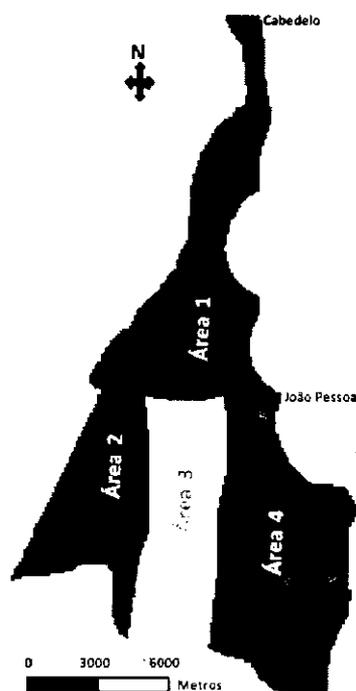


Figura 09- Divisão de áreas de acordo com a condutividade hidráulica (BATISTA, 2010)

### 3.3.2 Caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição

Para a avaliação da vulnerabilidade da área de estudo, Medeiros et. al. (2011) utilizaram o método GOD no qual são considerados o grau de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero e a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero. Com base em tais considerações, o índice de vulnerabilidade GOD (Foster, 1987; Foster e Hirata, 1988) caracteriza a vulnerabilidade do aquífero à contaminação conforme os seguintes parâmetros:

- G - Grau de confinamento da água subterrânea;
- O - Ocorrência de estratos de cobertura;
- D - Distância até o lençol freático ou o teto do aquífero confinado.

Para cada parâmetro acima há um respectivo índice, de acordo com a Figura 10. O produto dos três índices determina o grau de vulnerabilidade do aquífero (Tabela 12).

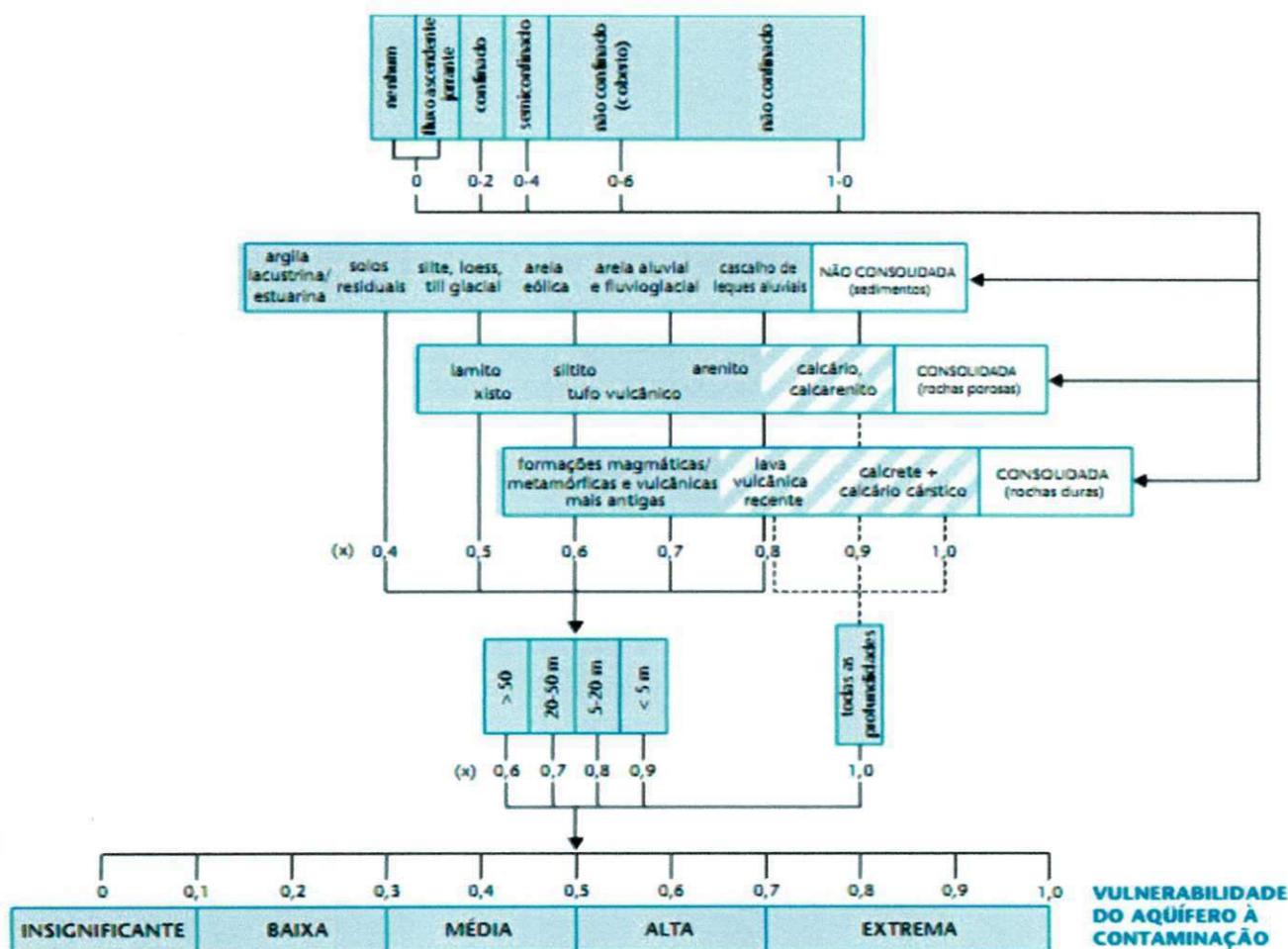


Figura 10 – Método de vulnerabilidade GOD (FONTE: Manoel Filho & Feitosa, 2008)

Para o grau de confinamento da água subterrânea foi indexado a escala de 0,0 a 1,0. A especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero é determinada em termos do grau de consolidação e pela característica da litologia de permeabilidade e a porosidade do solo da zona não saturada, levando a uma segunda pontuação, numa escala de 0,4 a 1,0. O último parâmetro estima a profundidade até o lençol freático, no caso dos aquíferos livres, ou a profundidade do primeiro nível principal da água, para aquíferos confinados, com uma classificação na escala de 0,6 a 1,0.

Tabela 12- Grau de vulnerabilidade do aquífero

Intervalo	Classe	Características
0,0 – 0,1	Insignificantes	Desconsidera as camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos.
0,1 – 0,3	Baixa	Vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado.
0,3 – 0,5	Média	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado.
0,5 – 0,7	Alta	Vulneráveis a muitos poluentes, exceto àqueles menos móveis e pouco persistentes.
0,7 – 1,0	Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação.

(FONTE: Manoel Filho &amp; Feitosa, 2008)

Para a implementação do modelo de vulnerabilidade GOD, é necessário que toda a informação envolvida seja representada por *planos de informação espacial* e que os mapas resultantes sejam obtidos a partir da modelagem destes planos. Para a obtenção dos mapas utilizou-se a extensão Spatial Analyst Tool, do ArcGIS 9.2® realizando uma interpolação dos valores de cada parâmetro dos poços para área de estudo. Essa operação permitiu obter mapas em formato matricial onde os pixels indicam os valores dos parâmetros interpolados para todo o espaço amostral.

Utilizou-se o método IDW que corresponde à interpolação entre cada ponto como uma influência local, diminuindo à medida que a distância entre os pontos aumenta. Este método apresentou valores mais próximos entre o dado observado e o medido.

Para este estudo, foram selecionados 30 poços na área de estudo e no seu entorno (Figura 11), sendo 21 poços do cadastro da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA, 3 do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (SIAGAS, 2010) e 6 da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba – CDRM, sendo todos os poços do aquífero livre. As informações contidas nos cadastros referem-se à localização, ao perfil litológico, nível estático, tipo de aquífero entre outros.

® ArcGIS 9.2 , Spatial Analyst são marcas registradas da ESRI inc.

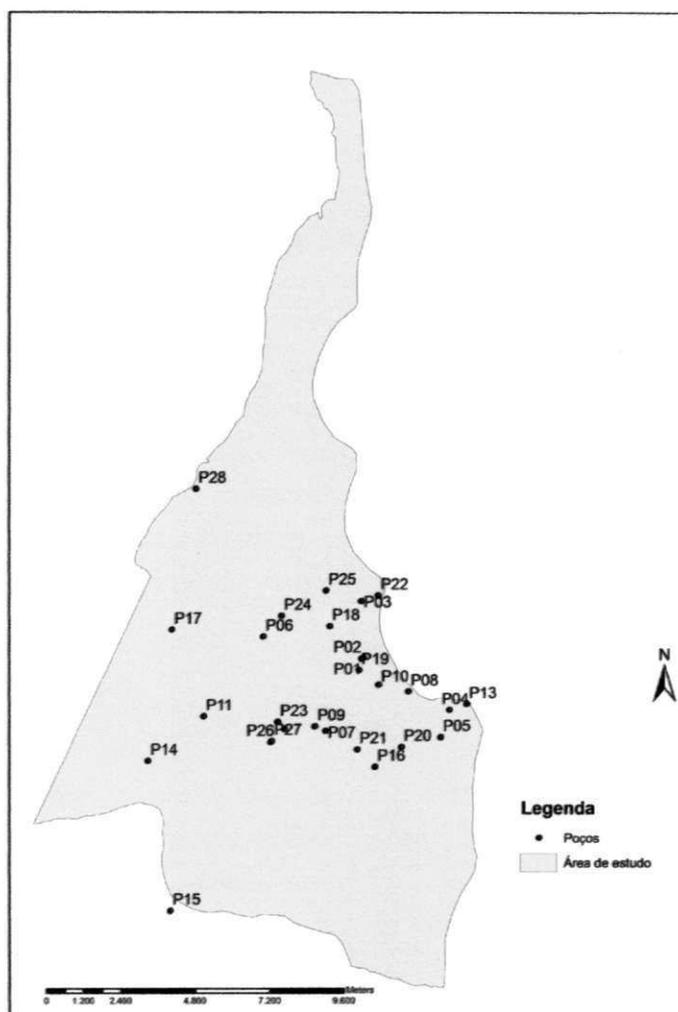


Figura 11- Distribuição dos poços na área de estudo

Os mapas temáticos para a obtenção do mapa final da vulnerabilidade foram (Figura 12):

**A. Mapa de ocorrência da água subterrânea (G)**

Elaborado a partir das unidades geológicas regionais localizadas nas fichas cadastrais de cada poço. Para este estudo utilizou-se os aquíferos confinado, semi-confinado e o livre.

**B. Mapa de litologia da zona não saturada (O)**

Para este mapa foram utilizados dados dos perfis litológicos disponíveis em suas fichas cadastrais. Para cada camada do perfil foi atribuído um valor, conforme a metodologia descrita, e realizada uma média com os valores de cada camada.

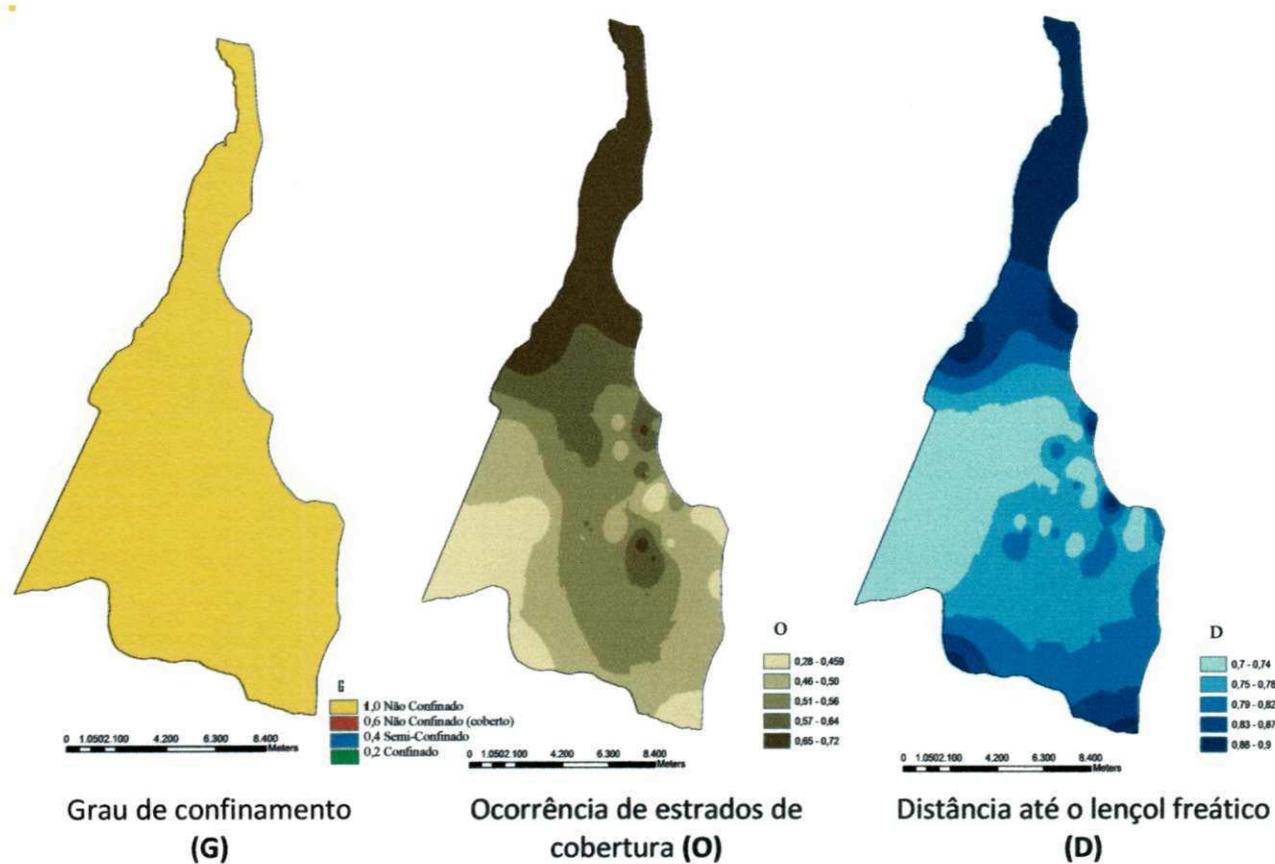


Figura 12 – Mapas Temáticos de cada plano de informação do método GOD (MEDEIROS, et. al, 2011)

Através da multiplicação destes três mapas, obteve-se então, o mapa da vulnerabilidade do aquífero livre para área de estudo, como mostra a Figura 13, logo abaixo.

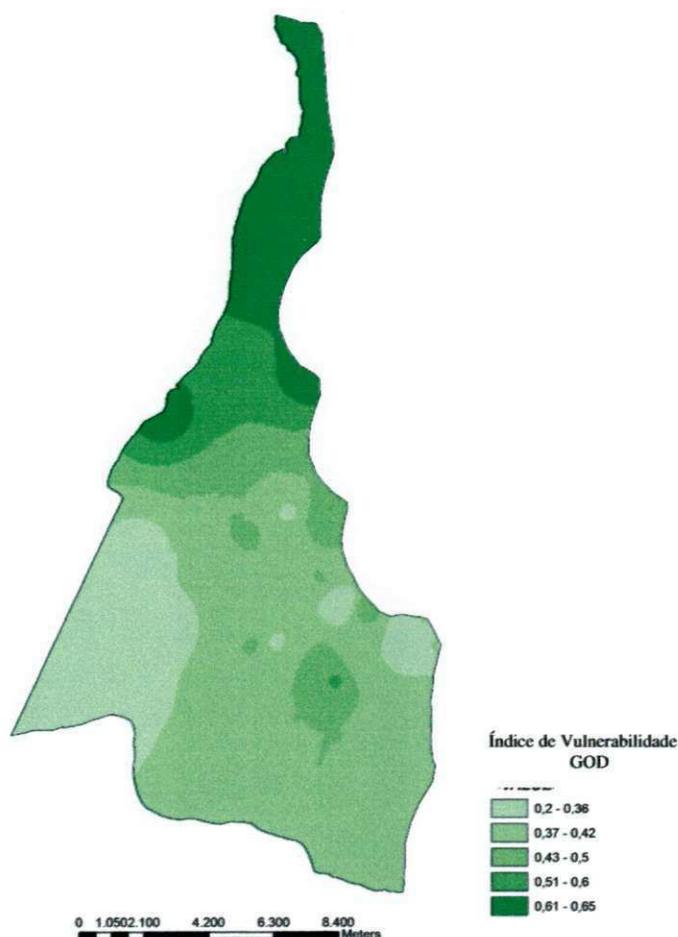


Figura 13- Mapa de vulnerabilidade do aquífero (MEDEIROS, et. al, 2011)

O índice de vulnerabilidade variou de 0,2 a 0,65, apresentando valores máximos na região norte da área de estudo, e valores mínimos na região leste da área. Observou-se que a região norte também foi a que apresentou menores valores do nível estático e a ocorrência de estrados de cobertura predominantemente é a areia, um tipo de solo altamente poroso e permeável, facilitando assim a percolação do contaminante.

### 3.3.3 Cadastramento de poços existentes e em operação

Para o critério de cadastramento dos poços existentes e em operação utilizou-se o acervo do projeto ASUB (UFMG/UFAL/UFES, 2010). Para a consistência dos diversos cadastros

disponíveis da área de estudo foi utilizado o programa ArcGis 9.2, gerando assim o mapa com a espacialização dos poços do subprojeto ASUB-PB e o “cadastro ASUB-PB”.

Buscou-se os cadastros de poços existentes na Paraíba, dentre eles, os poços cadastrados e gerenciados pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (SIAGAS/CPRM), e cadastros realizados pela agência estadual de águas (AESAs), e do cadastro de Costa et. al. (2007).

A área de estudo apresentou quantidade significativa de poços cadastrados, 846 poços, de acordo com o levantamento feito nos cadastros da Agência Executiva de Gestão das Águas-AESA, de Costa et. al. (2007) e do Sistema de Informações das Águas Subterrâneas – SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil (SIAGAS/CPRM), como indica a Tabela 13.

Dos poços encontrados nos cadastros, não há como assegurar que todos estejam em operação, pois apenas os poços outorgados e cadastrados deveriam estar em funcionamento. Então, para esta pesquisa supõe-se que os poços cadastrados pela AESA, os com outorgas em andamento, os outorgados e com outorgas vencidas estejam em operação, o que totalizará 586 poços, como mostra a Figura 14, mais abaixo.

Tabela 13- Quantidade de poços na área de estudo

<b>Cadastros</b>	<b>Quantidade de poços</b>
Cadastrados AESA (2009)	404
Outorga em andamento AESA (2009)	35
Outorgados AESA (2009)	73
Outorga vencida AESA (2009)	74
SIAGAS (2009)	45
CDRM (2009)	12
COSTA et. al. (2007)	203
<b>Total</b>	<b>846</b>

O mapa da Figura 14 possui em destaque os poços existentes e os que estão em operação. Observa-se uma grande concentração de poços em funcionamento na região litorânea.

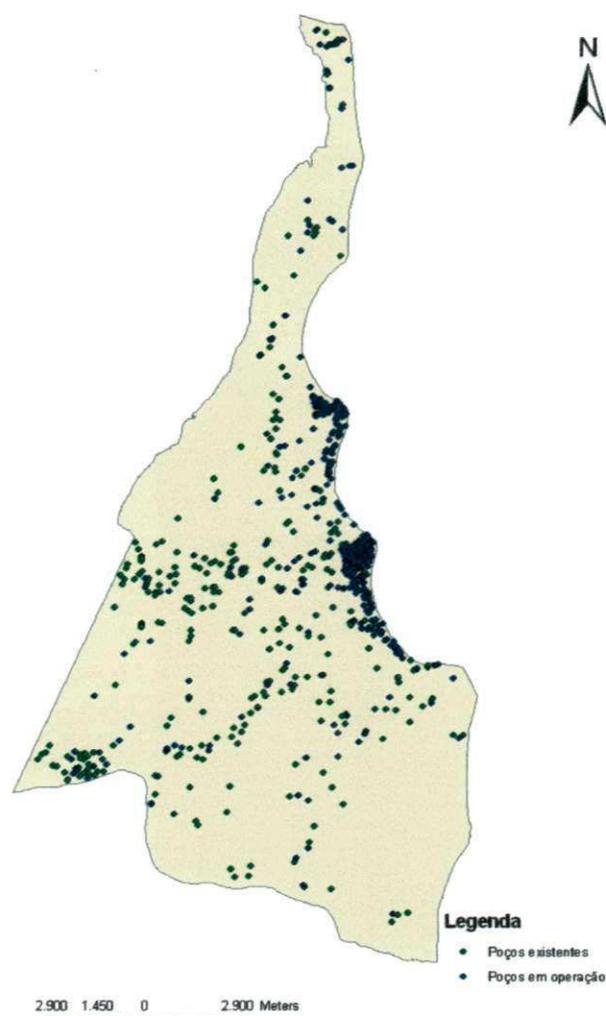


Figura 14- Distribuição dos poços existentes e dos poços em operação na zona 7

### 3.3.4 *Uso e ocupação do solo e seu histórico*

O critério de uso e ocupação do solo foi estudado por Rufino et. al. (2010) e Almeida Filho et. al. (2011) ao confeccionarem o mapa de uso e ocupação do solo utilizando duas imagens distintas, com o propósito de estudar a evolução da ocupação urbana e seu histórico. Para isto foi utilizada uma imagem da bacia sedimentar costeira, do satélite LANDSAT 7, órbita 214, ponto 65, com data de passagem de 04 de agosto de 2001, e a cena do satélite CBERS2B e sensor CCD, com data de passagem de 30 de junho de 2009.

ponto 65, com data de passagem de 04 de agosto de 2001, e a cena do satélite CBERS2B e sensor CCD, com data de passagem de 30 de junho de 2009.

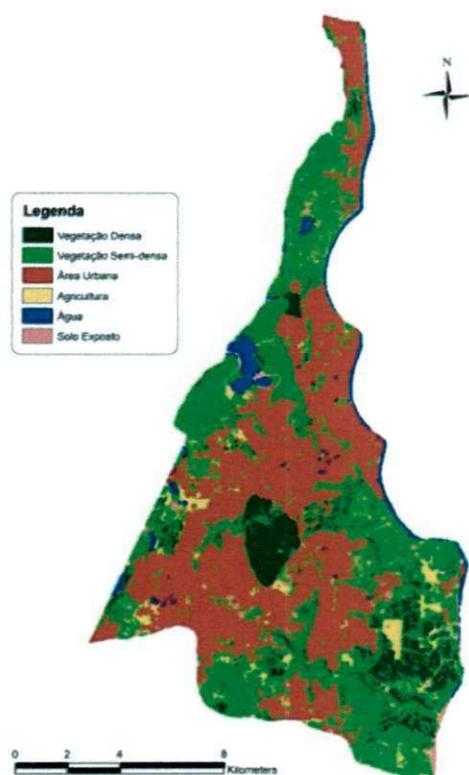
De acordo com Rufino et. al. (2010), o mapa produzido é considerado um mapa foto-interpretativo, pois não houve um estudo de campo da área total da bacia sedimentar costeira. O método utilizado para a geração deste mapa foi a classificação supervisionada pela técnica de treinamento (uso de amostras). O software utilizado foi o SPRING, desenvolvido pelo INPE.

A finalidade do estudo de uso do solo é a identificação de áreas de atividades antrópicas. Neste caso específico, as duas áreas de atividades identificadas nesta pesquisa foram as áreas urbana e de agricultura, que correspondem a 67,659 km<sup>2</sup>, 7,44 km<sup>2</sup>, respectivamente no ano de 2001. Para o segundo mapa de uso e ocupação do solo, no ano de 2009, a imagem apresentou interferência de nuvens e sombras, por este motivo não foi possível classificar a imagem completa. Porém, comparando as imagens, pode-se identificar a evolução da ocupação urbana, que passou para 69,63 km<sup>2</sup> e também o aumento da agricultura, que atingiu 11,99km<sup>2</sup> de área.

A Figura 15 mostra os diferentes usos da área de estudo, dividida em vegetação densa e semidensa, agricultura, área urbana, solo exposto e os corpos de águas superficiais. A Tabela 14 mostra as respectivas áreas. Ressalte-se que a área onde se identificou vegetação densa consiste na área de preservação permanente da área da Mata do Buraquinho.

Tabela 14- Distribuição dos valores das classes de uso do solo para a zona 7.

Classes de solo	Área (km <sup>2</sup> )		% Alteração
	2001	2009	
Agricultura	7,44	11,99	38%
Água	4,89	3,81	28%
Área Urbana	67,65	69,63	3%
Solo Exposto	5,26	6,10	13,7%
Vegetação densa	13,49	14,45	6,7%
Vegetação semidensa	71,18	22,18	68%
Nuvens	0,00	41,67	100%
Área total classificada	169,91	128,05	-



(a) (o que é este “a” entre parênteses?)

Figura 15- (a) Mapa de uso e ocupação do solo da zona 7 para o ano de 2001 (RUFINO, et. al., 2010) (b) Mapa de uso e ocupação do solo da zona 7 para o ano de 2009 (ALMEIDA FILHO, et. al., 2011)

### 3.3.5 Interferência entre poços

O estudo de interferência entre poços foi realizado por Batista (2010) que empregou a simulação a partir do raio de influência do poço o qual dependia do tempo de bombeamento e dos parâmetros calibrados (condutividade hidráulica e armazenamento específico) para obtenção da transmissividade – produto da condutividade hidráulica pela espessura do aquífero; e do coeficiente de armazenamento – produto do armazenamento específico pela espessura do aquífero.

Esse raio de influência foi determinado por:

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{T \times t}{S}}$$

**Equação 1**

Onde:

R = raio de influência [m];

T = transmissividade [ $L^2/T$ ];

t = tempo de bombeamento [T];

S = coeficiente de armazenamento [adimensional].

Esta simulação permitiu verificar qual a distância em que os poços, bombeando simultaneamente, não se interferem, conseqüentemente não influenciam no rendimento dos outros poços. Na simulação foram utilizados três cenários diferentes, de acordo com o tempo de bombeamento: (a) cenário 2 - 8 horas; (b) cenário 3 - 12 horas; (c) cenário 4 - 24 horas. Foram utilizados 268 poços para este estudo.

De acordo com a simulação, os resultados dos valores obtidos para os raios de influência com os quatro cenários simulados estão representados na Tabela 15.

Tabela 15– Raio de influência de poços para regime de bombeamento de 8, 12 e 24 horas (BATISTA, 2010)

Áreas	Transmissividade (m <sup>2</sup> /h)	Coeficiente de Armazenamento	Tempo de Bombeamento(h)	Raio de Influência(m)
1	36,83	1,50E-05	8	4.438,13
2	47,50	2,72E-05	8	3.739,79
3	13,78	3,62E-05	8	1.746,08
4	74,53	2,58E-04	8	1.519,11
Áreas	Transmissividade (m <sup>2</sup> /h)	Coeficiente de Armazenamento	Tempo de Bombeamento(h)	Raio de Influência(m)
1	36,83	1,50E-05	12	5.435,57
2	47,50	2,72E-05	12	4.580,29
3	13,78	3,62E-05	12	2.138,50
4	74,53	2,58E-04	12	1.860,52
Áreas	Transmissividade (m <sup>2</sup> /h)	Coeficiente de Armazenamento	Tempo de Bombeamento(h)	Raio de Influência(m)
1	36,83	1,50E-05	24	7.687,06
2	47,50	2,72E-05	24	6.477,50
3	13,78	3,62E-05	24	3.024,29
4	74,53	2,58E-04	24	2.631,17

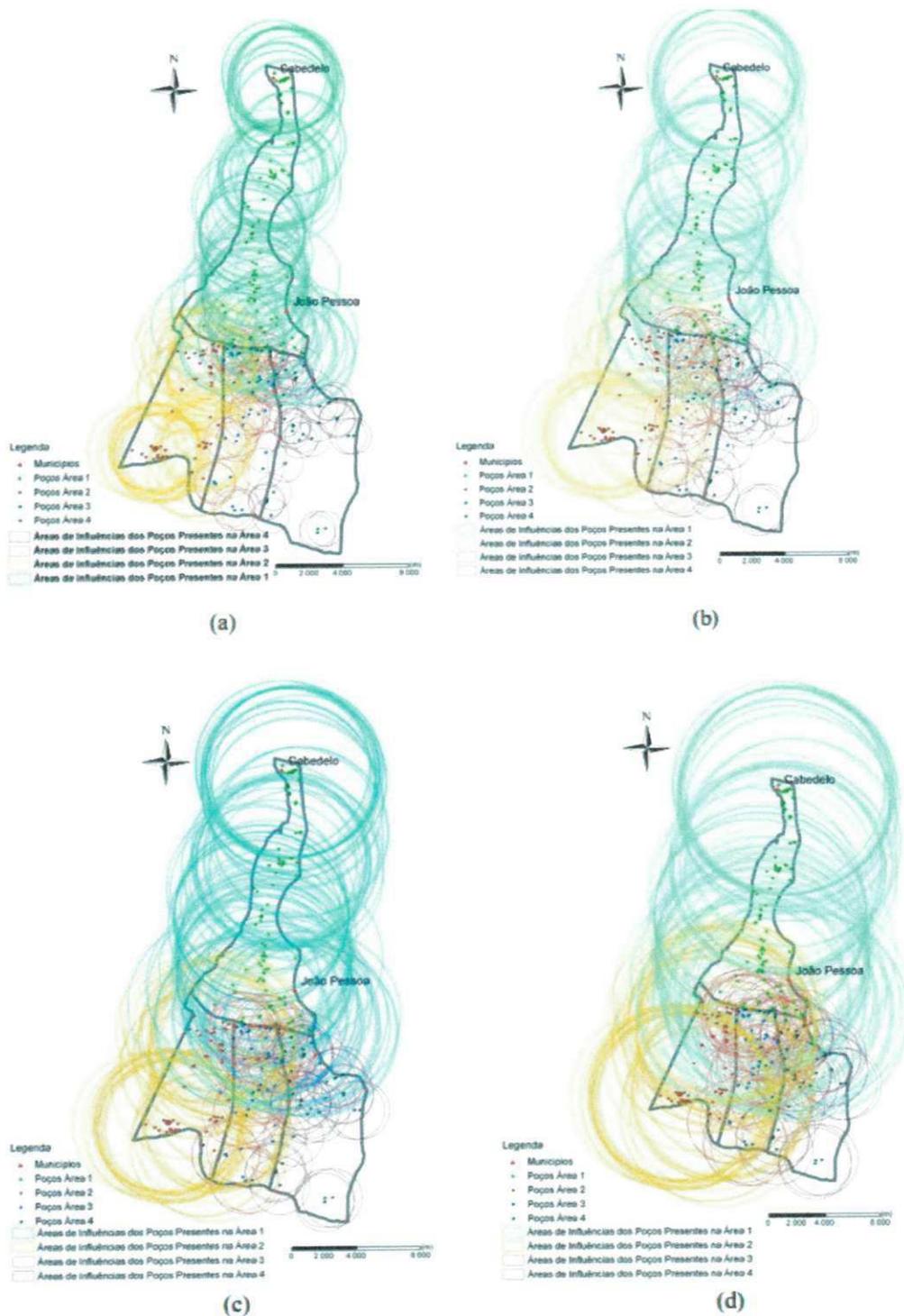


Figura 16 - Áreas de influência dos poços na zona 7: (a) cenário 1 - 4 horas; (b) cenário 2 - 8 horas; (c) cenário 3 - 12 horas; (d) cenário 4 - 24 horas (BATISTA et al, 2010).

Analisando as áreas de influência obtidas por Batista (2010), de acordo com a Figura 16, verifica-se que para os quatro cenários, os poços com captação no subsistema confinado Beberibe, sofrem grande interferência uns dos outros. Conclui-se ainda que para garantir a não interferência entre eles, a quantidade de poços já outorgada deveria ser reduzida de 268 para um número que varia entre 5 e 21 poços, dependendo do tempo de bombeamento praticado, porém essa redução, talvez, não seja viável (BATISTA, 2010).

### *3.3.6 Intrusão salina*

A metodologia adotada por Batista (2010) para a verificação da intrusão salina iniciou-se a partir do diagnóstico atual do subsistema confinado descrito, e também com as cargas hidráulicas calculadas pelo modelo matemático. Só assim foi possível avaliar o estado do aquífero quanto ao problema da intrusão salina.

De acordo com a simulação da intrusão salina, feita a partir de parâmetros hidrodinâmicos da área de estudo, Batista (2010) verificou, que, considerando as condições de contorno estabelecidas na pesquisa, a intrusão salina, problema ocorrente em zonas costeiras, ainda não estava presente na área de estudo, apesar de ocorrer alguns níveis potenciométricos negativos na área modelada. Nela pôde-se verificar um divisor de água exatamente no limite da costa litorânea com cargas hidráulicas positivas que diminuíam na direção do litoral até o final da plataforma continental. Concluiu-se, portanto, que o escoamento ainda ocorre predominantemente em direção ao oceano.

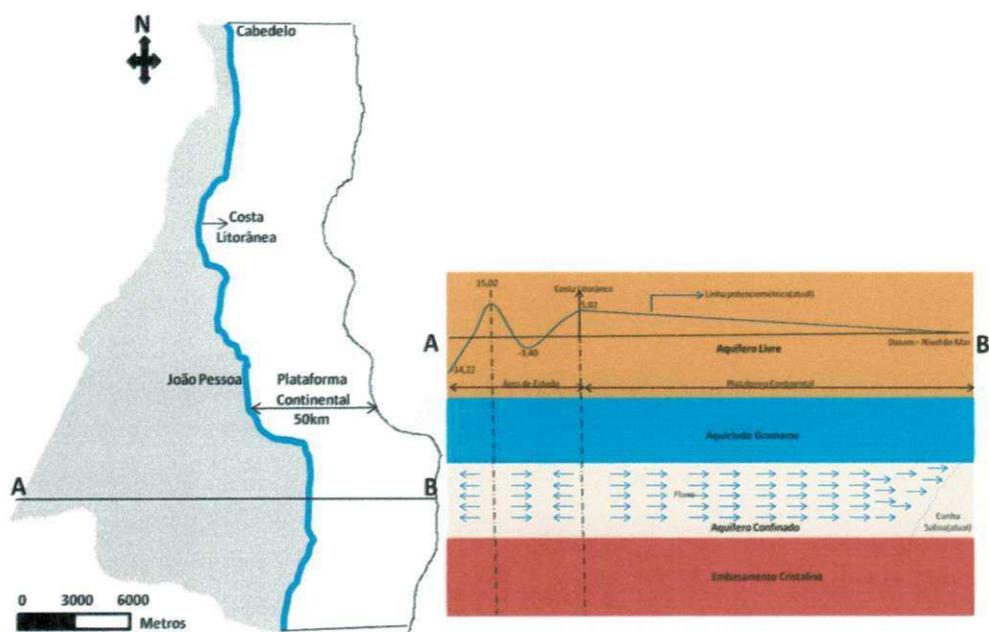


Figura 17- Simulação da intrusão salina da área de estudo (BATISTA, 2010).

## CAPÍTULO IV – METODOLOGIA

Alguns dos critérios estabelecidos na legislação vigente e dos critérios propostos nesta pesquisa já foram estudados e simulados por outros pesquisadores para a mesma área (zona 7). A caracterização hidrogeológica foi estudada por Batista (2010), que modelou o fluxo subterrâneo para área, avaliou a interferência entre poços e a intrusão salina. Medeiros, et. al. (2011) estudaram a vulnerabilidade e os riscos de poluição. O projeto ASUB (UFCG/UFAL/UFMS, 2010) fez um levantamento da quantidade de poços existentes ativados e desativados na região. O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado por Rufino et. al. (2011) e Almeida Filho et al (2011), através do sensoriamento remoto. Os demais critérios são simulados no âmbito desta pesquisa. A Tabela 16 mostra um resumo dos critérios de enquadramento subterrâneo, explicitando a resolução a qual definiu, inclusive, os critérios propostos nesta pesquisa e os respectivos pesquisadores que os estudaram.

Tabela 16- Resumo dos critérios de enquadramento

<b>Critério</b>	<b>Propositor</b>	<b>Autor</b>
Caracterização Hidrogeológica	Resolução CONAMA Nº 396	BATISTA (2010)
Vulnerabilidade do aquífero e riscos de poluição	Resolução CONAMA Nº 396	MEDEIROS et. al (2011)
Cadastramento dos poços existentes e em operação	Resolução CONAMA Nº 396	UFCG/UFAL/UFMS (2010)
Uso e ocupação do solo e seu histórico	Resolução CONAMA Nº 396 Resolução CNRH Nº 91	RUFINO et. al (2011) ALMEIDA FILHO et. al(2011)
Localização das fontes potencialmente poluidoras	Resolução CONAMA Nº 396 Resolução CNRH Nº 91	**
Qualidade natural e condição de qualidade das águas subterrâneas	Resolução CONAMA Nº 396	**
Qualidade das águas superficiais	Resolução CONAMA Nº 396 Resolução CNRH Nº 91	**

<b>Critério</b>	<b>Propositor</b>	<b>Autor</b>
Viabilidade Técnica e Econômica	Resolução CONAMA N° 396 Resolução CNRH N° 91	**
Interferência entre poços	*	BATISTA (2010)
Intrusão salina	*	BATISTA (2010)

\*Critérios proposto nesta pesquisa    \*\*Critérios simulados no âmbito desta pesquisa

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica incluindo leis, normas, resoluções e portarias vigentes, procurando identificar os critérios de enquadramento dos corpos d'água subterrâneos. Após essa identificação, foi realizada a definição e caracterização da área de estudo, incluindo o zoneamento da mesma e a escolha da zona para a simulação dos critérios, elaboração das metas e para a proposta das ações de gestão para alcance dos objetivos.

Ao analisar a área de estudo e os critérios definidos em normativos foi observada a necessidade de propor critérios adicionais para a área, incluindo-se neste estudo os critérios de interferência entre poços e intrusão salina. Em seguida, foi feita uma busca de todos os trabalhos realizados para esta mesma região e com isto encontraram-se pesquisas as quais simulavam alguns dos critérios definidos nos normativos e dos propostos, como foi o caso dos critérios de caracterização hidrogeológica, vulnerabilidade do aquífero e risco de poluição, cadastramento dos poços existentes em operação, uso e ocupação do solo e o seu histórico, interferência entre poços e intrusão salina.

Com os resultados das pesquisas feitas em trabalhos anteriores foram observados os critérios que ainda não tinham sido simulados para então estudá-los. No caso, foram simulados os critérios de: localização das fontes potencialmente poluidoras, qualidade natural das águas subterrâneas, qualidade das águas superficiais e a viabilidade técnica e econômica. As metodologias utilizadas para a realização das simulações estão descritas no item 4.1.

Com a simulação dos critérios para a área de estudo foram elaboradas as metas de enquadramento das águas subterrâneas. Para isto utilizamos as subáreas definidas por BATISTA (2010) de acordo com a condutividade hidráulica. Assim para cada subárea foi elaborado uma proposta diferente, uma vez que as mesmas possuem características de usos diferentes. Por fim, propomos ações de gestão para o atingimento das metas de enquadramento, sendo que

para algumas destas ações foi estipulado um custo de implementação para a avaliação técnica e econômica das metas.

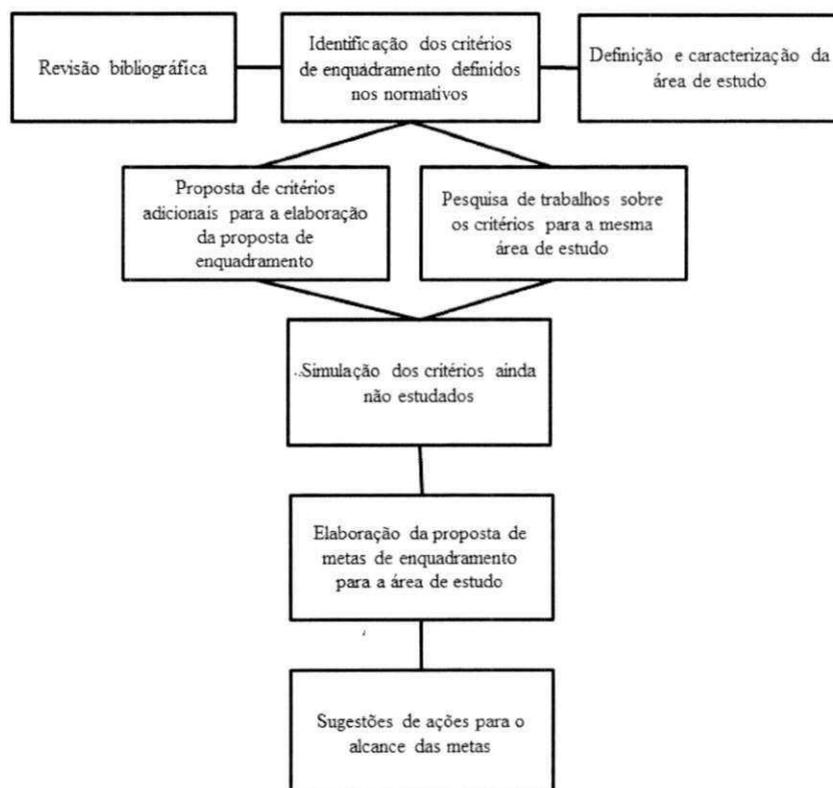


Figura 18- Fluxograma das etapas metodológicas

#### 4.1 Localizações das fontes potenciais de poluição

Para a simulação do critério de localização das fontes potencialmente poluidoras foram utilizados dados de Carvalho (2011) que foram adquiridos do sistema de cadastro das prefeituras municipais de João Pessoa e Cabedelo, com informações atualizadas até 2008. Depois foi confeccionado um mapa de localização dos cemitérios, das indústrias, da estação de

tratamento de esgotos, do lixo e dos postos de combustíveis, com o auxílio do software do ArcGIS 9.2®.

#### 4.2 Qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas

Para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas foram selecionados 24 poços, 11 captando do aquífero livre e 13 do aquífero confinado, distribuídos na Região do Baixo Curso do rio Paraíba (Figura 19). Esses poços se situam nas cidades de Cabedelo e de João Pessoa, em áreas urbanizadas e industrializadas, portanto mais vulneráveis a impactos capazes de alterar a qualidade da água. Realizaram-se duas campanhas de coleta e análises de amostra de água: uma na estiagem, entre fevereiro e março de 2010, e outra na época de chuvas, de junho a agosto de 2010. As variáveis selecionadas foram: cor aparente, turbidez, pH, condutividade elétrica, salinidade, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade dureza, cálcio, sódio, potássio, cloreto, ferro, magnésio, nitrato, nitrito, N-amoniaco, oxigênio dissolvido, coliformes totais e *Escherichia coli* (*E.Coli*). As técnicas de análises seguiram as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Para coliformes totais e *E.coli* foi utilizado o método de substrato definido – MUG, usando-se o método de NMP com cartelas de até 2.000 NMP/100 ml coliformes, de acordo com essa referência.

Dentre os vinte e quatro (24) poços selecionados para coleta, nove (9) são administrados pela CAGEPA, destinados ao abastecimento público da cidade de João Pessoa. Dois (2) são de uso industrial, uma gráfica e uma indústria alimentícia, onde a água é destinada para os mais diversos usos. Nove (8) poços são de uso comercial, em lavajatos, postos de gasolina, hotéis, bares e restaurantes, onde a água é utilizada para os mais diversos usos, inclusive para consumo humano e preparo de alimentos. Quatro (4) poços são utilizados para o abastecimento humano em propriedades particulares, como chácaras, prédios e vilas. Por fim, um (1) poço é destinado para a dessedentação animal no Parque Arruda Câmara, onde funciona o zoológico do Estado.

Dos vinte e quatro (24) poços, apenas nos operados pela CAGEPA é realizado o controle sistemático da qualidade da água e o devido tratamento. Em outro poço localizado num prédio

---

® ArcGIS 9.2, Spatial Analyst são marcas registradas da ESRI inc.

residencial é feita a cloração simples antes do uso. E no restante não foi verificado nenhum tratamento da água antes de consumo. Para estes poços que eram clorados seguiu-se o procedimento indicado na portaria MS 2.914/2011 que estabelece que “a coleta de amostras de água para a verificação da presença/ausência de coliformes totais em sistemas de abastecimento e soluções alternativas coletivas de abastecimento de águas, supridas por manancial subterrâneo, deverá ser realizada em local à montante ao primeiro ponto de consumo”.

Os resultados das análises de qualidade da água foram comparados com os Valores Máximos Permitidos – VMP da resolução CONAMA nº 396/2008, para o respectivo uso das águas subterrâneas e observando suas possibilidades de uso segundo a qualidade detectada, com ou sem tratamento. Para aquelas águas destinadas ao abastecimento humano, a comparação dos valores obtidos foi feita com os VMP da portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011, que estabelece responsabilidades e procedimentos relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Esse procedimento foi seguido tanto para as amostras do aquífero confinado quanto para as do aquífero livre.

Para verificação da qualidade natural da água subterrânea, a Resolução Nº 396/2008, estabelece o uso do Valor de Referência de Qualidade – VRQ, que é a concentração ou valor de um determinado parâmetro que define a qualidade natural dessa água. Devem-se considerar também os elementos e compostos químicos que ocorrem mais comumente na natureza, na região do aquífero, de acordo com os usos preponderantes destinados para essas águas, em geral com prioridades de uso no abastecimento humano. Diante disto, foram utilizados para o estudo da qualidade natural da água, os valores das concentrações de nitrato, coliformes totais e *Escherichia coli* como indicadores de contaminação por atividade antrópica e as concentrações dos íons, para o qual foi utilizado o diagrama de Piper.

O diagrama de Piper é utilizado para avaliar a composição e a distribuição dos íons predominantes na água, e para sua construção foi usado o software QualiGraf, desenvolvido pela FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2009).

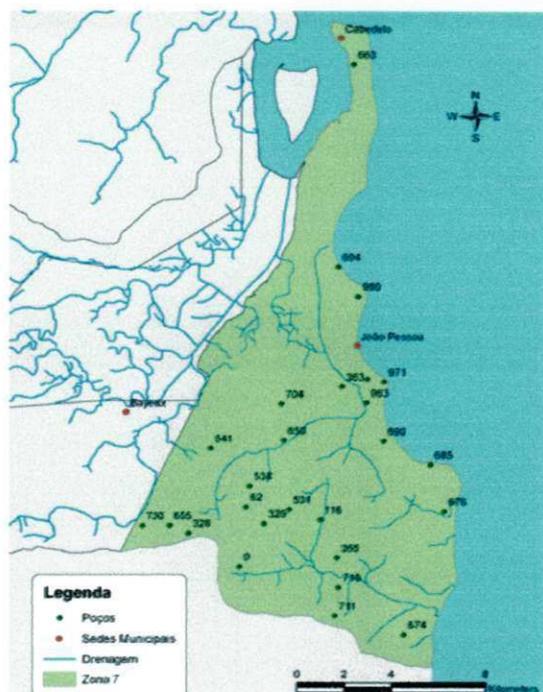


Figura 19 – Mapa da localização dos pontos de coleta de água na zona 7

#### 4.3 Qualidade das águas superficiais

De acordo com a resolução CONAMA nº 357/2005 a classificação dos corpos d' água superficiais deverá obedecer aos valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados com cada uma das classes estabelecidas. A vazão de referência é a vazão do corpo hídrico, que é utilizada como base para o processo de gestão na etapa de elaboração das metas de qualidade a serem atingidas, com vistas aos usos múltiplos das águas.

Na avaliação da qualidade da água superficial foram selecionados 5 pontos de coleta distribuídos nos rios Jaguaribe (3 pontos), no riacho do Cabelo e no rio Cuiá, todos localizados na Região do Baixo Curso do rio Paraíba (Figura 20). Realizaram-se duas campanhas de coleta: uma na época de estiagem, entre fevereiro e março de 2010, e a outra na época de chuvas, de junho e agosto de 2010. As variáveis selecionadas foram: cor aparente, turbidez, pH, condutividade elétrica, salinidade, Sólidos Dissolvidos Totais - STD, alcalinidade dureza, cálcio, sódio, potássio, cloreto, ferro, magnésio, nitrato, nitrito, N-amoniaco, oxigênio dissolvido, coliformes totais e escherichia coli.

Os resultados das análises de cada variável qualitativa medida, obtidos das amostras de água coletadas em cada um dos pontos previamente estabelecidos foram comparados com os Valores Máximos Permitidos – VMP ou limites estabelecidos na resolução CONAMA nº 357/2005, com o intuito de classificar o trecho do rio. Para fazer essa classificação foram usados os valores médios das duas medições realizadas ao longo do trabalho de campo. Adotou-se o critério da própria legislação: se pelo menos um dos parâmetros for classificado em uma classe inferior e os demais em uma classe superior, permanece a classe inferior.

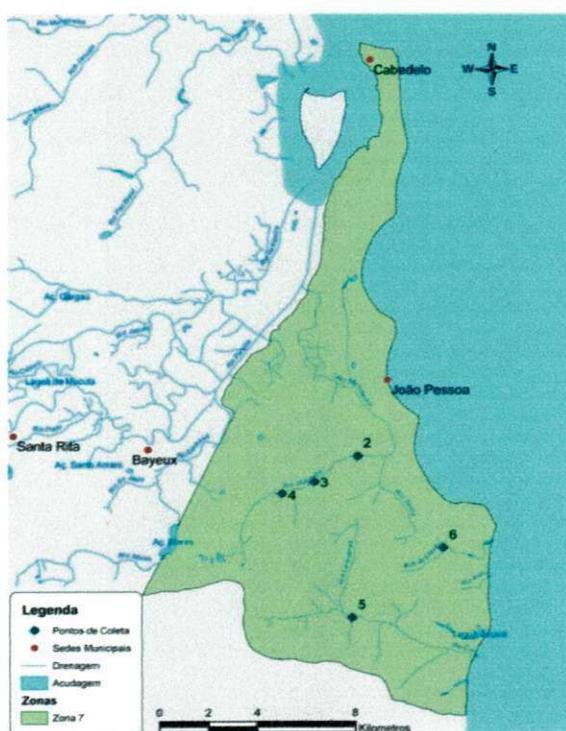


Figura 20- Mapa da localização dos pontos de coleta nos rios

#### 4.4 Viabilidade técnica econômica

No estudo de viabilidade técnica econômica foi feita a estimativa dos custos de implementação das ações propostas nessa pesquisa. Após este estudo analisou-se a viabilidade técnica e econômica das ações para o alcance das metas de enquadramento com emprego dos resultados de Souza (2010). Este autor simulou a implementação do instrumento de gestão de cobrança dos recursos hídricos para a área de estudo, tendo em vista como finalidade obter

recursos financeiros para o financiamento dos programas e das intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Em seu estudo, Souza (2010) mostra que em relação à arrecadação total decorrente do Modelo Arrecadatório Proposto, os preços definidos pelo CERH-PB são insuficientes para cobrir os custos de investimentos e os programas de gestão previstos para a área de estudo considerada, isto é, a Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do rio Paraíba-PB.

#### **4.5 Proposta de novos critérios de enquadramento**

Após o estudo dos normativos vigentes, observou-se a necessidade de propor critérios adicionais para a elaboração da proposta do enquadramento na área de estudo, pois as resoluções não contemplam variáveis consideradas indispensáveis para o estudo da qualidade da água subterrânea. A proposta desta pesquisa é acrescentar os critérios de interferência entre poços e intrusão salina, sendo estes de grande importância, particularmente para as regiões litorâneas.

##### *4.5.1 Interferência entre poços*

A interferência entre poços ocorre quando dois ou mais poços situados próximos um do outro bombeando simultaneamente, formam cones de depressão que podem se expandir ao ponto de se encontrarem. Esta interferência irá reduzir o rendimento potencial dos poços envolvidos e em condições extremas, a interferência entre poços pode causar rebaixamentos que transformam poços superficiais em poços secos (FEITOSA et al., 2008; BATISTA, 2010). A proximidade entre estes poços também deve ser considerada na análise qualitativa da água, uma vez que a distância, a densidade de poços e o regime de bombeamento causam a interferência entre os poços, que alteram a quantidade da água e a qualidade também (Figura 21).

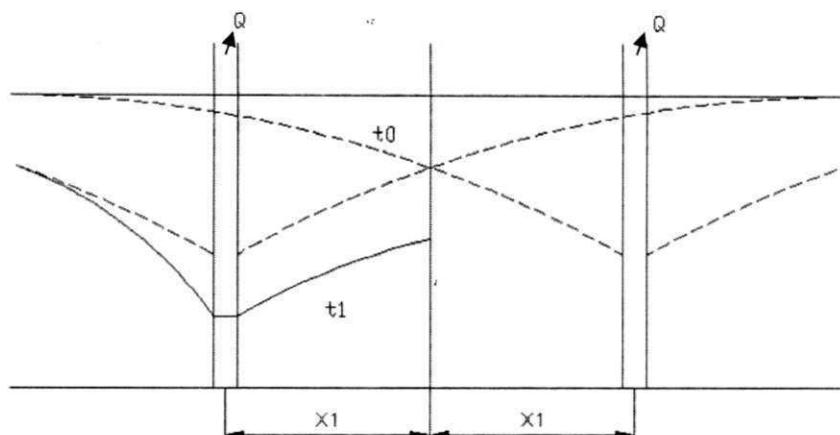


Figura 21- Esquema do efeito de interferência entre poços (COSTA, 2009)

#### 4.5.2 Intrusão Salina

Segundo Costa (2009), nos aquíferos litorâneos, a água subterrânea flui naturalmente no sentido do mar, por estar sempre com maior carga (superfície piezométrica mais alta que o nível do mar). A exploração intensa dos aquíferos, principalmente pelo bombeamento mais próximo à costa, provoca a penetração da água do mar nas áreas de captação dos poços. A construção dos poços deve guardar certa distância em relação à costa, de forma a manter o escoamento subterrâneo do interior para o litoral. O tempo de bombeamento também é um fator importante, já que deve ser o mínimo possível por dia para evitar a formação da cunha salina na zona costeira. A intrusão salina compromete a qualidade da água, aumentando a salinidade da mesma, deixando-a imprópria para os usos.

## CAPÍTULO V – SIMULAÇÕES E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo é apresentada a simulação dos critérios adotados pela pesquisa para o enquadramento, bem como os respectivos resultados.

### 5.1 Localização das fontes potenciais de poluição

A partir da obtenção dos dados de localização de cemitérios, indústrias, estação de tratamento, lixão, postos de combustíveis, lava-jatos e indústrias, confeccionou-se o mapa de fontes potencialmente poluidoras (Figura 21). Observa-se uma grande concentração de postos de combustíveis na área.

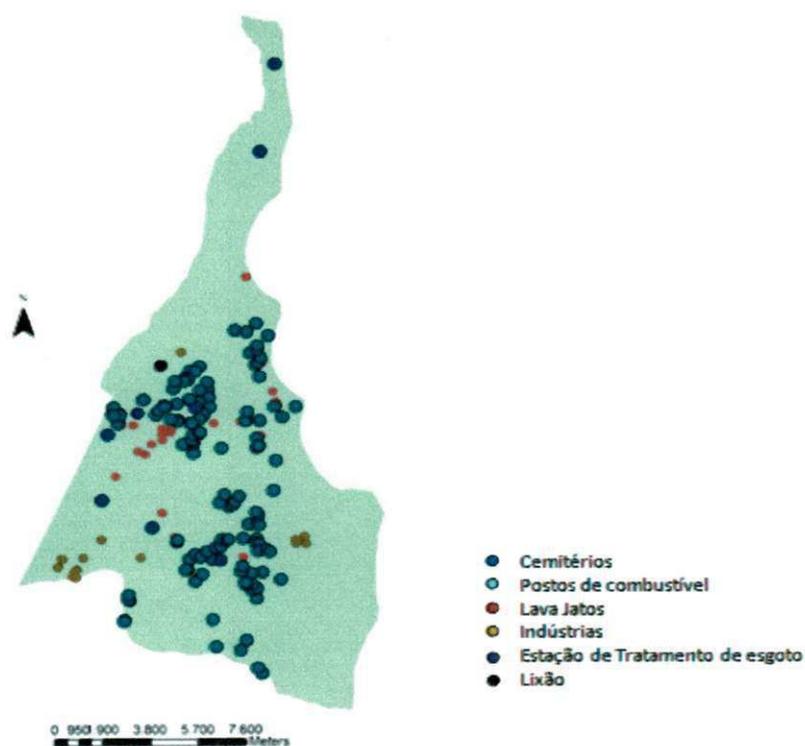


Figura 21- Mapa da localização das fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas

A Tabela 17 mostra o número de cada fonte de poluição existente na área de estudo. Observa-se que a maior quantidade de fontes de contaminação são os postos de gasolina, seguidos dos lava-jatos.

Tabela 17- Quantificação das fontes de poluição na área de estudo

<b>Fonte de Poluição</b>	<b>Quantidade</b>
Cemitérios	8
Postos de combustível	140
Lava-Jatos	20
Indústrias	11
Estação de Tratamento	1
Lixão	1
Total	181

## 5.2 Qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas

### *Caracterização Qualitativa*

Nas tabelas 18 e 19 se apresentam os resultados das análises dos diferentes parâmetros de qualidade selecionados para os aquíferos confinado e livre, respectivamente, obtidos nas duas campanhas. Os valores em negrito foram os que apresentaram maior variação de acordo com a época da campanha; já os valores sublinhados foram os que apresentaram maior divergência ao comparar o aquífero livre com o confinado.

Tabela 18 – Resultado das análises de qualidade da água do aquífero confinado para as duas campanhas, realizadas nas épocas seca (fevereiro a março de 2010) e chuvosa (junho a agosto de 2010) na zona 7 da Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do rio Paraíba.

Parâmetro	1ª Campanha (época de estiagem)				2ª Campanha (época chuvosa)				Valores de referência Portaria MS 2.914/11
	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	
Cor Aparente (UC)	11,79	52,71	0,50	13,89	11,21	54,50	1,40	14,29	15UH
Turbidez (NTU)	<u>1,72</u>	<u>4,89</u>	<u>0,51</u>	<u>1,15</u>	1,92	4,00	1,00	0,97	5NTU
pH	<u>6,93</u>	<u>8,31</u>	<u>5,15</u>	<u>0,97</u>	6,89	8,04	4,77	1,01	6,0 a 9,5
C.elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cma}$ )	<u>468,62</u>	<u>679,82</u>	<u>342,63</u>	<u>110,48</u>	<u>367,53</u>	<u>564,30</u>	<u>138,40</u>	<u>106,87</u>	*
Salinidade (PPM)	<u>367,05</u>	<u>1879,48</u>	<u>163,37</u>	<u>460,38</u>	<u>197,61</u>	<u>284,30</u>	<u>70,19</u>	<u>64,02</u>	*
SDT (mg/L)	190,75	548,00	32,00	160,63	223,67	348,00	92,50	64,77	1000mg/L
Alcalinidade Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	49,08	92,00	5,00	32,62	52,77	88,00	2,00	29,05	*
Alcalinidade de bicarbonato (mg [HCO <sub>3</sub> ]/L)	<u>59,87</u>	<u>112,24</u>	<u>6,10</u>	<u>39,80</u>	<u>64,38</u>	<u>107,36</u>	<u>2,44</u>	<u>35,44</u>	*
Alcalinidade de carbonato (mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	<u>29,45</u>	<u>55,20</u>	<u>3,00</u>	<u>19,57</u>	<u>31,66</u>	<u>52,80</u>	<u>1,20</u>	<u>17,43</u>	*
Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	<u>180,92</u>	<u>404,00</u>	<u>45,00</u>	<u>113,35</u>	<u>175,23</u>	<u>346,00</u>	<u>42,00</u>	<u>90,04</u>	500mg/L
Ca ++ (mg/L)	<u>119,77</u>	<u>318,00</u>	<u>16,00</u>	<u>84,23</u>	<u>91,85</u>	<u>168,00</u>	<u>30,00</u>	<u>47,88</u>	*
Na + (mg/L)	64,23	342,00	4,76	94,54	51,79	265,10	1,65	75,74	*
K (mg/L)	12,05	51,00	0,80	15,27	8,36	38,60	0,63	11,54	*
Cl - (mg/l)	<u>54,74</u>	<u>190,97</u>	<u>19,25</u>	<u>46,63</u>	<u>49,09</u>	<u>118,54</u>	<u>20,45</u>	<u>30,31</u>	250mg/L
Ferro (mg/L)	0,25	0,31	0,15	0,07	0,31	0,55	0,15	0,11	0,3mg/L
Mg(mg/L)	<u>48,18</u>	<u>133,32</u>	<u>6,72</u>	<u>30,82</u>	<u>41,02</u>	<u>57,12</u>	<u>7,56</u>	<u>14,37</u>	
Nitrato(NO <sub>3</sub> -)(mg/L)	0,14	0,79	0,00	0,24	0,13	0,64	0,00	0,20	10mg/L
Nitrito(NO <sub>2</sub> -)(mg/L)	0,01	0,05	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,01	1mg/L
N-amoniacoal (mg /l)	0,34	3,16	0,00	0,87	0,18	1,12	0,00	0,35	*
OD mgO <sub>2</sub> /mL	5,08	8,40	2,10	1,85	6,01	7,80	3,50	1,35	*
Coliformes Totais (NMP/100mL)	<u>7,59</u>	<u>69,10</u>	<u>1,00</u>	<u>18,86</u>	<u>585,43</u>	<u>2419,60</u>	<u>1,00</u>	<u>912,84</u>	Ausente
E. coli (NMP/100mL)	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	<u>2,40</u>	<u>19,20</u>	<u>0,00</u>	<u>5,05</u>	Ausente

\*Parâmetros não contemplados na portaria

Tabela 19 – Resultado das análises de qualidade da água do aquífero livre para as duas campanhas, realizadas nas épocas seca (fevereiro a março de 2010) e chuvosa (junho a agosto de 2010) na zona 7 da Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do rio Paraíba.

Número	1ª Campanha (época de estiagem)				2ª Campanha (época chuvosa)				Valores de referência Portaria MS 2.914/11
	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	
Cor Aparente (UC)	9,80	27,85	0,92	9,62	10,37	31,20	1,60	10,38	15UH
Turbidez (NTU)	<u>4,53</u>	<u>15,41</u>	<u>0,80</u>	<u>4,83</u>	<u>4,63</u>	<u>14,50</u>	<u>0,90</u>	<u>4,59</u>	5NTU
pH	6,01	7,34	4,82	1,00	5,84	7,95	4,45	1,09	6,0 a 9,5
C.elétrica (µS/cm)	<u>229,16</u>	<u>483,70</u>	<u>62,41</u>	<u>154,14</u>	<u>195,20</u>	<u>524,30</u>	<u>76,20</u>	<u>151,66</u>	*
Salinidade (PPM)	<u>138,73</u>	<u>293,80</u>	<u>37,07</u>	<u>88,12</u>	<u>103,99</u>	<u>284,60</u>	<u>37,72</u>	<u>75,19</u>	*
SDT (mg/L)	212,09	598,00	56,00	143,95	117,82	316,00	48,00	83,43	1000mg/L
Alcalinidade Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	29,05	88,50	2,50	37,20	26,94	100,00	2,80	37,30	*
Alcalinidade de bicarbonato (mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	<u>35,44</u>	<u>107,97</u>	<u>3,05</u>	<u>45,38</u>	<u>32,86</u>	<u>122,00</u>	<u>3,42</u>	<u>45,51</u>	*
Alcalinidade de carbonato (mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	<u>17,43</u>	<u>53,10</u>	<u>1,50</u>	<u>22,32</u>	<u>16,16</u>	<u>60,00</u>	<u>1,68</u>	<u>22,38</u>	*
Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	<u>115,55</u>	<u>287,00</u>	<u>31,00</u>	<u>92,71</u>	<u>95,91</u>	<u>254,00</u>	<u>28,00</u>	<u>74,09</u>	500mg/L
Ca ++ (mg/L)	<u>79,00</u>	<u>215,00</u>	<u>18,00</u>	<u>76,95</u>	<u>48,73</u>	<u>146,00</u>	<u>16,00</u>	<u>43,21</u>	*
Na + (mg/L)	75,82	198,63	2,60	72,00	70,09	135,10	5,65	51,64	*
K (mg/L)	9,64	22,00	0,80	8,50	11,79	28,00	1,08	9,38	*
Cl - (mg/l)	<u>27,78</u>	<u>42,23</u>	<u>20,21</u>	<u>7,95</u>	<u>27,91</u>	<u>41,23</u>	<u>19,21</u>	<u>7,95</u>	250mg/L
Ferro (mg/L)	0,23	0,42	0,15	0,11	0,37	0,63	0,23	0,17	0,3mg/L
Mg(mg/L)	<u>22,01</u>	<u>65,76</u>	<u>6,96</u>	<u>18,93</u>	<u>21,37</u>	<u>56,04</u>	<u>4,92</u>	<u>18,51</u>	
Nitrato(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )(mg/L)	0,19	0,49	0,01	0,17	0,21	0,48	0,02	0,17	10mg/L
Nitrito(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )(mg/L)	0,02	0,09	0,00	0,03	0,02	0,07	0,00	0,03	1mg/L
N-amoniaco (mg/l)	2,99	24,59	0,00	7,44	2,32	18,36	0,00	5,57	*
OD mgO <sub>2</sub> /mL	6,49	8,94	3,00	1,88	5,91	7,80	3,24	1,58	*
Coliformes Totais (NMP/100mL)	<u>745,59</u>	<u>2419,00</u>	<u>1,00</u>	<u>1084,28</u>	<u>376,16</u>	<u>2419,60</u>	<u>1,00</u>	<u>721,49</u>	Ausente
E. coli (NMP/100mL)	<u>220,82</u>	<u>2419,00</u>	<u>0,00</u>	<u>729,05</u>	<u>23,46</u>	<u>248,10</u>	<u>0,00</u>	<u>74,50</u>	Ausente

\*Parâmetros não contemplados na portaria

O aquífero confinado apresentou alguns poços com valores de parâmetros qualitativos em concentrações acima dos VMP, com destaque para cor aparente, ferro, coliformes totais e *E. coli* como se verifica nos valores médios apresentados na tabela 18. Comparando-se as duas épocas de coleta, confirmamos que as águas de pior qualidade no aquífero confinado foram

encontradas na época de chuvas, quando os valores médios de cor, turbidez, ferro e coliformes eram mais altos, assim como os de sólidos dissolvidos totais, embora estes últimos não tenham ultrapassado o VMP da portaria 2.914/2011. Já a maioria dos íons teve decréscimo nessa época. Na análise mais detalhada dos resultados das campanhas para as épocas seca e chuvosa no aquífero confinado, observou-se que 46% e 30%, respectivamente, das análises de cor aparente apresentaram valores superiores ao limite estabelecido na portaria MS 2.914/2001, de 15 UC. Quanto à turbidez, na época de chuvas e de estiagem, apresentam valores em conformidade com o valor estabelecido na portaria MS 2.914/2011. O pH teve valor médio em torno de 7, ou seja, próximo ao neutro para as duas épocas do ano, com apenas dois poços com valores menores que 6, ainda dentro dos VMP da portaria citada, que é entre 6,0 e 9,5. Com relação à concentração de ferro das águas dos poços deste aquífero, 69% das análises feitas na época seca apresentaram valores maiores que o limite de 0,3mg/L, e 58% na época chuvosa, o que caracteriza essas águas como ricas em ferro dissolvido.

Os poços do aquífero livre também tiveram parâmetros de qualidade com valores médios mais altos na época de chuvas, alguns deles superiores aos VMP da portaria 2.914/2011, sendo que novamente as variáveis de maior valor foram: cor aparente, ferro, coliformes totais e *E. coli*. Ferro é de origem endógena ao aquífero, associado com as características químicas das rochas da região, já coliforme e *E. coli* são de origem exôgena e denunciam impactos antropogênicos, com contaminação fecal comprovada pela presença de *E. coli*. Neste aquífero livre, 45% das amostras no verão e 36% no inverno apresentaram valores de cor aparente acima do permitido. Quanto à turbidez, 36% das amostras no período seco estiveram fora do padrão enquanto que no período chuvoso a porcentagem decresceu para 27%. O pH apresentou valor médio em torno de 6, ou seja, na faixa ácida; nas duas épocas do ano, porém 63% das amostras na estiagem e 54% nas chuvas estiveram abaixo do limite do VMP, indicando águas com pH mais ácido. As concentrações de ferro nas águas do aquífero livre apresentaram, na estiagem, 27% das amostras (poços) com valores maiores que os VMP, enquanto que no período chuvoso a porcentagem de poços nessa situação atingiu 45%.

Ao comparar a qualidade da água do aquífero confinado com a do aquífero livre observa-se que, de forma geral, o aquífero livre apresenta qualidade inferior ao confinado, uma vez que

teve maiores concentrações médias de coliformes totais e *E. coli* e ferro, assim como valores médios mais elevados de cor aparente. A presença de coliformes totais mostra condições higiênicas precárias na água dos poços dos aquíferos e *E.coli* confirma a contaminação fecal bastante significativa no aquífero livre, em especial na época de chuvas. Esses resultados são explicáveis ao considerar que o subsistema livre é mais suscetível à contaminação, desde a superfície. O aquífero confinado apresentou maiores concentrações de sais dissolvidos e conseqüentemente salinidade mais elevada e maior condutividade elétrica, o que é explicado pelo fato das águas do aquífero confinado percolarem por longas distâncias até atingir o lençol freático, o que significa maior contato da água com a rocha e maior dissolução dos sais, portanto, maiores concentrações na água. Entre os íons associados com a dissolução das rochas estão o magnésio e o cálcio, que contribuem com a dureza e a alcalinidade da água. Ambos apresentaram maiores concentrações no aquífero confinado do que no livre.

#### *Classificação iônica*

O diagrama de Piper foi utilizado para avaliar a composição e a distribuição dos íons predominantes na água para as duas épocas do ano em que foi feita a coleta. O diagrama de Piper é frequentemente utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos cátions e ânions dominantes.

Os diagramas de Piper, também chamados diagramas trilineares, são extraídos plotando-se as proporções dos cátions principais ( $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ) e dos ânions principais ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ) em dois diagramas triangulares respectivos, e combinando as informações dos dois triângulos em um losango situado entre os mesmos (LUCENA et al., 2004). A Figura 22 mostra os diagramas de Piper para as duas campanhas dos dois aquíferos.

### Classificação iônica

O diagrama de Piper foi utilizado para avaliar a composição e a distribuição dos íons predominantes na água para as duas épocas do ano em que foi feita a coleta. O diagrama de Piper é frequentemente utilizado para classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos cátions e ânions dominantes.

Os diagramas de Piper, também chamados diagramas trilineares (PIPER, 1944; BACK, 1966), são extraídos plotando-se as proporções dos cátions principais ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ ) e dos ânions principais ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) em dois diagramas triangulares respectivos, e combinando as informações dos dois triângulos em um losango situado entre os mesmos (LUCENA et al., 2004). A Figura 22 mostra os diagramas de Piper para as duas campanhas dos dois aquíferos.

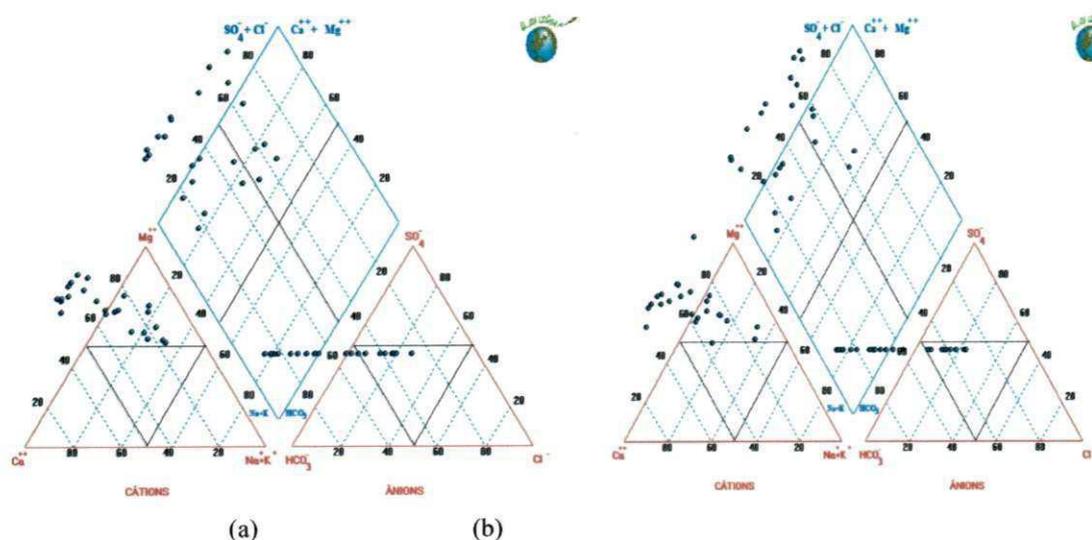


Figura 22- Diagramas de Piper para as épocas de estiagem (a) e chuvosa (b)

Analisando a Figura 22 observa-se que as águas dos dois aquíferos são magnesianas, bicarbonatadas sódicas e cálcicas, em ambas as estações do ano.

### Classificação

Os parâmetros que em maior número de amostras não atenderam as exigências da Portaria MS 2.914/2011 foram os coliformes totais e *E.coli*, em particular o primeiro, pois 83% das amostras apresentaram coliformes em alguma das duas campanhas de coleta, enquanto

Usando-se as concentrações de coliformes e as de nitrato como indicadores de impactos antrópicos, embora nitratos estiveram abaixo dos VMP foram analisados seus valores, pode-se concluir que os aquíferos possuíam águas de qualidade natural alteradas pela atividade antrópica. Então não podem ser classificados nas classes especial, 1 e 2, uma vez que estas são as classes de águas subterrâneas que não receberam interferência exógena que altere na qualidade da água, e, portanto, que mantêm sua qualidade natural. Ressalta-se que nas águas dos poços nos quais era aplicado algum tipo de tratamento, a coleta foi feita em pontos antes da aplicação desse tratamento. Destaca-se ainda que apenas as águas dos poços destinados ao abastecimento público, operados pela CAGEPA, recebem cloração adequada.

A comparação dos resultados dos parâmetros qualitativos das águas dos poços dos dois aquíferos com os valores estabelecidos na Portaria MS 2.914/2011, mostrou que a água de todos os poços necessitam de algum tipo de tratamento para satisfazer as exigências de qualidade para o consumo humano. Já para outros usos menos exigentes, como lavado de roupas, irrigação e dessedentação animal entre outras, essas águas podem ser usadas sem tratamento.

Conclui-se então que os aquíferos livre e confinado da zona 7 da área sob estudo, podem ser enquadrados na classe 3, pois *“são águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais”* (CONAMA, 2008).

Observa-se que não deixa de ser uma classificação confusa, por serem águas que necessitam de tratamento para consumo humano, entretanto não podem ser classificadas em nenhuma das outras classes (1, 2, 4 e 5) por não se adequarem às mesmas. Não poderiam ser classificadas nas classes 4 e 5, pois são águas que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo ou destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso, o que não é o caso da área em estudo, onde a água é utilizada para consumo humano.

### 5.3 Qualidade das águas superficiais

#### *Caracterização da qualidade dos corpos de água superficiais*

A próxima tabela mostra o resultado das análises de estatísticas básicas feitas com os dados das análises qualitativas das amostras de água superficiais da área de estudo.

Tabela 20 – Resultado das análises das estatísticas dos dados de qualidade da água para as amostras das duas campanhas de monitoramento dos corpos de água superficiais

Número	1ª Campanha (estiagem)				2ª Campanha (chuvoso)			
	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Cor Aparente (UC)	35,33	63,70	10,20	19,21	36,08	55,50	21,20	14,18
Turbidez (NTU)	17,49	63,16	3,85	25,64	8,41	10,00	6,02	1,64
pH	6,80	7,84	6,05	0,67	6,64	7,80	5,44	0,86
C.elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cma}$ )	160,25	181,13	134,17	20,28	164,50	193,20	115,80	35,10
Salinidade (PPM)	174,79	192,17	158,23	16,36	160,70	180,30	140,80	15,30
SDT (mg/L)	493,60	678,00	254,00	188,60	111,40	135,00	88,00	20,42
Alcalinidade Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	33,70	46,00	16,00	13,17	32,24	42,00	18,00	9,30
Alcalinidade de bicarbonato (mg [HCO <sub>3</sub> ]/L)	41,11	56,12	19,52	16,07	39,33	51,24	21,96	11,34
Alcalinidade de carbonato (mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	20,22	27,60	9,60	7,90	19,34	25,20	10,80	5,58
Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	58,60	73,00	29,00	18,06	58,80	82,00	28,00	21,48
Ca ++ (mg/L)	39,60	67,00	20,00	19,05	24,80	43,00	13,00	11,39
Na + (mg/L)	58,88	74,00	38,65	14,91	52,96	65,32	39,75	9,31
K (mg/L)	6,71	9,12	4,50	2,10	5,97	6,59	4,87	0,67
Cl - (mg/l)	39,53	46,27	33,97	4,79	34,28	41,23	28,96	4,85
Ferro (mg/L)	0,28	0,42	0,15	0,12	0,61	0,86	0,42	0,20
Mg(mg/L)	19,63	25,80	12,72	5,06	19,99	23,28	16,20	3,25
Nitrato (NO <sub>3</sub> -)(mg/L)	0,32	0,49	0,18	0,15	0,29	0,43	0,19	0,12
Nitrito (NO <sub>2</sub> -)(mg/L)	0,04	0,06	0,01	0,02	0,03	0,06	0,01	0,02
N-amoniaco (mg /L)	12,59	22,49	0,68	10,67	12,44	22,65	0,71	10,69
OD (mgO <sub>2</sub> /mL)	3,73	6,78	0,72	2,78	4,74	7,30	2,50	2,04
Coliformes Totais (NMP/100mL)	2419,00	2419,00	2419,00	0,00	2218,40	2419,60	1413,60	449,90
E. coli (NMP/100mL)	1302,58	2419,00	0,00	1149,52	373,78	1499,50	0,00	637,53

As amostras de águas superficiais foram coletadas em cinco pontos pré-selecionados, dos quais três localizam-se no rio Jaguaribe, um no rio Cabelo e o outro no rio Cuia, no Baixo

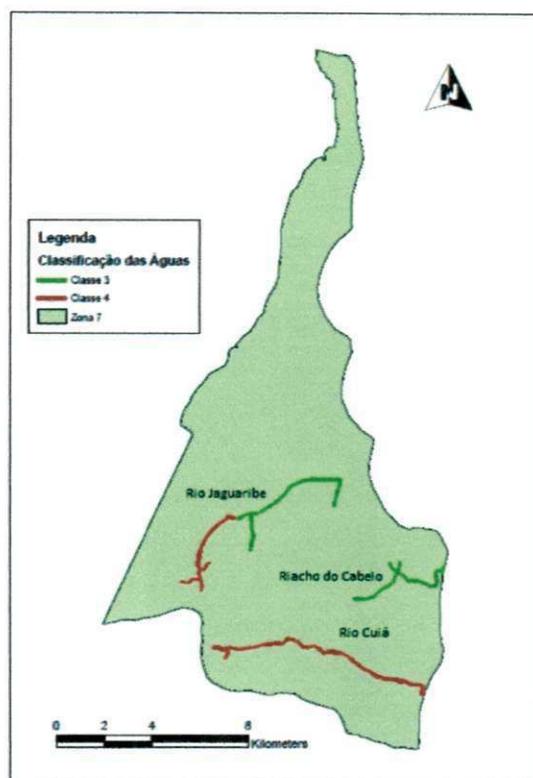


Figura 23- Mapa com a classificação dos corpos de água superficiais inseridos na zona 7

O rio Cuiá tem usos limitados, por estar na classe 4, sendo seu principal uso para harmonia paisagística e navegação. Já o riacho do Cabelo e uma seção do rio Jaguaribe enquadram-se na classe 3, pois são águas que podem ser destinadas ao consumo humano após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais.

Como consequência, nenhuma dessas amostras de água está apta para o consumo direto. Comparando os resultados das análises qualitativas das águas superficiais com os padrões – VMP – da Portaria MS 2.914/2011, observa-se que todos os pontos apresentaram altos teores de coliformes totais e em vários houve presença de *E. coli*, indicando contaminação fecal, obviamente de origem antrópica, como ocorre em geral nos ambientes aquáticos superficiais. Para a cor aparente, apenas uma amostra coletada na época seca esteve dentro do valor permitido. As demais apresentaram valores superiores aos VMP nas duas épocas do ano, com médias de 35,33 e 36,08 UC respectivamente. O pH teve valores em torno do básico e

O rio Cuiá tem usos limitados, por estar na classe 4, sendo seu principal uso para harmonia paisagística e navegação. Já o riacho do Cabelo e uma seção do rio Jaguaribe se classifica na classe 3, sendo águas que podem ser destinadas ao consumo humano após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais. (Figura 24).

Como consequência, nenhuma dessas amostras de água está apta para o consumo direto. Comparando os resultados das análises qualitativas das águas superficiais com os padrões – VMP – da Portaria MS 2.914/2011, observa-se que todos os pontos apresentaram altos teores de coliformes totais e em vários houve presença de *E. coli*, indicando contaminação fecal, obviamente de origem antrópica, como ocorre em geral nos ambientes aquáticos superficiais. Para a cor aparente, apenas uma amostra coletada na época seca esteve dentro do valor permitido. As demais apresentaram valores superiores aos VMP nas duas épocas do ano, com médias de 35,33 e 36,08 UC respectivamente. O pH teve valores em torno do básico e dentro da faixa estabelecida na portaria 2.914/2011, ou seja, entre 6 e 9,5. Os outros parâmetros estiveram dentro da faixa aceita ou não são referenciados na portaria citada. Portanto, essas águas superficiais que contribuem com a recarga dos aquíferos estudados, estão com contaminação antrópicas de diferentes graus, algumas bastante comprometidas qualitativamente (classe 4).

#### **5.4 Elaboração das metas**

Para a elaboração das metas utilizou-se a divisão das subáreas de acordo com a condutividade hidráulica realizada por Batista (2010), Figura 09.

##### *Subárea 01*

A subárea 01 abrange totalmente o município de Cabedelo e parcialmente o de João Pessoa. É formada por sedimentos aluviais e fluvio-marítimos com alta condutividade hidráulica, 6,5m/d, o que propicia a penetração do contaminantes que possam ser dispostos no solo. A

área apresentou também alto índice de vulnerabilidade, provavelmente por causa das características do solo e pelos altos níveis estáticos registrados nesse local. O índice de vulnerabilidade apresentou valores entre 0,51 e 0,65 como mostra a Figura 13. Observa-se ainda, que trata-se de uma área com pouca ocupação urbana, apresentando na sua maior parte ocupada vegetação semidensa, como se mostra na Figura 15. Nota-se também que esta área apresenta número significativamente elevado de atividades potencialmente poluidoras, principalmente pelos diversos postos de combustíveis, além de um grande número de poços perfurados concentrados na região litorânea, onde, conseqüentemente, ocorre maior é a interferência entre eles. Esta foi a subárea que apresentou maiores raios de influência, de acordo com a Tabela 15.

Os resultados das análises da qualidade da água dos poços do aquífero confinado desta área (poços identificados com os números 663, 704, 1001 e 971) indicaram água fora dos padrões de potabilidade em desacordo com a legislação vigente, onde consta que a água não pode ser consumida sem tratamento adequado, devido à presença de coliformes totais em pelo menos uma das campanhas, porém não apresentaram *E.coli*. A legislação estabelece ausência destas bactérias na água de beber e é suficiente a presença de coliformes totais em 100 ml de água para impedir seu consumo.

O poço 1001 teve a pior qualidade, com alta salinidade, associada aos teores de sódio além do permitido, 318mg/L, (a legislação estabelece um limite de 200mg/L para o consumo humano). O aquífero livre, onde se localizam os poços 1, 694, 363 e 963, mostrou qualidade semelhante ao aquífero confinado.

Descarta-se a hipótese de intrusão salina nessa área, devido aos resultados de Batista (2010), portanto, a alta salinidade não está relacionada à contaminação com água do mar e sim pelas características de constituição do solo, com sedimentos marítimos.

De acordo com as características de cada critério de enquadramento simulado neste trabalho e considerando os aquíferos desta área, atualmente em classe 3, define-se como possível meta de qualidade a ser alcançada para o enquadramento dos aquíferos confinado e livre a classe 2. Uma classe melhor, mais nobre, resultaria mais difícil e onerosa de ser atingida.

### Subárea 02

A subárea 02 é formada pelo subsistema Barreiras, constituído por camadas intercaladas de areia, silte e argila, com índice de condutividade hidráulica de 6,00m/d. Este tipo de solo também pode favorecer a percolação dos contaminantes desde a superfície do solo até o lençol freático. A Figura 08 indica que se trata de uma área de recarga do aquífero em consequência da fratura no limite oeste da região, fazendo fronteira com a subárea 3 no limite leste. Na Figura 13 se pode verificar que a área apresenta baixo índice de vulnerabilidade, com valores de 0,2 a 0,43. Com relação ao critério de quantidade de poços em operação, mostrados na Figura 14, verifica-se que a subárea 02, apesar de não apresentar quantidade significativa de poços, tem a maior taxa de bombeamento, de 27.500 m<sup>3</sup>/d, a qual ocasiona a interferência entre os poços, sendo a segunda subárea com maior raio de influência.

O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 15) mostra grande urbanização, apresentando algumas áreas com agricultura. Já o mapa de localização das fontes potencialmente poluidoras (Figura 22) mostra que a área possui elevado número de indústrias e lava-jatos e ainda um cemitério, uma estação de tratamento de esgoto e um lixão. Analisando a qualidade das águas superficiais que possuem conexão com as águas subterrâneas e que correspondem a um trecho do rio Jaguaribe que está inserido nesta área, a qualidade definida nas análises corresponde à classe 4, o que representa uma água sem utilidade, exceto para paisagismo e navegação. Os resultados sobre a qualidade da água dos poços que captam do aquífero confinado (poços 541, 730, 655, 538) mostraram qualidade não apta para o consumo humano direto, sendo necessário tratamento que elimine bactérias e cor aparente. Essas águas apresentaram cor aparente acima de 15UH limite estabelecido na Portaria MS nº 2.914/2011 (poços 730 e 541 nas duas campanhas), coliformes totais em altas concentrações (poços 541 e 538 nas duas campanhas) e o poço 541 apresentou *E.Coli* na época chuvosa. No aquífero livre (poços 328 e 62) a água apresentou características de qualidade semelhantes ao do confinado.

A subárea 02 apresentou características distintas da subárea 01, tais como o maior consumo de água subterrânea e a maior urbanização. Então, considerando a condição atual da qualidade dos aquíferos em classe 3, define-se como meta intermediária possível de ser

alcançada técnica e economicamente a classe 2, e como meta final a classe 1, para ambos os subsistemas.

### *Subárea 03*

A subárea 03 é constituída pela formação Barreiras e por uma parte de sedimentos aluviais e fluvio-marítimos. Apresenta condutividade hidráulica de 1,5m/d, dificultando a percolação do contaminante desde o solo até o lençol freático. O índice de vulnerabilidade do local apresentou valores medianos, entre 0,45 e 0,50, caracterizando-a como uma área vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando estes são continuamente lançados. Esta área apresentou poucos poços em operação quando comparada às demais áreas, com a menor taxa de bombeamento, de apenas 11,75m<sup>3</sup>/dia. Com relação à Figura 15, que mostra o mapa de uso e ocupação do solo, observou-se que a subárea 03 possui urbanização bastante intensa, apesar de apresentar uma área de vegetação densa, a Mata do Buraquinho, que é uma zona de preservação permanente. As fontes potencialmente poluidoras contidas na subárea 03 são postos de combustíveis, lava-jatos e um cemitério. Analisando a qualidade das águas superficiais correspondentes, o trecho do rio Jaguaribe a partir da Mata do Buraquinho foi classificado em classe 3, que corresponde a águas que podem ser destinadas ao consumo humano após tratamento convencional ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, à pesca amadora, à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais. A qualidade da água dos poços do aquífero confinado (poços 650, 531 e 541A) nesta área apresentou altos teores de coliformes totais (poços 531 e 541A), o poço 541A apresentou *E.Coli* em altas quantidades na época de estiagem, os 3 poços com valores de cor aparente, turbidez (poço 541A) e de ferro (poço 541A e 650) fora dos limites estabelecidos pela Portaria MS 2.914/2011.

No aquífero livre (poços números 329 e 116), a água dos poços apresentou coliformes totais em desconformidade com a Portaria MS 2.914/11, necessitando de tratamento para poder ser destinadas ao consumo humano.

A subárea com água de poços de melhor qualidade foi a subárea 03, apresentando também menor taxa de bombeamento e solo com menor condutividade hidráulica, o que tem contribuído para a melhor conservação da qualidade da água do aquífero.

Considerando os dois subsistemas, em condição atual de qualidade correspondente à classe 3, projeta-se como meta intermediária possível de ser alcançada a classe 2, e como meta final a classe 1, para ambos subsistemas, considerando as limitações técnicas e econômicas.

#### *Subárea 04*

A subárea 04 é constituída pela formação Barreiras e uma parte de sedimentos aluviais e fluvio-marítimos, apresentando a maior condutividade hidráulica de todas as áreas, 13,50m/d, o que torna esta região a de maior facilidade ou risco de contaminação. Esse fato é confirmado no mapa de vulnerabilidade que identificou locais com índice médio a alto, tendo a presente área locais vulneráveis a muitos poluentes, exceto àqueles menos móveis e pouco persistentes. Dentre as quatro áreas, esta foi a que apresentou o menor número de poços.

Com relação ao uso do solo, a Figura 15 mostra que a maior parte da área é caracterizada por vegetação semidensa, com pequenas áreas de agricultura e urbanização. Além disso, apresenta grande quantidade de postos de combustível e algumas indústrias como as principais fontes de poluição.

Avaliando a qualidade das águas superficiais, classificou-se o Rio Cuiá na classe 4, o riacho do Cabelo na classe 3, e por fim, o trecho do rio Jaguaribe, que está inserido nesta área, na classe 3. Os poços que estão inseridos nessa subárea são os poços de número 685, 676, 711 e 674. Analisando a qualidade da água subterrânea, observou-se que os poços que captam do aquífero confinado (poços 685, 676, 711 e 674) apresentaram coliformes totais, porém não apresentaram *E.coli* e altos teores de ferro (poços 685, 676 e 711), com valores acima do permitido pela legislação, o que exige tratamento adequado para o consumo humano. Os poços que captam do aquífero livre (poços 690 e 365) apresentaram sabor salino, altos valores de ferro e elevadas concentrações de coliformes totais.

A subárea 04 teve áreas com a maior condutividade hidráulica, facilitando assim a contaminação. Apresentou também uma qualidade razoável da água subterrânea, porém com

corpos superficiais em classe 4. Considerando os dois subsistemas, com qualidade das águas atualmente em classe 3, define-se como meta possível de ser alcançada para ambos os aquíferos, a classe 2.

As metas para as quatro subáreas são apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Classes de condições atuais da qualidade e da meta a serem alcançadas para os aquíferos das 4 subáreas estudadas.

Subárea	Classificação atual	Meta
01	Classe 03	Classe 02
02	Classe 03	Classe 01
03	Classe 03	Classe 01
04	Classe 03	Classe 02

#### 5.4 Sugestões de ações para alcançar as metas

Para alcançar as metas propostas, algumas medidas devem ser tomadas em conjunto com a gestão do uso do solo.

##### 1.0) Criação de áreas de proteção e controle de seu uso

Propõe-se como ação a criação de áreas de proteção a fim de verificar as áreas de risco de contaminação da água. Para isto é preciso levar em consideração os Planos de Bacias Hidrográficas, e os Programas de Monitoramento de Qualidade. Sugerem-se dois tipos de áreas: Áreas de Proteção e Áreas de Restrição do Uso.

Nas Áreas de Proteção devem estar inseridas as zonas de recarga do aquífero, zonas de captação para abastecimento público, áreas com extrema vulnerabilidade, áreas que apresentem alta densidade de poços, alta taxa de bombeamento e que já apresentem comprometimento da qualidade da água. Para estas áreas sugere-se que se adotem restrições quanto às instalações de novas fontes de poluição e uma investigação quanto à causa da poluição atual das águas subterrâneas e ações corretivas para melhorar sua qualidade.

As áreas definidas como de restrição de uso são áreas que apresentam boa qualidade da água exigindo um disciplinamento na sua extração e limitação das fontes de poluição a fim de evitar futuro comprometimento da qualidade. Nessas áreas sugerem-se ações preventivas, como restringir a perfuração de novos poços considerando o raio de influência dos mesmos, bem como estabelecer regimes de bombeamento e monitorar as fontes de poluição já existentes.

- Subárea 01: Área de Proteção, pois é um local de recarga do aquífero.

- Subárea 02: Área de Proteção, pois é local de recarga do aquífero e possui alta exploração da água subterrânea.

- Subárea 03: Área de Restrição do Uso, pois é uma área com qualidade de água boa, porém com alto número de poços, então sugere-se a restrição para outorga para novos poços e para o licenciamento ambiental de alguma atividade que ofereça risco.

- Subárea 04: Área de Restrição do Uso, por ser uma área diretamente ligada à costa, então orienta-se o disciplinamento do uso, com regimes de bombeamento, a fim de prevenir o avanço da cunha salina.

## 2.0) Programa de despoluição dos corpos d'água superficiais

A preservação dos mananciais subterrâneos depende essencialmente das práticas e atividades adotadas na superfície, uma vez que existem inúmeros sistemas de comunicação entre as águas superficiais e as subterrâneas. Então, medidas preventivas referentes à minimização do impacto na qualidade das águas dos mananciais superficiais se refletem na preservação e na proteção das águas subterrâneas (LIBÂNIO, 2008).

Propõe-se a elaboração de programas de despoluição para os rios Cuiá, Jaguaribe e Riacho do Cabelo, nesse estudo de caso especificamente, a fim de melhorar sua qualidade, bem como a elaboração da proposta de enquadramento dos corpos superficiais com as suas respectivas metas e ações para melhoria da qualidade dessas águas e das subterrâneas.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba prevê um programa de preservação dos mananciais, o Programa nº 24, com o objetivo geral de definir e ordenar ações integradas de preservação dos mananciais do Estado, em especial àqueles destinados ao

abastecimento humano e com capacidade plurianual de regularização. Importa recuperar, proteger e conservar áreas de nascentes, matas ciliares, e outras áreas de florestas remanescentes. Devem ser controladas também as atividades potencialmente poluidoras dos recursos hídricos, mediante um Zoneamento Ecológico – Econômico efetivo, assegurando uma boa articulação entre a gestão dos recursos hídricos e a gestão do uso do solo no Estado. O programa proposto seria uma das etapas para a efetivação do Programa nº 24. O programa como um todo está orçado em R\$ 3.635 mil para todas as águas do estado.

### 3.0) Incentivos regulatórios e financeiros para o setor industrial

Normalmente, os contaminantes produzidos pelas indústrias atingem os solos e rios, e, posteriormente, dependendo das condições de vulnerabilidade do aquífero (tipo de solo, profundidade do nível de água, entre outros), podem atingir as águas subterrâneas (ANA, 2007). Tais efluentes têm suas características bem diversificadas, dependendo do setor em que trabalha a indústria.

Diante disto, propõem-se maiores incentivos regulatórios e financeiros para que as indústrias desenvolvam ações preventivas voltadas para a redução não apenas da poluição, mas também dos seus custos, bem como proteção do solo e da água subterrânea. Tais ações seriam voltadas para a adoção de uma produção mais limpa, as quais ampliariam a eficiência do uso de matérias-primas da energia e água.

### 4.0) Programa de orientação e fiscalização na construção e operação do poço

A forma de construção do poço é fundamental para garantir a qualidade da água captada e maximizar a eficiência da operação do poço e a exploração do aquífero (ANA, 2005). Diante disto, propõem-se a elaboração de um programa para a orientação a respeito da forma correta de construção e operação de um poço tubular, considerando a norma da ABNT NBR 12.244/1992, que descreve as técnicas corretas para construção de poços. Tal orientação pode ser feita em forma de cartilha e ficar disponível no ato de entrada no processo de outorga do direito do uso da água. Após a orientação, propõem-se ainda a fiscalização dos poços com a

intenção de verificar se as técnicas de construção empregadas estão de acordo com as normas e a cartilha de orientação.

Segundo Libânio (2008), a primeira medida a ser tomada é a proteção do poço por meio do revestimento das paredes em alvenaria e concreto, impedindo o carreamento das águas pluviais para o seu interior e evitando também o desmoronamento das paredes. Uma segunda escavação com 10cm de largura ao longo dos 3 metros iniciais de parede a ser preenchida, preferencialmente de concreto, minimizará a possibilidade de contaminação do poço. E por fim, a instalação de uma tampa de concreto e o emprego de uma bomba para evitar o uso de baldes, são medidas propícias para evitar que a contaminação externa atinja o aquífero.

#### 5.0) Implantação de rede coletora e de estação de tratamento de esgoto

Segundo Oliveira (2006), a cidade de João Pessoa tem apenas 52% da cobertura por esgotamento sanitário, desse esgoto coletado 90% é destinado ao tratamento em estações de tratamento e 10% é encaminhado para um sistema de diluição que recebe água do mar por ocasião das altas marés e libera esgoto diluído nas marés vazantes. Porém, para a eliminação da contaminação por esgoto sanitário, o ideal é que a cidade tenha 100% do esgoto coletado e tratado. Propõem-se a expansão da rede coletora de esgotamento sanitário e a instalação de pelo menos mais duas estações de tratamento – ETES.

A expansão da rede coletora e o tratamento teria como efeito a minimização ou até mesmo a eliminação da contaminação das águas subterrâneas por fossas sépticas e dos lançamentos clandestinos nos corpos d'água superficiais, evitando que os mesmos atinjam o lençol freático.

---

## CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

### 6.1 Conclusões

O enquadramento dos corpos de água subterrâneos é um instrumento de grande importância na gestão dos recursos hídricos e na gestão ambiental, pois possibilita a proteção da qualidade das águas e, portanto, melhor gestão e utilização das mesmas, favorecendo também o desenvolvimento social e econômico local. Permite ainda melhorar ou recuperar a qualidade da água de um manancial deteriorada com os usos múltiplos ou devido não cumprimento das normas de lançamentos de efluentes, por exemplo.

Neste contexto, as principais conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento do presente trabalho são destacadas a seguir:

- O processo de enquadramento envolve grandes esferas do desenvolvimento sócio, econômico e ambiental. Para sua implementação é necessária a articulação dos setores públicos de saneamento básico, gestão do uso do solo e do setor industrial.
- A articulação entre a Gestão Municipal e a Gestão Hídrica é de grande importância para a proteção da qualidade das águas e para a implementação do enquadramento dos corpos de água.
- O enquadramento dos corpos d'água subterrâneos é um instrumento pouco usado pelos estados. Esse fato pode ser atribuído à complexidade do processo e pela grande quantidade de critérios e variáveis envolvidos. Enumeram-se como critérios mínimos para o processo de enquadramento dos corpos d'água subterrâneos os seguintes: determinação da qualidade das águas subterrâneas e das superficiais para possibilitar a sua classificação e o acompanhamento das metas, a vulnerabilidade dos aquíferos e o estudo da intrusão salina em locais próximos à costa. Ainda sugere-se que a resolução sobre enquadramento institua os critérios mínimos obrigatórios, facilitando assim o processo do enquadramento.

- Observa-se que, comparando os sistemas de classificação e estabelecimento de metas de outros países com o brasileiro, o sistema utilizado no Brasil envolve grandes estudos e muitas variáveis, o que dificulta a implementação do enquadramento pelos estados. Vê-se também que em alguns estados já foi instituída a cobrança pela água subterrânea sem que tenha sido efetivado o enquadramento.

- Outra dificuldade para a implementação do enquadramento dos corpos de água subterrâneos é a falta de uma rede de monitoramento sistemático da qualidade e da quantidade da água.

- A meta estabelecida deve ser condizente com a realidade da bacia hidrográfica. As metas de enquadramento propostas neste estudo foram consideradas viáveis tecnicamente, uma vez que existem meios que fornecem a proteção e a melhoria da água para alcançar os objetivos.

- O acompanhamento do atingimento do cumprimento das metas progressivas pelos órgãos gestores dos recursos hídricos e ambientais é essencial para a efetivação do enquadramento. E este processo deve ser acompanhado também pelo comitê da bacia hidrográfica correspondente. Para a elaboração e efetivação do enquadramento deve haver o fortalecimento do sistema de gestão estadual e dos comitês de bacia.

- A resolução CONAMA nº 396/2008, que trata da classificação das águas subterrâneas e a resolução CONAMA 357/2005, que trata da classificação das águas superficiais, estabelecem formas diferentes de se enquadrar os dois tipos de águas. Essa questão é apontada como um fator negativo para o enquadramento por não favorecer a integração dos corpos superficiais com os subterrâneos no processo de enquadramento das águas.

- A ausência de proteção dos recursos subterrâneos na área em estudo é evidenciada pelo comprometimento da qualidade das águas, pela quantidade de poços perfurados sem levar em consideração a influência entre os raios de ação dos mesmos, e ainda pela elevada quantidade de atividades locais potencialmente poluidoras.

- O critério de intrusão salina nos locais próximos à costa, proposto neste estudo, se mostrou importante para a avaliação e manutenção da qualidade das águas subterrâneas, permitindo analisar previamente a possibilidade de um grande prejuízo que pode acontecer. Indica-se que este critério deve ser considerado no processo de outorga do direito de uso, a fim de evitar uma superexploração, impedindo o avanço da cunha salina e o comprometimento da água do aquífero.

- O critério proposto de interferência entre poços se mostrou de grande valor nesta pesquisa, visto que a interferência compromete a qualidade das águas subterrâneas. Ela também é um critério que deve ser observado no momento de consentimento da outorga, pois esta influência causa o rebaixamento do nível freático, comprometendo a quantidade de água disponível para exploração e conseqüentemente a qualidade das águas subterrâneas, visto que quantidade e qualidade são indissociáveis.

- As águas subterrâneas da Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do Rio Paraíba é de boa qualidade, porém já se observa seu comprometimento das mesmas por atividades antrópicas. Essa contaminação foi principalmente indicada pela presença de coliformes totais e *Escherichia coli* nas águas dos poços. Essa contaminação impede o uso das águas de todos os poços para consumo humano sem tratamento adequado, que em alguns pode ser apenas uma simples desinfecção com o cloro. Porém, nas visitas aos locais de coleta, apenas um poço, particular, possuía esse tipo de tratamento, além de todos os poços sob exploração da CAGEPA.

- Os altos teores de ferro encontrados na água de 16 poços são atribuídos ao contato dessas águas, na sua percolação, com rochas e solos ricos em ferro. Este parâmetro deve ser observado quanto ao consumo da água, pois nas águas subterrâneas o ferro constitui um nutriente para as ferrobactérias, que conferem cor, odor e sabor à água, porém não representam um inconveniente sanitário.

- A qualidade das águas superficiais da região está com a sua qualidade comprometida, sendo até mesmo apontada como uma possível causa da contaminação biológica das águas

subterrâneas. A possível causa da contaminação da água superficial do local é o lançamento clandestino de esgoto sanitário doméstico e industrial e o escoamento.

### **6.2 Recomendações para pesquisas futuras**

Sugerem-se como temas para pesquisas futuras:

- Estudo do enquadramento da água superficial.
- Modelagem da qualidade da água subterrânea para simulação das metas.
- Estudo para estimar os custos de implementação das ações.

### **6.3 Recomendações para o Sistema de Gestão**

Como recomendações para o órgão gestor, com o objetivo de uma melhor implementação da gestão das águas subterrâneas, sugerem-se:

- Inserir nas resoluções sobre enquadramento os critérios de interferência entre poços e intrusão salina, nas regiões litorâneas.
- Elaborar e implementar uma rede de monitoramento da qualidade e quantidade das águas subterrâneas.
- Divulgação de informações técnicas a respeito do modo correto de construção de um poço e de como operacionalizá-lo.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

- ALBUQUERQUE, J. do P. T.; RÊGO, J. C. (1998). **Subsídios para o gerenciamento racional e integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do estado da Paraíba**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre, ABRH, 1999.
- ALBUQUERQUE, J. do P. T. (2004). **Sustentabilidade de aquíferos. Mesa redonda. Tema: Sustentabilidade de aquíferos**. In: VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís-MA, 2004. Anais em CD-ROM.
- ALMEIDA FILHO, D. F. de; LUNGUINHO, R. L.; RUFINO, I. A. A.; (2011). **Classificação automática do uso do solo como instrumento de apoio à gestão das águas subterrâneas na bacia sedimentar costeira da Paraíba**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba-PR.
- ANA, Agência Nacional de Águas (2007). **Panorama do enquadramento dos corpos de água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília. ANA.
- ANA, Agência Nacional de Águas (2009). **Implementação do instrumento de enquadramento dos corpos d'água no Brasil**. Brasília. ANA.
- ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2009). [http://www4.anvisa.gov.br/AGROSIA/asp/frm\\_pesquisa\\_agrotoxico.asp](http://www4.anvisa.gov.br/AGROSIA/asp/frm_pesquisa_agrotoxico.asp). Acessado em Abril de 2009.
- APHA, AWWA, WPCF. (2005). **Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water**, 20th edition. Washington.
- ARAÚJO, L. E. de.; SILVA, D. F. da.; MORAES NETO, J. M. de.; SOUSA, F. de A. S. de. (2008). **Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na Bacia do rio Paraíba usando IAC**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23, p. 162-169, 2008.

- BARROS, J. G. do C. (2009). **As Águas Subterrâneas ou as Águas que Brotam das Pedras**. Revista das águas. Disponível online em <<http://revistadasaguas.pgr.mpf.gov.br/edicoes-da-revista/edicao-06/edicoes-da-revista/edicao-06/artigos/as-aguas-subterraneas-ou-as-aguas-que-brotam-das-pedras>>. Acessado em dezembro de 2011.
- BATISTA, M. L. C (2010). **Modelagem do Fluxo Subterrâneo na Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do Rio Paraíba**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, 114 p, 2010.
- BRASIL (1997). Lei Federal nº. 9.433 de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Brasília.
- BRASIL (1998). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília.
- BRASIL (2000). Lei Federal nº 9.984 de 17 de julho de 2000. **Dispõe da criação da Agência Nacional das águas- ANA**. Brasília.
- BRASIL, (2004). Portaria do Ministério da Saúde n.518. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade; e dá outras providências**.
- BRITES, A. P. Z.; PORTO, M. F. A.; FERNANDES, C. S. (2009). **Enquadramento dos Corpos D'água: uma nova visão**. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH: Campo Grande.
- BC MINISTRY OF WATER, LAND AND AIR PROTECTION,( 2002). **Environment Canada – Federal Water Policy**. Disponível on-line em <[http://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan\\_protect\\_sustain/groundwater/aquifers/Aq\\_Classification/Aq\\_Class.html](http://www.env.gov.bc.ca/wsd/plan_protect_sustain/groundwater/aquifers/Aq_Classification/Aq_Class.html)>>. Acesso em fevereiro de 2011.
- CARVALHO, A.T. (2011). **Análise multicriterial dos recursos hídricos subterrâneos de João pessoa aplicando o método do processo analítico hierárquico em um sistema de informações geográficas**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, 108 p, 2011.

- CDRM - Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba. (2009). **Cadastro de poços**. Documento cedido em abril de 2008.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2001). Resolução nº. 15, de 11 de janeiro de 2001. **Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas**. Brasília.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2003). Resolução nº. 335 de 03 de abril de 2003. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios**. Brasília
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2008). Resolução nº. 91, de 05 de novembro de 2008. **Dispõe sobre procedimentos gerais para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos**. Brasília.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2008). Resolução nº. 92, de 5 de novembro de 2008. **Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro**. Brasília.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (2008). Resolução nº. 396, de 03 de abril de 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Brasília.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005). Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Brasília.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (1986). Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986. **Estabelece sobre a classificação das águas**. Brasília.
- COSTA, W. D.; ALBUQUERQUE, J. do P. T., de; BRANCO, R. L. de C.; MARANHÃO, C. M. L.; GOLDFABER, M. (2007). **Estudo de caracterização e verificação da disponibilidade hídrica da vertente litorânea do estado da Paraíba**. Estudos Hidrogeológicos. Relatório Final. Tomo I – Texto. Ministério da Integração Nacional.

- COSTA, M. L. M. (2009). **Estabelecimento de Critérios de Outorga de Direito de Uso para Águas Subterrâneas**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, 128 p, 2009.
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil (2011). **Teoria dos aquíferos**. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1377&sid=129#PTS-EC-RHI>. Acesso em janeiro de 2011.
- DINIZ, L. T., RIBEIRO, W. A., PORTO, M (2006). **“Sistemas de Gestão de Recursos Hídrico e Ambiental e a Efetivação do Enquadramento dos corpos de água”**. In: Workshop sobre Gestão Estratégica de Recursos Hídricos, 2006. Brasília: Anais/CD-ROOM, Brasília. ABRH. 2006.
- DENR- NORTH CAROLINA DIVISION OF WATER QUALITY (2011)- **Nc Administrative Codes & Statutes**. Disponível on-line em <<http://portal.ncdenr.org/web/wq/ps/csu/rules>>. Acesso em fevereiro de 2011.
- DEPARTMENT OF ENERGY & ENVIRONMENTAL PROTECTION OF CONNECTICUT (2011)- **Connecticut's Aquifer Protection Area Program Municipal Manual 2011**. Disponível on-line em [http://www.ct.gov/dep/cwp/view.asp?a=2685&q=322252&depNav\\_GID=1654](http://www.ct.gov/dep/cwp/view.asp?a=2685&q=322252&depNav_GID=1654). Acesso em fevereiro de 2011.
- EPA (2006)– Environmental Protection Agency. **Ground Water Rule**. Disponível on-line em: <[www.epa.gov/ogwdw/disinfection/gwr/regulation.html](http://www.epa.gov/ogwdw/disinfection/gwr/regulation.html)>. Acesso em novembro de 2008.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute, (2000). **ModelBuilder for ArcView Spatial Analyst 2 - An ESRI White Paper**. Redlands, May, 2000.
- FABIANOVICZ, R.; SILVA JUNIOR, G. C. da; (2007). **Legislação e políticas de proteção de águas subterrâneas nos cenários nacional e internacional: tendências e resultados práticos**. São Paulo, UNESP, Geociências, V.26, n.1, p. 7-16, 2007.

- FIEP (2006). Cadastro industrial da Federação da Indústria da Paraíba. Cedido em novembro de 2008.
- FEITOSA et. al J. 2008. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM, 3. ed., Fortaleza, 812 pp
- FOSTER, S.S.D. (1987) **Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy**, in W. van Duijvanbouden and H.G. van Waegeningh (eds.), **Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No. 38** of the International Conference held in the Netherlands, in 1987, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. (2002). **Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales**. Banco Mundial. Washington, D.C.: Mundi-Prensa Libros, S.A.
- FUNCEME (2009). Qualigraf. Disponível on-line em: <http://www.funceme.br/>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível on-line em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em março de 2010.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos da qualidade e tratamento de água**. 2ª Edição. Campinas, SP: Editora Átomo. 2008.
- LOBO FERREIRA E OLIVEIRA ( 2003) apud Souza, N. A. de (2009). **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas – um estudo do aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Uberlândia, 2009.
- LUCENA, L.F.R.; ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A.V.L., (2004). **Características hidroquímicas do aquífero barreiras no âmbito do setor oriental da Bacia do Rio Pirangi - RN**. Revista Águas Subterrâneas. Curitiba-PR. v. 18. n. 18. p. 29-38.

- MINISTÉRIO DA SAÚDE (2011). **Portaria MS Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011:** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- MEDEIROS, C. M.; BARBOSA, D. L.; CEBALLOS, B. S. O.; RIBEIRO, M.M.R.; ALBUQUERQUE, J. P. T. (2009). **Qualidade das Águas Subterrâneas na Porção Sedimentar da Região do Baixo Curso do Rio Paraíba.** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande-MS.
- MEDEIROS, C. M.; RIBEIRO, M. A. M. F; BARBOSA, D. L.; RUFINO, I. A. A; (2011). **Mapeamento da vulnerabilidade de parte da Bacia Sedimentar do Baixo Curso do rio Paraíba utilizando o método GOD.** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba-PR.
- OLIVEIRA, S.M.A.C. **Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos.** 2006. f. 93. Dissertação (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2006.
- PARAÍBA (2006). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Relatório Final. Disponível on-line em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em março de 2009.
- PARLAMENTO EUROPEU (2000)– **Diretiva-Quadro da Água. Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro de 2000.** Estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água. 2000. Disponível em <<http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l28002b.htm>>. Acesso em junho de 2008.
- PORTO, M. F. A. (2002) **Sistemas de gestão da qualidade das águas – uma proposta para o caso brasileiro.** Tese de Livre Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- REBOUÇAS, A. da C. e AMORE, L (2002). **Sistema Aquífero Guarani.** Revista Águas Subterrâneas. Nº 16, maio de 2002. Curitiba: ABAS

- RUFINO, I. A. A.; ALMEIDA FILHO, D. F. de; OLIVEIRA, A. L.; LUGUINHO, R. L.; (2011) **Geoprocessamento no apoio aos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança na gestão das águas subterrâneas.** X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.
- SEMADS, Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2001). **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos da Macrorregião 2: Bacia da Baía de Sepetiba.** Cooperação Técnica Brasil-Alemanha. Projeto PLANÁGUA-SEMADS-GTZ. Rio de Janeiro.
- SOUZA, J. A. (2010) **SIMULAÇÃO DA COBRANÇA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA BACIA DO RIO PARAÍBA-PB.** Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, 121p, 2010.
- TGPC- Texas Groundwater Protection Committee (2003). **Joint Groundwater Monitoring and Contamination Report 2010, SFR-056/10.** Disponível em <Texas: <http://www.tgpc.state.tx.us>> Acessado em Fevereiro de 2011.
- TUCCI, C.E.M. & CABRAL, J. (2003). **Qualidade da Água Subterrânea.** Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. 53 p, 2003.
- UKTAG- The United Kingdom's Technical Advisory Group on the Water Framework Directive (2007). Disponível em <<http://dqa.inag.pt/>> Acessado em fevereiro de 2011.
- USP/UFPR. **Bacias Críticas: Bases Técnicas para a Definição de Metas Progressivas para seu enquadramento e a Integração com os demais Instrumentos de Gestão.** Projeto Enquadramento. Relatório Final para o Convênio MCT/FINEP/CT-HIDRO-GRH01/2004 nº: 01 041000 00. Outubro, 2007.
- UFCG/UFAL/UFSM (2009). **Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas.** Relatório Parcial I. Agosto de 2009.
- UFCG/UFAL/UFSM (2010). **Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas.** Relatório Parcial II. Agosto de 2010.

UFRRJ (2012). Riscos de acidentes na zona rural. <[www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes](http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes)>.

Acessado em janeiro de 2012.

ZOBY, J. L. G; (2002). **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.