

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

ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DE
DIREITO DE USO PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Dissertação de Mestrado

Mirella Leôncio Motta e Costa

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2009

Mirella Leôncio Motta e Costa
mirellamotta@yahoo.com.br

ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DE DIREITO DE USO PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

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

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C837e

2008 Costa, Mirella Leôncio Motta e

Estabelecimento de critérios de outorga de direito de uso para águas subterrâneas / Mirella Leôncio Motta e Costa. — Campina Grande, 2009. 128f. : il. Color.

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

Referências.

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Márcia Maria Rios Ribeiro.

1. Gestão de Recursos Hídricos 2. Critérios de Outorga 3. Águas Subterrâneas I. Título.

CDU – 556.18(043)

ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DE DIREITO DE
USO PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Aprovada em 19 de fevereiro de 2009

Mirella Leôncio Motta e Costa

Mirella Leôncio Motta e Costa

Márcia Maria Rios Ribeiro

Prof.^a Dr.^a Márcia Maria Rios Ribeiro (UFCG)

Orientadora

Laudízio da Silva Diniz

Dr. Laudízio da Silva Diniz
Examinador externo

Iana Alexandra Alves Rufino

Prof.^a Dr.^a Iana Alexandra Alves Rufino (UFCG)

Examinadora interna

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2009



Ficha Catalográfica

DEDICATÓRIA

Dedico esta vitória aos meus amados: Rony e Luan.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ser tão presente em minha vida, me ensinando o caminho correto e me concedendo bênçãos, mesmo sem eu as merecer. Agradeço por ter me feito chegar até aqui, concluir mais esta conquista e me guiar pelas próximas.

Agradeço ao meu marido, Rony Anderson, pelo apoio infinito e por me proporcionar as horas mais alegres da minha vida. Eu te amo muito!

Agradeço ao meu filho, Luan, por ser a coisa mais preciosa da minha vida e por conseguir com apenas um sorriso transformar um dia difícil em magnífico.

Agradeço à minha mãe, Suênia, por tudo que fez e faz por mim; por me ensinar a ser a mulher que sou hoje. Teu exemplo é o melhor ensinamento!

Agradeço ao meu pai, Josemar, que em tudo me apoiou durante todos os momentos de minha existência, mesmo que um pouco distante.

Agradeço à minha professora, Márcia, pela orientação, exemplo e compreensão no desenvolvimento do curso e da pesquisa. Obrigada por ter me acolhido na hora em que mais precisei!

Agradeço ao professor José do Patrocínio Tomaz Albuquerque pelos ensinamentos repassados e paciência durante a incessante troca de e-mails.

À minha grande amiga e colega, Maria Josicleide, que esteve do meu lado, desde a graduação até a defesa do mestrado. Os bons momentos vividos jamais serão esquecidos!

Aos professores do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Área de Engenharia Hidráulica da UFCG: Vapapeyam S. Srinivasan, Janiro Costa Rego, Carlos de Oliveira Galvão, Eduardo Enéas de Figueiredo, Iana Alexandra Alves Rufino, Rosires Catão Curi e Wilson Fadlo Curi pelos conhecimentos prestados e esclarecimentos concedidos durante o curso.

À professora Veruschka Escarião Dessoles Monteiro da área de Eng^a Geotécnica e à professora Annemarie Konig da área de Eng^a Sanitária pelas aulas esclarecedoras.

A todos da minha turma de mestrado: Maria Josicleide F. Guedes, Maria José de Sousa Cordão, Thiago da Silva Almeida, Ivonaldo de Sousa Lacerda, Nilton César da Silva, Eduardo Bezerra Rangel, Sandra Maria Araújo Ideião, Daniela da Silva Santos e Emmanuel Eduardo V. de Farias, pelo coleguismo, companheirismo, amizade, cumplicidade durante todo o curso.

Aos meus amigos (as) que indiretamente colaboraram com este estudo através de incentivos e apoios.

À secretária do curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFCG, Josete de Sousa Ramos, pelo apoio e ajuda nos assuntos burocráticos durante o período do curso.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica da UFCG: Aurezinha, 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.

Aos examinadores 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 outorga, cobrança e enquadramento das águas subterrâneas” – MCT/FINEP/CT-HIDRO¹ – pela oportunidade de ganhar conhecimento e de trabalhar em equipe. A todos que fazem parte desse projeto e em especial à Prof.^a Márcia Maria, Prof. Patrocínio Tomaz, Prof. Janiro Costa Rêgo, Prof.^a Iana Alexandra, Dayse Luna Barbosa, Paulo da Costa Medeiros, Marcondes Loureiro de Carvalho Batista, José Augusto de Souza, Maria Adriana de Freitas, Camila Medeiros Macêdo, Bárbara Barbosa e Samilly Jaciara pelo companheirismo, compreensão, paciência, e momentos de descontração.

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

Muito Obrigada!

¹ MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia;
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos;
CT-HIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos.

EPÍGRAFE

“Todos os rios correm para o mar e, contudo o mar não se enche; para o lugar de onde os rios vêm, eles retornam novamente.”

Eclesiastes 1:7

APRESENTAÇÃO

Esta pesquisa foi desenvolvida como parte integrante das metas-físicas do Projeto **“ASUB – Integração dos instrumentos outorga, cobrança e enquadramento das águas subterrâneas”**, fruto da chamada pública MCT/FINEP/CT-HIDRO - IGRH 01/2007, executado pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), co-executado pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), tendo como intervenientes a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A) e o Instituto de Meio Ambiente do Estado de Alagoas (IMA).

ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DE DIREITO DE USO PARA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A crescente exploração dos recursos hídricos subterrâneos, devido, principalmente, ao seu baixo custo e boa qualidade tem exigido a necessidade de regulação da sua disponibilidade tanto em quantidade como em qualidade. Um dos instrumentos instituídos pela Lei Federal nº. 9.433/97 para efetivar este controle é a outorga de direito de uso das águas, mediante a verificação de critérios preestabelecidos. Porém, verifica-se que não há metodologias consolidadas para determinação de critérios de outorga para águas subterrâneas. O objetivo central desta pesquisa é estabelecer critérios de outorga de direito de uso aplicados às águas subterrâneas. Foi utilizada como caso de estudo a porção da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco inserida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, estado da Paraíba, Brasil. Através da consideração de um modelo conceitual dos processos hidrogeológicos da região em estudo foi possível estabelecer critérios de outorga de acordo com a realidade da bacia. Como resultados, foram propostos níveis de abrangência de critérios de outorga, assim definidos: nível global, regional e local. A criação do nível de abrangência regional demandou que fossem criadas sete “zonas de gerenciamento”, nas quais poderão ser estabelecidos critérios diferenciados de uma zona para outra. Os critérios de outorga estabelecidos permitiram expressar os problemas de gerenciamento de recursos hídricos existentes na bacia caso de estudo.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos, critérios de outorga, águas subterrâneas.

ABSTRACT

ESTABLISHMENT OF CRITERIA FOR WATER RIGHTS OF GROUNDWATER

The increasing exploitation of groundwater resources, mainly due to its low cost and good quality has required the need for regulation of its availability both in quantity and in quality. One of the instruments established by the Federal Law no. 9.433/97 to accomplish this control is the water right by checking pre-set criteria. However, there is no consolidated methodologies for establishing criteria for grants to groundwater. Indeed, the central objective of this research is to establish criteria for water rights apply to groundwater. Was used as a case study portion of the Sedimentary Basin Coastal Paraíba-Pernambuco inserted in the Region of the Lower Course of the river basin Paraíba, Paraíba state, Brazil. Through consideration of a conceptual model of hydrological processes in the region was possible to establish criteria for the award in accordance with the reality of the basin. The results were proposed levels of coverage criteria for grants, thus defined: global, regional and local. The establishment of regional level of coverage required to be set up seven "areas of management," in which different criteria may be established from one area to another. The criteria of water right have established express the problems of managing water resources in the watershed case study.

Key-words: water resources management, criteria of water rights, groundwater.

SUMÁRIO

	Pág.
APRESENTAÇÃO	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
LISTA DE SIGLAS	XVI
LISTA DE FIGURAS	XVIII
LISTA DE TABELAS	XX
LISTA DE TABELAS	XX
LISTA DE QUADROS	XXI
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 OBJETIVO GERAL	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	4
2.1.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	5
2.1.2 POTENCIAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	7
2.1.3 RESERVAS	8
2.1.4 DISPONIBILIDADES	11
2.1.5 COEFICIENTES HIDRODINÂMICOS	12
2.1.5.1 Porosidade eficaz	12
2.1.5.2 Condutividade hidráulica	13
2.1.5.3 Coeficiente de armazenamento	14
2.1.5.4 Transmissividade	15
2.2 MODELOS CONCEITUAIS	16
2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS CONCEITUAIS	17
2.2.1.1 Modelo Tridimensional	18
2.2.1.2 Modelo Bidimensional Horizontal	18
2.2.1.3 Modelo Bidimensional Vertical	19
2.2.1.4 Modelo Quase Tridimensional	19
2.3 A OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA: VISÃO GERAL	21

2.4 GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E OUTORGA: VISÃO INTERNACIONAL	26
.....	26
2.4.1 UNIÃO EUROPÉIA	26
2.4.2. ESTADOS UNIDOS	26
2.4.3 MÉXICO	27
2.4.4 CANADÁ	27
2.4.5 AUSTRÁLIA	28
2.4.6 JAPÃO	29
2.4.7 CHILE	30
2.4.8 ÁFRICA AUSTRAL	30
2.5 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS DA OUTORGA	32
2.5.1 ÂMBITO NACIONAL	32
2.5.2 ÂMBITO ESTADUAL	38
2.5.2.1 <i>Aspectos administrativos da outorga na Paraíba</i>	40
2.5.2.2 <i>Análise das outorgas emitidas no estado da Paraíba</i>	42
2.6 CRITÉRIOS DE OUTORGA DE RECURSOS HÍDRICOS	48
2.6.1 CRITÉRIOS DE OUTORGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	51
2.6.1.1 <i>O estado de Pernambuco</i>	56
2.6.1.2 <i>O estado de São Paulo</i>	58
2.6.1.3 <i>O estado do Paraná</i>	59
CAPÍTULO III – CASO DE ESTUDO	60
3.1 LOCALIZAÇÃO	60
3.2 ASPECTOS HIDRO-CLIMATOLÓGICOS	63
3.2.1 TEMPERATURA	63
3.2.2 UMIDADE RELATIVA DO AR	64
3.2.3 INSOLAÇÃO	64
3.2.4 PLUVIOMETRIA	65
3.2.5 EVAPORIMETRIA	66
3.2.6 FLUVIOMETRIA	67
3.2.7 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA	69
3.3 MORFOLOGIA	70
3.3.1 RELEVO	70
3.3.2 SOLOS	70
3.3.3 COBERTURA VEGETAL	71

3.3.4 HIDROGRAFIA	71
3.4 GEOLOGIA	71
3.5 HIDROGEOLOGIA	74
3.5.1 CARACTERIZAÇÃO DA LITO-ESTRATIGRAFIA	78
3.5.1.1 <i>Formação Beberibe/ Itamaracá</i>	79
3.5.1.2 <i>Formação Gramame</i>	80
3.5.1.3 <i>Formação Barreiras</i>	81
3.5.2 AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE, RESERVAS E DISPONIBILIDADES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA SEDIMENTAR COSTEIRA PARAÍBA-PERNAMBUCO INSERIDA NA REGIÃO DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA	82
3.5.2.1 <i>Potencialidade hídrica</i>	82
3.5.2.2 <i>Reservas</i>	82
3.5.2.3 <i>Disponibilidades</i>	83
3.6 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	85
3.7 USOS ATUAIS E FUTUROS DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA	86
3.7.1 DEMANDAS	86
3.7.2 OFERTAS	87
3.7.3 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA	88
3.7.3.1 <i>Índice de ativação do potencial (LAP)</i>	88
3.7.3.2 <i>Índice de ativação das disponibilidades (LAD)</i>	89
3.7.3.3 <i>Índice de utilização das disponibilidades (IUD)</i>	89
CAPÍTULO IV – METODOLOGIA E RESULTADOS	91
4.1 O MODELO CONCEITUAL DOS PROCESSOS HIDROGEOLÓGICOS	91
4.1.1 RECARGA (OU ALIMENTAÇÃO)	91
4.1.2 CIRCULAÇÃO	93
4.1.3 DESCARGA (OU EXUTÓRIOS)	94
4.1.4 COEFICIENTES HIDRODINÂMICOS	96
4.2 DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DE ABRANGÊNCIA	96
4.2.1 NÍVEL GLOBAL	97
4.2.2 NÍVEL REGIONAL	98
4.2.3 NÍVEL LOCAL	98
4.3 DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE GERENCIAMENTO	99
4.3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS	100
4.4 CRITÉRIOS DE OUTORGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	102

4.4.1 CRITÉRIO DE OUTORGA NO NÍVEL GLOBAL	102
4.4.1.1 <i>Prioridades de uso das águas superficiais</i>	102
4.4.1.2 <i>Potencial de água subterrânea</i>	103
4.4.2 CRITÉRIO DE OUTORGA NO NÍVEL REGIONAL	104
4.4.2.1 <i>Prioridades de uso da água.....</i>	104
4.4.2.2 <i>Intrusão salina</i>	105
4.4.2.3 <i>Vulnerabilidade dos aquíferos.....</i>	107
4.4.3 CRITÉRIO DE OUTORGA NO NÍVEL LOCAL.....	108
4.4.3.1 <i>Qualidade de água.....</i>	108
4.4.3.2 <i>Interferência entre poços.....</i>	109
4.4.3.3 <i>Rebaixamentos máximos permissíveis</i>	111
4.4.3.4 <i>Gestão da demanda.....</i>	113
4.5 QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS	115
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	116
5.1 CONCLUSÕES	116
5.1.1 SOBRE O MODELO CONCEITUAL.....	116
5.1.2 SOBRE OS NÍVEIS DE ABRANGÊNCIA.....	116
5.1.3 SOBRE AS ZONAS DE GERENCIAMENTO	117
5.1.4 SOBRE OS CRITÉRIOS DE OUTORGA	117
5.2 RECOMENDAÇÕES	118
5.2.1 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	118
5.2.2 RECOMENDAÇÕES PARA O ÓRGÃO GESTOR.....	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

LISTA DE SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CF	Constituição Federal
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DASB	Departamento de Águas
DGRH	Departamento de Gestão de Recursos Hídricos
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EA	Educação Ambiental
EPA	Environmental Protection Agency
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAO	Food and Agriculture Organization
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
IAD	Índice de Ativação das Disponibilidades
IAP	Índice de Ativação do Potencial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
HIDROREC	Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PDRH	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba
PIB	Produto Interno Bruto
PNAS	Programa Nacional de Águas Subterrâneas
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos

SECTMA	Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente
SIGERH	Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SMA-SP	Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SRHU	Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
UACA	Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
UE	União Européia
VEN	Vazão de Escoamento Natural

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Relação hidro-estratigráfica e hidráulica entre reservas de subsistema ou de aquífero confinado. Fonte: Albuquerque (2004).....	9
Figura 2 – Relações hidráulicas entre subsistema aquíferos livre e confinado e com o ciclo hidrológico (sistemas hidrográfico – rios - e pluvial). Fonte: Albuquerque (2004).....	10
Figura 3 – Etapas da modelagem (Feitosa & Manoel Filho, 1997).	17
Figura 4 – Aquífero misto, parte não confinado e parte confinado: (a) geologia – corte vertical; (b) modelo horizontal (Feitosa & Manoel Filho, 1997).....	19
Figura 5 – (a) Modelo Vertical para análise de drenagem agrícola; (b) Modelo vertical para análise de intrusão marinha (Feitosa & Manoel Filho, 1997).....	19
Figura 6 – Vista esquemática de um modelo quase tridimensional. As propriedades de drenança das camadas confinantes são usadas para conectar os aquíferos 1, 2 e 3 (Feitosa & Manoel Filho, 1997).	20
Figura 7 – Número de outorgas emitidas pela União (ANA), Estados e Distrito Federal até dezembro de 2004 (ANA, 2005).....	35
Figura 8 – Vazões totais outorgadas para captação e lançamento (em m ³ /s) pela União (ANA), Estados e Distrito Federal até dezembro de 2004 (ANA, 2005).	35
Figura 9 – Vazões outorgadas (em m ³ /s) por finalidade de uso (ANA, 2005).....	36
Figura 10 – Fluxograma do processo de outorga da AESA (AESA, 2008a).	41
Figura 11 – Número de outorgas (superficiais e subterrâneas) emitidas no estado da Paraíba por bacia hidrográfica (AESA, 2008b).....	43
Figura 12 – Volumes (superficial e subterrâneo) outorgados pela AESA no estado da Paraíba por bacia hidrográfica (AESA, 2008b).....	43
Figura 13 – Número de outorgas (superficial e subterrânea) emitidas na Bacia do rio Paraíba por sub-bacia/região (AESA, 2008b).....	44
Figura 14 – Vazões (superficiais e subterrâneas) outorgadas pela AESA na Bacia do rio Paraíba por sub-bacia/região hidrográfica (AESA, 2008b).	45
Figura 15 – Volumes (superficial e subterrâneo) outorgados pela AESA na Bacia do rio Paraíba por sub-bacia/região hidrográfica (AESA, 2008b).	45
Figura 16 – Número de outorgas (superficial e subterrânea) emitidas na Bacia do rio Paraíba por setor usuário (AESA, 2008).....	46

Figura 17 – Volumes (superficial e subterrâneo) outorgados pela AESA na Bacia do rio Paraíba por setor usuário (AESA, 2008b).....	47
Figura 18 – Mapa de Zoneamento Explotável de Água Subterrânea nos Municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Camaragibe.	57
Figura 19 – Usos outorgados em 2007, até 31/05/2007 (DAEE, 2007).....	58
Figura 20 – Bacia Hidrográfica do rio Paraíba (Cordão e Ideião, 2008).....	60
Figura 21 – Destaque da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco (Barbosa <i>et al.</i> , 2003)....	61
Figura 22 – Localização da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco pertencente à Região do Baixo Curso do rio Paraíba (área de estudo).....	62
Figura 23 – Mapa dos pontos visitados na área de estudo.	63
Figura 24 – Estações pluviométricas existentes na Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco pertencente à Região do Baixo Curso do rio Paraíba.	65
Figura 25 - Climatologia da Região do Baixo Curso do rio Paraíba (Araújo <i>et al.</i> , 2008).....	65
Figura 26 – (a) Vazões médias diárias do posto Guarita; (b) Curva de Permanência do posto Guarita (AESA, 2006).	68
Figura 27 – (a) Vazões médias diárias do posto Ponte da Batalha; (b) Curva de Permanência do posto Ponte da Batalha (AESA, 2006).....	69
Figura 28 – Mapa geológico da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco.	73
Figura 29 – Mapa hidrogeológico da região da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco. Folha SB25YC do IBGE (2004).....	77
Figura 30 – Corte esquemático típico apresentando a lito-estratigrafia da área de estudo. Fonte: Albuquerque, 2008a.....	81
Figura 31 – Localização dos poços na região da Bacia Sedimentar Paraíba-Pernambuco pertencente à Região do Baixo Curso do rio Paraíba.....	88
Figura 32 – Mapa Potenciométrico do sistema aquífero Barreiras e Beberibe (Costa <i>et al.</i> , 2007)....	95
Figura 33 – Esquema dos níveis de abrangência dos critérios de outorga.	97
Figura 34 – Zonas de gerenciamento propostas para a região em estudo.....	99
Figura 35 – (a) Cunha salina; (b) Intrusão salina e efeitos do bombeamento de poços em áreas costeiras. Fonte: Iritani & Ezaki (2008).....	106
Figura 36 – Esquema do efeito de interferência entre poços (Adaptado de Rêgo & Albuquerque, 2004).	110
Figura 37 – Interferência dos cones de rebaixamento e evolução da profundidade do nível da água em função do bombeamento contínuo e simultâneo de muitos poços. Fonte: Iritani & Ezaki (2008).....	112

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Classificação dos terrenos segundo a condutividade hidráulica.	14
Tabela 2 – Subprogramas e ações do Programa Nacional de Águas Subterrâneas.....	34
Tabela 3 – Critérios estaduais de outorga baseados em vazões mínimas e de permanência.	48
Tabela 4 – Critérios de outorga de águas subterrâneas presentes nas legislações estaduais.	53
Tabela 5 – Distribuição temporal das médias das temperaturas mínimas mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C).....	64
Tabela 6 – Distribuição temporal das médias das temperaturas médias mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C).....	64
Tabela 7 – Distribuição temporal das médias das temperaturas máximas mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C).....	64
Tabela 8 – Distribuição mensal da umidade relativa do ar – Estação climatológica de João Pessoa (em %).	64
Tabela 9 – Distribuição mensal da insolação global – Estação climatológica de João Pessoa (em horas).	64
Tabela 11 – Distribuição mensal da evaporação – Estação climatológica de João Pessoa (em mm).	66
Tabela 12 – Valores de resíduo seco e condutividade elétrica das águas do aquífero Barreiras.....	85
Tabela 13 – Demandas hídricas atuais e futuras da Região do Baixo Curso do rio Paraíba (m ³ /ano).	86
Tabela 14 – Volume dos açudes monitorados pela AESA na Região do Baixo Curso do rio Paraíba.	87
Tabela 15 – Índices de sustentabilidade hídrica das águas subterrâneas para a Região do Baixo Curso do rio Paraíba.....	89
Tabela 16 – Parâmetros hidrodinâmicos representativos na região estudada (Costa <i>et al.</i> , 2007).....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Legenda explicativa do mapa da Figura 18 (Costa, 2002).	57
Quadro 2 – Estação climatológica localizada em João Pessoa.....	69
Quadro 3 – Coluna lito-estratigráfica.....	79
Quadro 4 – Resumo dos critérios de outorga para águas subterrâneas propostos.	115

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

A exploração racional e sustentável dos recursos hídricos se torna cada vez mais necessária tendo em vista o aumento da população mundial, principalmente em regiões em que o balanço entre oferta e demanda apresenta-se desequilibrado, como é o caso de muitas bacias hidrográficas do Nordeste Brasileiro. Uma das formas possíveis de equacionar este problema é através do uso das águas subterrâneas.

Porém, à medida que cresce a utilização desse recurso, cresce também a preocupação com a necessidade de conservação da sua disponibilidade tanto em quantidade como em qualidade. A expansão dos centros urbanos, o desenvolvimento dos setores agrícola, industrial e mineral, contribuem para a deterioração das águas subterrâneas através do aumento de fontes potencialmente poluidoras e conseqüentemente do risco de contaminação, bem como a implantação de obras de captação sem a observação de critérios técnicos pode comprometer o uso sustentável desse recurso.

A aprovação da Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) deu grande impulso ao processo de gestão das águas no Brasil ao instituir a Política Nacional de Recursos Hídricos e ao criar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos como suporte para a implementação da Política Nacional. Com a inclusão de princípios, fundamentos e de um modelo de gestão já aceitos mundialmente e objetivando a real implementação de instrumentos de gestão, a Lei das Águas dotou a gestão dos recursos hídricos de inovação e modernidade.

Dentre os instrumentos instituídos pela Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997), a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos configura-se como um dos instrumentos mais relevantes. A sua efetivação possibilita o controle de todos os usos pelo Poder Público, visando garantir o cumprimento dos objetivos da política com base nos seus fundamentos e respeitando-se as diretrizes gerais de ação para a implementação. Neste contexto, os gestores de recursos hídricos têm um desafio institucional e legal a vencer para implementação prática desse instrumento de modo que garantam água em quantidade e qualidade para os usos múltiplos preconizados pela legislação.

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba configura-se como a de maior relevância sócio-econômica no estado da Paraíba, uma vez que abrange as duas mais importantes cidades do estado: João Pessoa (capital estadual localizada na Região do Baixo Curso do rio Paraíba) e Campina Grande (localizada na Região do Médio Curso do rio Paraíba). Sendo que a Região do Baixo Curso do rio Paraíba é a única porção da bacia a apresentar significativo potencial de água subterrânea, região esta que constitui foco desta dissertação.

Segundo o PERH-PB – Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (AESAs, 2006), a Região do Baixo Curso do rio Paraíba apresenta um Índice de Ativação do Potencial (IAP) das águas subterrâneas de 0,827, isto significa a ativação de 82,7% do potencial subterrâneo da região (estimado em 145,03 hm³/ano).

O alto valor do IAP (definido como a relação entre o potencial ativado e o potencial) pode ser explicado pela baixa disponibilidade hídrica superficial e pela ausência de gestão dos recursos hídricos subterrâneos, que implica, entre outras ações, na perfuração desordenada de poços, provável razão das alterações de qualidade das águas dos aquíferos.

O estado da Paraíba não possui muitas informações sobre índices de poluição de sistemas aquíferos, porém não faltam indicações da deterioração qualitativa do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco, em decorrência da poluição provocada por esgotos urbanos; chorume de lixões; irrigação; atividades agrícolas (especialmente a agricultura intensiva de cana-de-açúcar), industriais (com ênfase às descargas de vinhoto no solo, realizadas pela indústria de álcool) e de mineração.

Além disso, estudos recentes sobre a potenciometria da bacia indicaram a existência de poços com níveis estáticos negativos, em relação ao nível do mar, na orla marítima, e de áreas com rebaixamentos excessivos nas áreas dos distritos industriais das cidades de João Pessoa e Bayeux. Outra consequência é o não atendimento adequado das demandas ecológicas naturais de ecossistemas, como os manguezais, coqueirais, etc., que dependem de vazão mínima média das restituições de água subterrânea ao meio ambiente (UFCEG/UFAL/UFMS, 2007).

Configuram-se então, como justificativas deste trabalho, a necessidade iminente de gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos da Região do Baixo Curso do rio Paraíba com ênfase no estabelecimento de critérios de outorga adequados para águas subterrâneas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer critérios de outorga de direitos de uso da água com aplicação às águas subterrâneas da região da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Paraíba.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos que compõem esta pesquisa são os seguintes:

- Revisar o estado da arte em gestão de águas subterrâneas e outorga de direito de uso de recursos hídricos;
- Caracterizar a área de estudo;
- Descrever um modelo conceitual para subsidiar a outorga com base nos processos hidrogeológicos que envolvem a porção da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco contida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba;
- Estabelecer critérios para a outorga das águas subterrâneas com base no modelo conceitual desenvolvido.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados alguns conceitos básicos sobre águas subterrâneas e modelos hidrogeológicos conceituais, os quais são necessários para o entendimento desta pesquisa. Apresentam-se também aspectos gerais relativos à outorga de direito de uso da água no âmbito nacional e estadual paraibano, critérios de outorga existentes nas legislações vigentes e a revisão internacional na gestão de águas subterrâneas.

2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Águas subterrâneas são todas as águas que ocorrem abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas que sendo submetidas a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenham um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos (ABAS, 2008).

As formações geológicas sedimentares de grandes extensões e constituídas de material granulométrico heterogêneo, com predominância de areia fina, média e de cascalhos de pequenas dimensões, são caracterizadas como aquíferos, por possuírem grande capacidade de armazenamento e elevada condutividade hidráulica. Essas formações sofreram a influência de vários mecanismos físicos, químicos e biológicos que propiciaram a desintegração das rochas por ações mecânicas e a decomposição em partículas através de ações físico-químicas combinadas. Nas ações predominantemente mecânicas, as formações são compostas de material granular grosso, isto é, areia e cascalho. Nas formações resultantes de ações predominantemente de decomposição é observada a presença de grandes quantidades de sedimentos finos, siltes e argila. As ações mecânicas predominam em regiões frias e áridas enquanto que as físico-químicas em ambientes quentes e úmidos (Righetto, 1998).

As formações permeáveis, como as areais e os arenitos, são exemplos de aquíferos. Já um aquíclode é uma 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 semi-permeável, delimitada no topo e/ou na base por camadas de permeabilidade muito maior. Tem o comportamento de uma membrana semi-permeável através do qual pode ocorrer uma filtração vertical ou drenança. A denominação

aquífugo aplica-se a uma formação impermeável que nem armazena nem transmite água (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

O sistema aquífero é formado, no seu caso mais completo, por dois subsistemas ou níveis aquíferos: um superior, livre ou freático, e um inferior, de comportamento hidrostático confinado, separados por uma formação semi-impermeável (aquitardo), através do qual podem ocorrer trocas de recursos hídricos na dependência das condições das cargas hidráulicas relativas desses subsistemas, formando uma superfície hidrostática regional. O sistema aquífero pode escoar, também, direta e subsuperficialmente, ao mar, se o mesmo é costeiro (Albuquerque, 2004).

2.1.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A exploração das águas subterrâneas apresenta as seguintes vantagens com relação às águas superficiais (Feitosa & Manoel Filho, 1997):

1. Na maioria das vezes, dispensa tratamento químico que onera bastante as águas superficiais em dispendiosas estações de tratamento de águas (ETA's);
2. Não acarreta inundação de áreas aproveitáveis na superfície, muitas vezes representadas por excelentes solos agriculturáveis;
3. A área de captação e proteção é extremamente reduzida;
4. Permite uma distribuição setorizada, com baterias de exploração constituindo sistemas isolados ou interligados;
5. A rede de adução até o reservatório ou caixa d'água, é em geral, de pequena extensão, ao contrário das barragens que requerem linhas adutoras de vários quilômetros de extensão;
6. A implantação do sistema pode ser efetuada de maneira gradativa, ao longo do tempo, na medida que aumente a demanda, evitando períodos de sobra logo que se constrói uma barragem e períodos de déficit quando a demanda ultrapassa a sua capacidade. Essa flexibilidade evita a aplicação de grandes investimentos concentrados em curto espaço de tempo;
7. Não implicam em desapropriação de grandes áreas como as barragens, que representam vultosos gastos financeiros;
8. Independe de períodos de estiagem prolongados para recarga anual como nos reservatórios de superfície;

9. O prazo de execução de um poço é de dias, em contraposição a meses e até anos no caso do barramento de um rio;
10. As águas subterrâneas não estão sujeitas como as superficiais, ao intenso processo de evaporação, que implica na região semi-árida numa perda de cerca de 2.500 mm de lâmina d'água acumulada na superfície;
11. O sistema é muito melhor protegido de eventuais poluições químicas ou atômicas em períodos de guerra;
12. Não se verificam impactos ambientais como os decorrentes do barramento dos cursos d'água superficiais;
13. A manutenção é mais segura, pois a paralisação para conservação de uma unidade de bombeamento, até mesmo, a sua substituição pode ser efetuada sem prejuízo do conjunto;
14. Os poços que apresentam um bom nível técnico nas fases de projeto, construção e operação, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), têm vida útil superior a 20 anos, com amortização dos investimentos realizados em apenas 5 a 8 anos.
15. Por todas essas vantagens, o custo do metro cúbico fornecido pelas águas subterrâneas é substancialmente mais barato que o das águas superficiais.

Apesar destas vantagens, as águas subterrâneas também apresentam algumas desvantagens e mesmo que não as tivessem, não se deve considerar que a exploração desse manancial deva substituir totalmente o de águas superficiais, mas que haja um planejamento e uma gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos que ocorrem no âmbito de cada bacia hidrográfica no sentido de proporcionar sempre a utilização mais racional, econômica e de qualidade da água a ser servida aos múltiplos usos.

As principais desvantagens da exploração das águas subterrâneas são as seguintes (Feitosa & Manoel Filho, 1997):

1. A distribuição espacial das bacias sedimentares possuidoras de aquíferos faz-se de maneira muito heterogênea. No Brasil, sobretudo na região Nordeste, 55% dos terrenos são representados por rochas cristalinas onde as águas acumuladas, devido ao clima semi-árido, são poucas e na maior parte salinizadas;
2. A renovação das águas retiradas dos aquíferos, ou recarga do sistema hídrico subterrâneo, não se faz na mesma velocidade da extração, resultando na exploração de

parte das reservas permanentes, com risco de exaustão, quando a captação não é devidamente monitorada;

3. A superexploração pode acarretar subsidência de terrenos e provocar salinização da água nos aquíferos costeiros;
4. Apesar de serem menos vulneráveis à poluição, a detecção de um processo contaminante não é, em geral, imediata, acarretando muitas vezes situações irreversíveis do aquífero;
5. A manutenção periódica preventiva é mais cara, devido a multiplicidade de equipamentos de bombeamento (em baterias de poços);
6. Apresentam em geral maior consumo de energia elétrica no sistema de bombeamento.

2.1.2 POTENCIAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Define-se potencial de água subterrânea como a vazão média do escoamento subterrâneo de longo período que sai à rede hidrográfica (vazão de base) sobreposta ao sistema, subsistema e seus aquíferos constituintes e, no caso de sistemas costeiros, acrescidos do fluxo subterrâneo que atinge o oceano, a chamada Vazão de Escoamento Natural (VEN). Esta saída contempla, também, a filtração vertical ascendente originada pela carga de pressão de aquíferos semiconfinados sotopostos (Costa *et al.*, 2007).

Também denominado de reserva reguladora, o potencial também pode ser estimado pela entrada natural do sistema (recarga) – componente difícil de determinar, pois é necessário o conhecimento do regime da bacia em suas condições naturais – ou pela descarga de base dos rios, através das medições registradas nos hidrogramas.

A avaliação do potencial de um sistema, subsistema ou unidade aquífera leva em consideração todas as características hidrológicas, consubstanciadas nos hidrogramas, os quais são registros da variação de vazão de um curso d'água (rio, riacho, etc.) em relação ao tempo em um determinado ponto que controla este escoamento fluvial (posto ou estação hidrométrica) de uma bacia hidrográfica. A parte superior do hidrograma que corresponde ao fluxo dependente, exclusivamente, do aporte pluviométrico constitui o escoamento superficial. A parte inferior representa a contribuição do sistema aquífero à vazão do curso d'água, sendo denominada de escoamento de base, representativo do potencial de água subterrânea. O escoamento fluvial é, pois, a soma destes dois componentes do hidrograma. O potencial de água de superfície é dado pela quantificação da componente dependente da alimentação pluvial, ao passo que o potencial

de água subterrânea é obtido pela quantificação do escoamento de base. Isto é absolutamente suficiente no caso dos sistemas aquíferos interioranos, já que todo o escoamento de base sai nos cursos d'água. Para os sistemas aquíferos que tem o mar por limite, o potencial de água subterrânea de um sistema aquífero é dado pelo escoamento de base ao qual se acresce o fluxo subterrâneo que se realiza direto ao oceano, avaliado pela aplicação de leis específicas (Leis de Darcy e da Conservação das Massas) (Albuquerque, 2004).

2.1.3 RESERVAS

Além do potencial, os aquíferos são portadores de outro contingente de recursos hídricos que, ao contrário do potencial, não é, em sua totalidade, anualmente renovável. É a reserva de água subterrânea. Ela se acha acumulada nos espaços vazios entre os grãos dos minerais formadores das rochas, formando um volume que, embora interaja com o potencial, se mantém constante através dos tempos. Formada em tempos geológicos pretéritos, a reserva não apresenta idade cronológica coincidente com a idade das formações que a contêm. Mas, por sua interação com o potencial, é rejuvenescida com a recarga e circulação do potencial em seu interior (Costa *et al.*, 2007).

Em princípio, as reservas não devem ser exploradas, já que isto significaria exaurir o potencial e, com isso, gerar problemas hidrológicos, ecológicos, geotécnicos, às vezes catastróficos e irreversíveis, como já ocorreu em várias partes do planeta. Como exemplos de tais problemas citam-se: a interiorização superficial da água do mar e a penetração de cunha salina nos aquíferos costeiros (como ocorreu em Israel); a subsidência de terrenos e a compactação de aquíferos (como aconteceu no Japão, nos Estados Unidos, no México, na Inglaterra, etc.); e o desaparecimento de fontes e de árvores freáticas. Dessa forma, a exploração de reservas só se justifica em casos de extrema necessidade sócio-econômica e onde esta exploração não provoque problemas como os citados anteriormente (Albuquerque & Rêgo, 1999; AESA, 2006).

Entretanto, na região semi-árida do Nordeste do Brasil, a escassez relativa e a dificuldade de atendimento de demandas hídricas por fontes superficiais de suprimento hídrico mais seguras conduz à necessidade de exploração de dois sistemas aquíferos ali ocorrentes, o Cristalino e o Aluvial. Isto é admissível pelo fato dos potenciais destes sistemas serem pequenos, exaurindo-se rapidamente, tornando os cursos d'água intermitentes ou efêmeros. A exploração das reservas destes sistemas não gera impactos ambientais significativos, de vez que existe nesta região um sistema ecológico naturalmente adaptado à exaustão do potencial de recursos hídricos, superficial

e subterrâneo que ocorre no estabelecimento da estação da estiagem, normal ou prolongada (seca) (Albuquerque, 2004).

As reservas podem ser de dois tipos (Albuquerque, 2004):

- **Reserva intersticial ou intergranular:** nos aquíferos confinados, a reserva intersticial ou granular é aquela que satura toda a espessura da rocha e cujo volume depende da sua porosidade efetiva. É significativa no comportamento hidrostático dos aquíferos livres, podendo, em parte, ser explorada por poços, na dependência dos reflexos desta exploração no comportamento do regime hidrológico do sistema hidrográfico a ele associado ou conectado e, por extensão, na preservação de ecossistemas hídricos.

- **Reserva sob pressão:** o volume acumulado é determinado pelo produto da carga de pressão, área aquífera e coeficiente de armazenamento. Este coeficiente é responsável pela projeção da carga hidráulica para além do limite superior do aquífero confinado, podendo dotá-lo de condições de jorro ou não, dependendo da magnitude do peso do pacote de rochas (saturadas ou não) a ele sobreposto e da condição de suplantar a cota do terreno sobrejacente. A reserva sob pressão tem uma ação importante nos aquíferos confinados, podendo ser explorada dentro dos mesmos limites impostos pela relação água subterrânea-água superficial, desde que, pela dimensão da carga hidráulica, participe do potencial dos recursos hídricos subterrâneos.

Apresenta-se na Figura 1 a relação hidro-estratigráfica e hidráulica entre as reservas e o potencial.

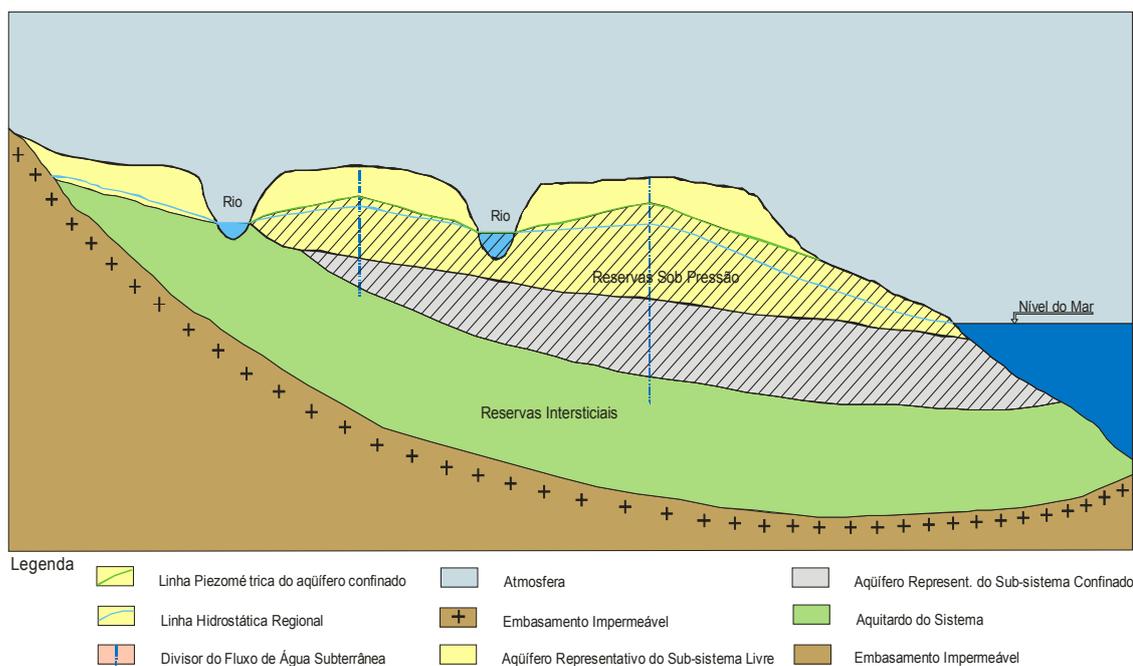


Figura 1 – Relação hidro-estratigráfica e hidráulica entre reservas de subsistema ou de aquífero confinado. Fonte: Albuquerque (2004).

Pode-se notar que as reservas sob pressão de um subsistema confinado (na realidade, semiconfinado) podem alimentar, não somente o subsistema livre, como também o próprio sistema hidrográfico, sendo apenas uma questão de carga hidráulica. A Figura 2 esclarece esta relação.

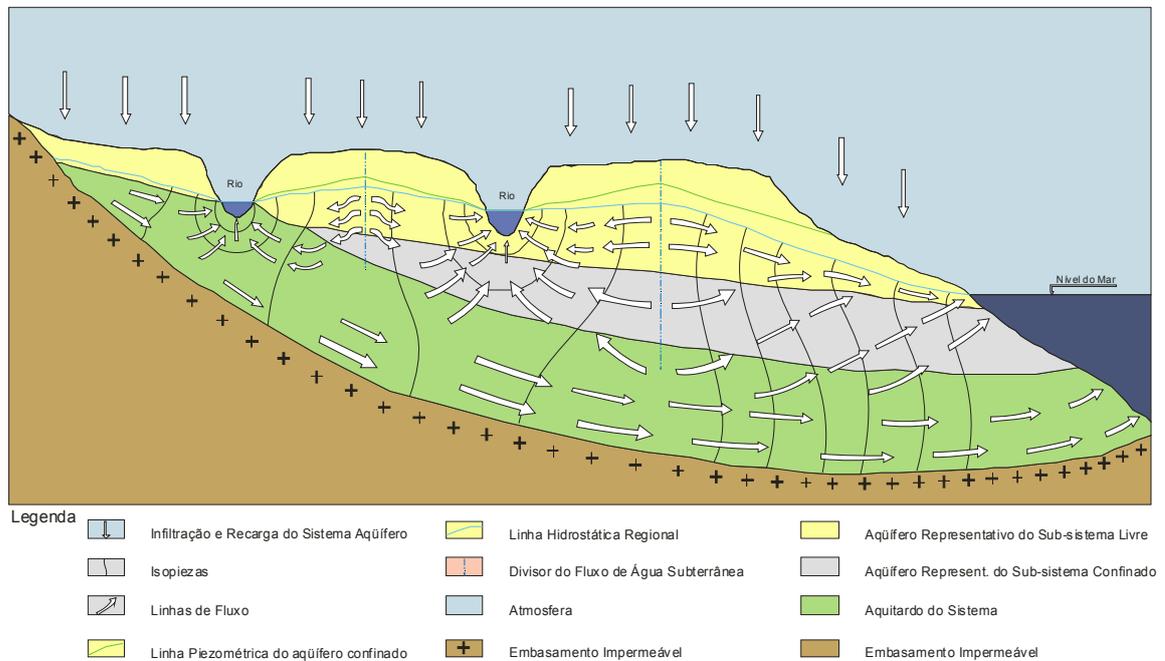


Figura 2 – Relações hidráulicas entre subsistema aquíferos livre e confinado e com o ciclo hidrológico (sistemas hidrográfico – rios - e pluvial). Fonte: Albuquerque (2004).

As reservas podem ainda ser classificadas em permanentes ou seculares e reguladoras ou renováveis. No caso de aquíferos confinados ou semi-confinados, as reservas permanentes permanecem armazenadas, independentemente da vazão do escoamento natural e correspondem, neste caso, às reservas intersticiais de aquíferos confinados ou semi-confinados, anteriormente definidas, também denominadas de volume de saturação. No caso de aquíferos livres, estas reservas são aquelas localizadas na sua zona de saturação abaixo da profundidade média, de longo período, do nível hidrostático mínimo, registrado em poços de observação (Albuquerque, 2004).

As reservas reguladoras (ou potencial) são, em aquíferos livres, aquelas situadas acima deste nível hidrostático mínimo, tendo por limite superior, a média, também de longo período, dos níveis hidrostáticos máximos. Este volume escoaria e sairia na rede hidrográfica sobrejacente e no mar. Corresponderia, portanto, à soma da vazão de base com a Vazão de Escoamento Natural (VEN), subsuperficial. Em aquíferos confinados e semi-confinados, estas reservas renováveis corresponderiam à vazão do escoamento natural e/ou à soma desta vazão com o

volume de filtração ascendente, respectivamente. Este volume de filtração é o que constitui a reserva sob pressão (Albuquerque, 2004).

2.1.4 DISPONIBILIDADES

A disponibilidade é definida como a água efetivamente disponível em quantidade segura e qualidade adequada e é obtida através da ativação do potencial com a construção de represas, poços ou quaisquer outros tipos de captação. Esta ativação causa inevitavelmente a ocorrência de perdas.

Porém, a potencialidade de um sistema não pode ser totalmente convertida em disponibilidade, já que deve ser considerado o atendimento da demanda ecológica natural.

Em relação aos aquíferos livres, a parcela das reservas intersticiais situada entre os níveis máximos e mínimos médios (reservas reguladoras) podem ser exploradas, desde que contemplem, também, a demanda ecológica natural.

Com respeito aos aquíferos confinados o limite é a vazão do escoamento natural, acrescido de parcela das reservas sob pressão, parcela esta determinada pela significância, ou não, das suas relações com os aquíferos sobrepostos e com o sistema hidrográfico. Também deve ser levado em consideração o equilíbrio da interface água doce subterrânea-água salgada marinha, o qual deve ser mantido (Hantush, 1964 apud Costa *et al.*, 2007).

Costa *et al.* (2007) considerou dois tipos de disponibilidades, a instalada e a efetiva. A instalada é aquela que corresponde à descarga anual explorada pelos poços em operação existentes na bacia, em regime de bombeamento de 24/24 horas, enquanto que a disponibilidade efetiva é aquela descarga anual efetivamente bombeada, conforme seja o regime de bombeamento praticado, levando-se em consideração eventuais paralisações, que podem ser de curto e longo prazos, planejadas ou não.

O PERH-PB (AESAs, 2006) adota os conceitos de disponibilidades máxima e atuais. O primeiro sendo definido como o máximo do potencial que pode ser convertido em disponibilidades, ou seja, são iguais à diferença entre o potencial e as demandas naturais, aí incluídas as perdas por evaporação; e a segunda como sendo a disponibilidade de poços em funcionamento ou aptos a entrarem em tal situação, admitindo um regime de bombeamento de 12 horas de bombeamento diários por todo ano. Este último conceito é semelhante à disponibilidade efetiva de Costa *et al.* (2007), diferindo, apenas, no regime de bombeamento. Já as

disponibilidades máximas correspondem aos recursos exploráveis de Costa *et al.* (2007), equivalente às reservas reguladoras descontada a demanda ecológica natural.

2.1.5 COEFICIENTES HIDRODINÂMICOS

Dentre todas as propriedades intervenientes na acumulação de água subterrânea em meios porosos, a *porosidade eficaz* (η) e a *condutividade hidráulica* (K) são os parâmetros que melhor definem as condições de fluxo saturado em aquíferos livres (Rêgo & Albuquerque, 2004).

Em se tratando de aquíferos confinados, as duas principais características – o armazenamento e a percolação de água – podem ser quantificadas através de dois parâmetros denominados *coeficiente de armazenamento* (S) e *transmissividade* (T) (Riguetto, 1998).

A seguir será exposta a conceituação de cada um desses parâmetros:

2.1.5.1 Porosidade eficaz

A porosidade total ou simplesmente a porosidade de um solo ou rocha pode ser definida como a relação entre o volume de vazios e o volume total, assim:

$$\eta = \frac{V_v}{V} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

η = porosidade total;

V_v = volume de vazios;

V = volume total.

A porosidade depende do tamanho dos grãos. Se os grãos são de tamanho variado, a porosidade tende a ser menor do que no caso de grãos uniformes, porque os grãos pequenos ocupam os espaços vazios entre os maiores.

Ao extrair-se água de um aquífero, parte do líquido é retido pelas forças moleculares e pela tensão superficial e apenas parte do total armazenado é liberado. Desta forma, na hidrogeologia é necessário definir-se o conceito de porosidade efetiva ou eficaz. Este parâmetro pode ser definido como a quantidade de água fornecida por unidade de volume do material, ou seja, a razão entre o volume de água efetivamente liberado de uma amostra de rocha porosa saturada e o volume total.

$$\eta_e = \frac{V_D}{V} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

η = porosidade eficaz;

V_D = volume de água drenada por gravidade;

V = volume total.

A soma da porosidade efetiva e a retenção específica é igual à porosidade total. Sendo assim, a porosidade efetiva é apenas uma porção, na maioria das vezes, muito pequena da porosidade total. Esta é uma observação muito importante, já que, de todo o volume acumulado em um reservatório subterrâneo, somente a parcela correspondente à sua porosidade efetiva torna-se, numa primeira abordagem, disponível para uso (Rêgo & Albuquerque, 2004).

Um aquífero para ser considerado como bom, deve apresentar valores elevados tanto de porosidade total quanto de porosidade efetiva. Assim, a argila apresenta uma elevada porosidade total (média variando em torno de 35 a 40%), mas possui uma reduzida porosidade efetiva (valores médios em torno de 3%) e não tem, utilização como aquífero. Já uma mistura de areia e pedregulho apresenta uma porosidade total um pouco menor (valores médios variando entre 20 a 35%), porém apresenta um valor elevado de porosidade efetiva (média em torno de 29%) e forma um bom aquífero (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

2.1.5.2 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica é um parâmetro que se relaciona, não somente com as propriedades do esqueleto sólido (porosidade, tamanho e distribuição das partículas, forma das partículas, arranjo das partículas), mas também com propriedades do fluido (viscosidade e massa específica) (Feitosa & Manoel Filho, 1997; Rêgo & Albuquerque, 2004).

Em um meio isotrópico a condutividade hidráulica pode ser definida como a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. Refere-se à facilidade da formação aquífera de exercer a função de condutor hidráulico. A condutividade hidráulica pode ser expressa em função dos parâmetros do meio e do fluido da seguinte forma:

$$K = \frac{k\rho g}{\mu} = \frac{kg}{\nu} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

K = condutividade hidráulica [L/T];

k = permeabilidade intrínseca do meio poroso [L²];

ρ e μ = representam as características do fluido, respectivamente massa específica e viscosidade absoluta, ou então pode ser utilizada a viscosidade cinemática $\nu = \mu / \rho$ [L²/T];

g = aceleração da gravidade [L/T²].

Custódio & Llamas (1976) expuseram uma classificação de terrenos, com objetivos exclusivamente hidrogeológicos, segundo a condutividade hidráulica, a qual pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos terrenos segundo a condutividade hidráulica.

Permeabilidade (m/dia)	Classificação	Comportamento hidrogeológico	Tipos de rochas
$10^{-7} \leq K < 10^{-4}$	Impermeável	Aquicludo	Argilas, folhelhos, basaltos
$10^{-4} \leq K < 10^{-2}$	Semi-impermeável	Aquitardo	Argilas siltosas e arenosas, siltes, siltitos e siltitos arenosos
$10^{-2} \leq K < 10^0$	Pouco permeável	Aquífero fraco	Areias finas, arenitos finos, areias siltosas, quartizitos, basaltos, calcários
$10^0 \leq K < 10^2$	Permeável	Aquífero regular a bom	Areias médias, arenitos médios, cascalhos, arenoso finos, conglomerados, calcários
$10^2 \leq K < 10^5$	Muito permeável	Aquífero excelente	Cascalhos, calcários, cársticos, areias grossas

Fonte: Custódio & Llamas (1976).

2.1.5.3 Coeficiente de armazenamento

A capacidade de um aquífero armazenar e transmitir água depende das propriedades da água (densidade, viscosidade e compressibilidade) e das propriedades do meio poroso (porosidade, permeabilidade intrínseca e compressibilidade). Estas propriedades são responsáveis por todo o comportamento do aquífero.

O coeficiente de armazenamento (S) é um parâmetro hidrogeológico adimensional, que corresponde ao volume de água libertado por uma coluna de aquífero de altura igual à sua espessura e secção unitária, ao diminuir a carga hidráulica (nível piezométrico) de uma unidade. É

definido através do produto do armazenamento específico (S_s) pela espessura do aquífero (b), isto é:

$$S = S_s \times b \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo:

S = coeficiente de armazenamento (adimensional);

S_s = armazenamento específico [L^{-1}];

b = espessura do aquífero [L].

2.1.5.4 Transmissividade

A transmissividade corresponde à quantidade de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero. Pode-se conceituá-la como a taxa de escoamento de água através de uma faixa vertical do aquífero com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário. O conceito de transmissividade é utilizado em estudos bidimensionais. (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

Para aquíferos confinados a transmissividade é dada pela expressão:

$$T = K \times b \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

T = transmissividade [L^2/T];

K = condutividade hidráulica [L/T];

b = espessura do aquífero [L].

2.2 MODELOS CONCEITUAIS

O modelo é a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Para melhor entender e representar o comportamento dos processos físicos que ocorrem na bacia hidrográfica a ciência desenvolveu os modelos hidrológicos.

Um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação do fluxo de água e de seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre (Maidment, 1993).

A elaboração de modelos hidrogeológicos se torna complexa considerando-se que devem exprimir os processos naturais que compõem o ciclo hidrológico em subsuperfície. De modo geral, os modelos matemáticos são subsidiados pelos conceituais sugeridos a partir de observações locais. No entanto, as condições de ocorrência da água subterrânea são extremamente variáveis, em função da diversidade das características dos aquíferos, clima, tipos de solos, condições estruturais, dentre outras. Expressar todas essas condições de contorno não é simples, contudo, os modelos conceituais podem ser testados com a utilização de técnicas específicas, tornando-os uma representação factível das condições hidrogeológicas naturais. O objetivo da modelagem matemática, computacional ou conceitual, é a representação mais próxima possível das reais condições de ocorrência e modo de circulação da água subterrânea. Os modelos conceituais têm importância adicional, uma vez que são as bases para a elaboração dos modelos matemáticos e computacionais, em geral, mais robustos e complexos (Lousada & Campos, 2005).

A modelagem de um aquífero envolve diversas etapas em que a simulação computacional é apenas um dos passos, que deve ser realizada de acordo com uma sequência envolvendo desde a definição dos objetivos até a apresentação dos resultados, como pode ser visto na Figura 3.

Após a definição dos objetivos da modelagem, procede-se a elaboração do modelo conceitual, como forma esquemática de representação do sistema aquífero, camadas confinantes e semiconfinadas, interconexões hidráulicas, recargas e bombeamentos. O objetivo do modelo conceitual é simplificar informações de campo para permitir a implementação do modelo computacional. No modelo conceitual procura-se conciliar a representação da realidade hidrogeológica da forma mais fiel possível com algumas simplificações que facilitem a aplicação do modelo numérico (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

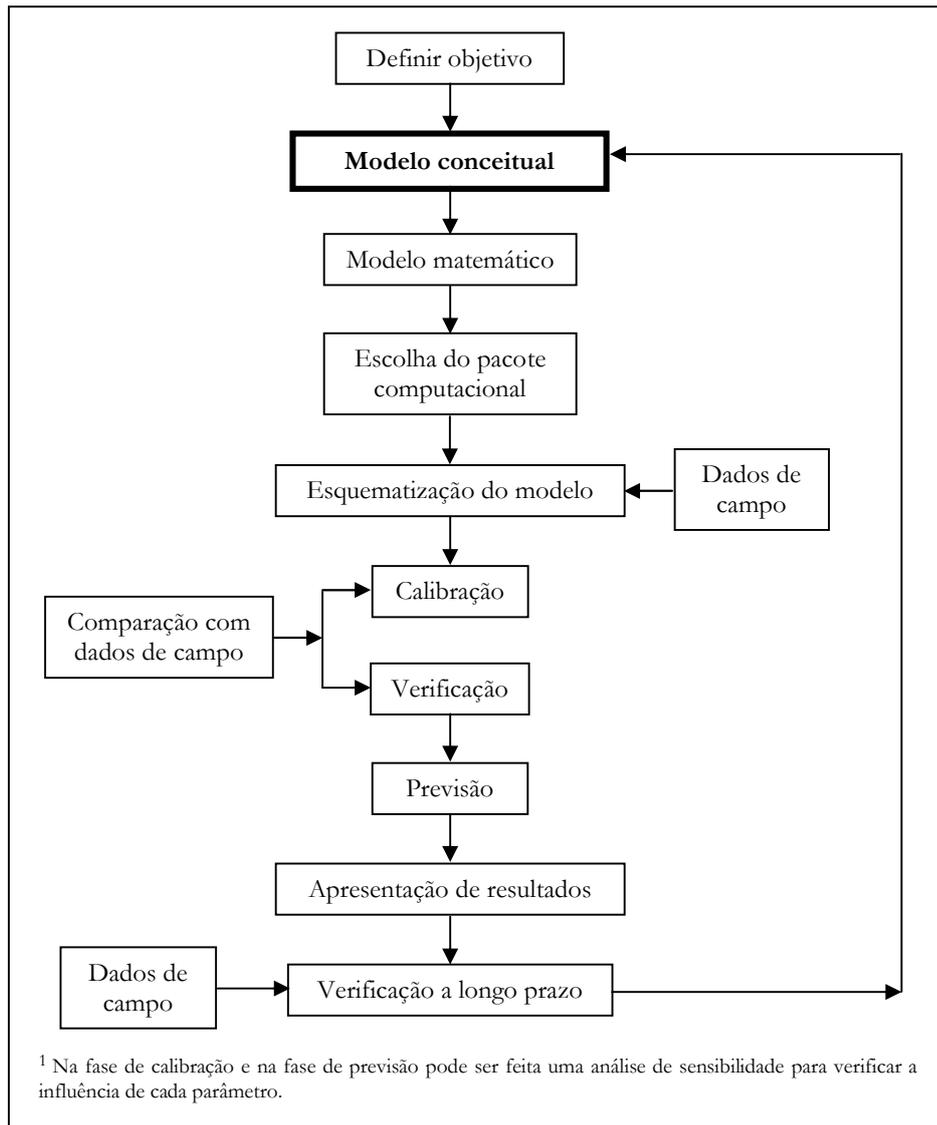


Figura 3 – Etapas da modelagem (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

Sintetizando, na elaboração do modelo conceitual, devem ser buscadas as seguintes informações:

1. Identificação dos sistemas aquíferos;
2. Identificação das fronteiras do modelo;
3. Identificação das condições de contorno;
4. Levantamento dos valores dos parâmetros hidrogeológicos;
5. Levantamento das entradas e saídas hídricas (recargas e bombeamentos).

2.2.1 CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS CONCEITUAIS

Os modelos conceituais podem ser classificados como: modelo tridimensional, modelo

bidimensional horizontal, modelo bidimensional vertical e modelo quase-tridimensional. A seguir apresenta-se uma breve descrição sobre suas características (Feitosa & Manoel Filho, 1997):

2.2.1.1 Modelo Tridimensional

O modelo conceitual pode ser tridimensional quando os componentes de fluxo vertical são importantes e torna-se necessário levá-los em consideração na modelagem. Os modelos tridimensionais em geral são mais trabalhosos de serem aplicados e necessitam de computadores com maior capacidade de memória e maior velocidade de processamento. No entanto, as maiores dificuldades são o tempo e os recursos necessários para obtenção de maior quantidade de dados para alimentar o modelo tridimensional.

2.2.1.2 Modelo Bidimensional Horizontal

Os modelos bidimensionais horizontais têm sido os mais utilizados. Nestes modelos considera-se que não há variações significativas na direção vertical e utilizam-se equações baseadas apenas nas variáveis X e Y. As equações também podem sofrer algumas modificações de acordo com o funcionamento hidráulico do aquífero. Os modelos podem ser aplicados para os seguintes tipos de aquíferos:

- Confinado – quando o topo e a base do aquífero são impermeáveis;
- Semiconfinado (também chamado de confinado drenante) – quando o topo e/ou a base do aquífero é formada por camadas semipermeáveis que permitem conexão hidráulica com os aquíferos adjacentes;
- Não confinado (também chamado de aquífero livre ou freático) – quando não existe camada confinante superior e o nível da camada saturada varia de acordo com as recargas e descargas;
- Misto – quando o aquífero é formado pela combinação de alguns dos três tipos anteriores (Figura 4).

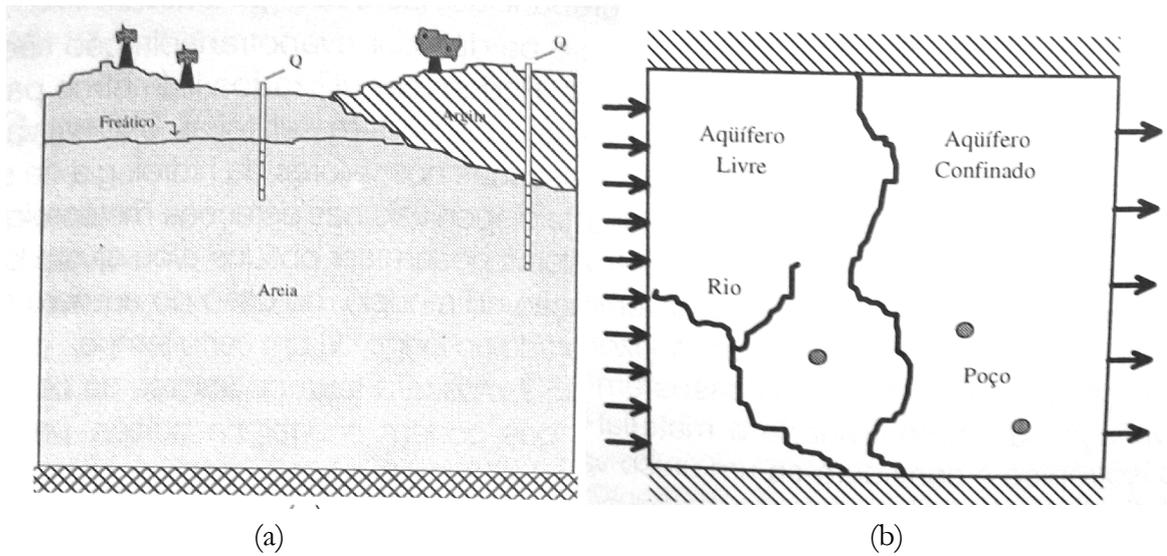


Figura 4 – Aquífero misto, parte não confinado e parte confinado: (a) geologia – corte vertical; (b) modelo horizontal (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

2.2.1.3 Modelo Bidimensional Vertical

Quando as características físicas e hidrogeológicas são constantes ao longo de uma direção, pode ser utilizado com sucesso um modelo vertical perpendicular à direção das características constantes. Como exemplo de modelos verticais, temos o escoamento em drenos agrícolas, percolação em barragens e intrusão marinha (Figura 5).

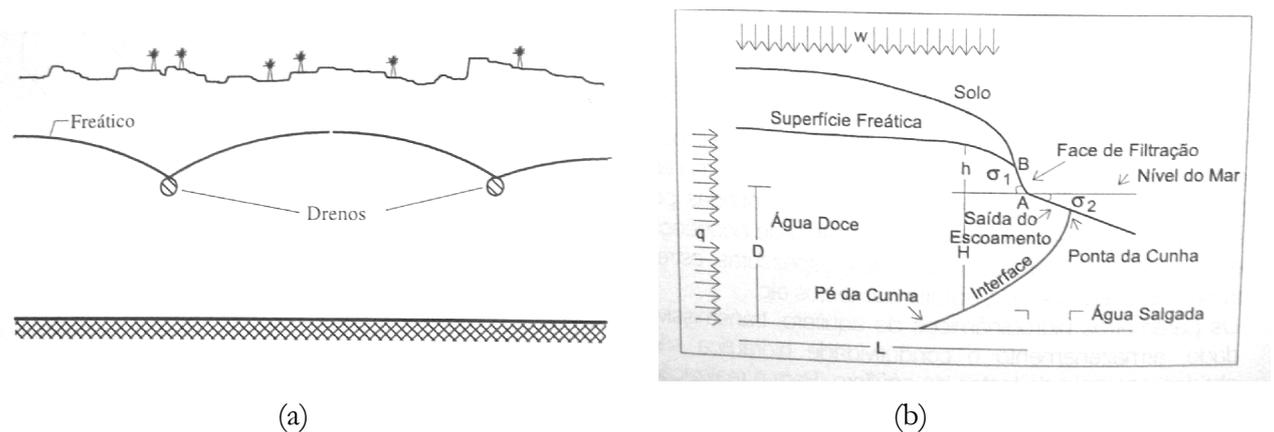


Figura 5 – (a) Modelo Vertical para análise de drenagem agrícola; (b) Modelo vertical para análise de intrusão marinha (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

2.2.1.4 Modelo Quase Tridimensional

Os modelos do tipo quase-tridimensional simulam uma sequência de aquíferos

superpostos com intercalações de outras camadas semipermeáveis. (Figura 6). Não se leva em consideração as cargas hidráulicas nem a capacidade de armazenamento das camadas semiconfinantes. Calculam-se as transferências entre aquíferos de acordo com a resistência hidráulica da camada semiconfinante. Newman & Witherspoon (1969) apud Feitosa & Manoel Filho (1997) recomendam utilizar este tipo de modelo apenas se a condutividade da camada semiconfinante for pelo menos 100 vezes menos do que a condutividade das camadas aquíferas. Em caso contrário, recomenda-se o uso do modelo completamente tridimensional.

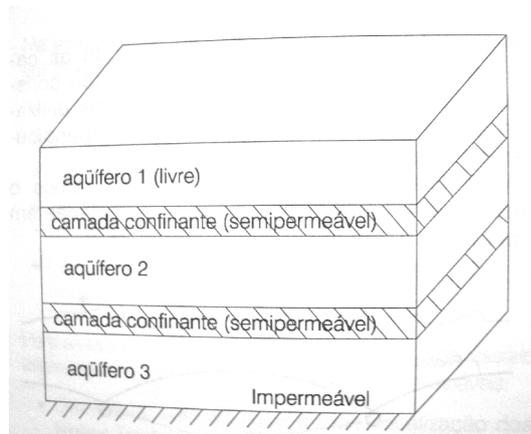


Figura 6 – Vista esquemática de um modelo quase tridimensional. As propriedades de drenança das camadas confinantes são usadas para conectar os aquíferos 1, 2 e 3 (Feitosa & Manoel Filho, 1997).

2.3 A OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA: VISÃO GERAL

De acordo com Ribeiro (2000), Ribeiro & Lanna (2001), a política ambiental de um país, inclusive a sua política de recursos hídricos, tem como base diversos tipos de instrumentos que servem para alcançar certos objetivos e metas previamente determinadas. Esses instrumentos podem ser classificados em dois grandes grupos:

- i) **Instrumentos econômicos:** são capazes de promover a eficiência econômica internalizando os custos externos, ou seja, os efeitos colaterais deletérios derivados da produção ou uso de bens e serviços que atingem a terceiros e não aos agentes envolvidos. Como exemplos de instrumentos econômicos têm-se os sistemas de cobrança, de taxas e seguros ambientais, permissões de emissão negociáveis ou criação de mercados, etc.
- ii) **Instrumentos regulatórios:** também chamados de regulação, normativos, de regulamentação e de políticas de “comando e controle” (C & C), correspondem ao sistema onde o poder público estabelece os padrões e monitora a qualidade ambiental, regulando as atividades e aplicando sanções e penalidades, via legislação e normas. Como exemplos de instrumentos regulatórios estão os padrões (ou normas), cotas (ou permissões), zoneamentos ambientais, estudos de impacto ambiental, etc.

No âmbito da gestão de recursos hídricos, pode-se citar como um importante instrumento regulatório a outorga do direito de uso da água. Ela consiste em um ato administrativo, de autorização, mediante o qual o poder público outorgante faculta ao outorgado previamente ou mediante o direito de uso de recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato, consideradas as legislações vigentes (CNRH, 2001).

Dependendo da sociedade, a alocação dos direitos de uso da água pode assumir várias formas. As mais comuns são as seguintes (Ribeiro, 2000):

- i) **Outorga vinculada a terra (doutrina ripária):** este tipo de outorga define que o direito sobre a água pertence aos proprietários da terra, cujos recursos hídricos se encontrem. Sendo assim, vinculada à propriedade privada da terra, a água adquire características de bem privado, podendo ser livremente comercializada junto com a

terra. Desta maneira não existe uma entidade superior que proporcione a gestão integrada da água, nem a geração de investimentos para a bacia hidrográfica.

- ii) **Outorga comercializável (mercado de água):** diferente do primeiro tipo de outorga, esta admite a comercialização da água independentemente da terra. Este mercado de água é regido pela lei da procura e da oferta. Contempla os usos prioritários e é considerada eficiente no que diz respeito a evitar os desperdícios e os conflitos (estando os usuários cientes de seus direitos). Porém permanece a inexistência da visão integrada e de geração de fundos para investimentos na bacia.
- iii) **Outorga controlada (outorga administrativa):** Neste sistema a outorga só é concebida ao usuário mediante análise (não apenas econômica, como também técnica, social e ambiental) do tipo de uso do recurso, conferindo a outorga administrativa, a característica de gestão integrada. A emissão das outorgas administrativas é de responsabilidade do poder público. Este tipo de outorga permite utilizar de maneira associada instrumentos de incentivos econômicos através da cobrança pelo direito de uso da água, gerando fundos para investimentos na bacia.

Portanto, a opção escolhida pelo modelo brasileiro de gestão de recursos hídricos é a outorga do tipo controlada ou administrativa, cujo poder público é o responsável pela emissão e controle das alocações, estabelecendo os critérios de outorga (usos prioritários, vazões máximas outorgáveis, vigências da outorga, etc.). De acordo com a Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) a outorga objetiva assegurar ao usuário o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, assim como atuar como instrumento regulador, quantitativo e qualitativo, dos usos da água.

A outorga não representa alienação das águas, porém tem o poder de separar das águas genericamente consideradas como bem de uso comum do povo, a parcela outorgada, conferindo prioridade ao outorgado, sendo passível de suspensão nos casos previstos em lei. Ela serve como instrumento na prevenção ou na resolução de conflitos de uso, comuns na inexistência ou inaplicação de tal instrumento, podendo, ainda, ser utilizado para a manutenção dos ecossistemas (SRH/MMA, 2006).

A outorga deve ser vista como um instrumento de alocação de água entre os mais diversos usos dentro de uma bacia. Essa alocação (distribuição) de água deve buscar os seguintes objetivos mínimos: atendimento das necessidades ambientais, econômicas e sociais por água; redução ou eliminação dos conflitos entre usuários da água e possibilidade de que as demandas

futuras também possam ser atendidas. A alocação mencionada refere-se aos aspectos quantitativos, qualitativos e de distribuição temporal e espacial da água.

O equacionamento desse tema requer entendimento e aplicação de:

- Questões técnicas: hidrologia, hidráulica, ecologia, qualidade de água, etc.;
- Questões legais: competências, direitos e responsabilidades dos usuários, etc.;
- Questões políticas: mobilização social, acordos entre setores e governos para o desenvolvimento integrado e sustentável da bacia, articulação institucional, etc.

De acordo com Kelman (2000), a outorga visa dar uma garantia quanto à disponibilidade de água, assumida como insumo básico de processo produtivo, desta forma, a outorga tem valor econômico para quem a recebe, na medida em que oferece garantia de acesso a um bem escasso. Todavia, um grande complicador no processo de emissão de outorgas tem origem no fato de que o conceito de "disponibilidade hídrica" admite diferentes formulações, porque a vazão fluvial é uma variável aleatória, e não uma constante.

A outorga constitui ainda um meio de cognição dos usuários poluidores ou daqueles que, de qualquer forma, degradam os corpos d'água, possibilitando a aplicação das sanções criminais, administrativas, bem como a responsabilização civil pelo dano causado (Almeida, 2003).

Geralmente a outorga é dirigida às condições de estiagem o que de certa forma limita a expansão dos sistemas de uso da água, deixando de se considerar um grande volume de água que ocorre em períodos de cheia. Além disso, faltam informações confiáveis sobre os usuários e suas demandas. Desse modo a permissão de uso da água passa a ser um critério bem mais político do que técnico. Todos esses fatores resultam na piora do atual estado de degradação dos recursos hídricos nacionais.

A competência para a emissão dos atos de outorga obedece a dominialidade constitucionalmente estabelecida, assim, a outorga das águas superficiais é de competência da União, dos Estados e do Distrito Federal, e a das águas subterrâneas é de competência dos Estados e do Distrito Federal. Quanto às águas minerais, a competência é atribuída ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), vinculado ao Ministério de Minas e Energia.

Porém, existe no meio acadêmico e jurídico certa discordância em relação à dominialidade das águas subterrâneas, visto que alguns aquíferos que se situam subjacentes a dois ou mais estados da federação, poderiam ser considerados bens da União, assim como são consideradas as

águas superficiais que banham mais de um estado, conforme o art. 20 da CF/88:

Art. 20. Bens da união:

[...] III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais.

Um exemplo desta discordância é a tramitação, no Senado Federal, da Proposta de Emenda Constitucional nº. 43/2000 (BRASIL, 2000) de autoria do Senador Júlio Eduardo, que modifica a redação dos artigos 20 (inciso III) e 26 (inciso I) da Constituição Federal, para definir a titularidade das águas subterrâneas. A proposta sugere que o texto constitucional seja modificado para os seguintes:

Art. 20. São bens da União:

[...] III – os lagos, rios e quaisquer correntes de águas, superficiais ou subterrâneas, inclusive os aquíferos, em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

[...]

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos estados:

I – as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, circunscritas ao seu território, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União;

Rêgo & Albuquerque (2004) acreditam que o fator determinante do domínio das águas subterrâneas é a sua conexão hidráulica e hidrológica, muito íntima com os cursos d'água superficiais. Onde as águas superficiais de rios perenes ou intermitentes são de domínio da União, as águas subterrâneas também seriam.

Segundo Pontes *et al.* (2007), ao atribuir aos estados o domínio das águas subterrâneas e repartir o domínio das águas superficiais entre a própria União e os estados, a Constituição Federal de 1988 criou mais uma dificuldade para o exercício prático da gestão integrada das águas.

Todavia, entende-se que o planejamento e a gestão de recursos hídricos deve sempre incluir os dois recursos, superficiais e subterrâneos, incorporando cada um deles no sistema

global, de acordo com as suas características específicas, pois qualquer controle exercido sobre um recurso acabará afetando o outro.

Além da outorga, a Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) instituiu outros instrumentos de gestão, quais são:

- I. os Planos de Recursos Hídricos;
- II. o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III. a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV. a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V. o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

A outorga também se torna merecedora de atenção tendo em vista que, a partir dela, será viabilizada a cobrança pelo uso da água. A outorga de direito, juntamente com a cobrança pelo uso da água, constitui relevante elemento para o controle do uso dos recursos hídricos, contribuindo também para a disciplina desse uso.

Observa-se que a estrutura dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos é inter-relacionada – a outorga dos direitos de uso, a cobrança pelo uso e o enquadramento dos recursos hídricos agem interligados, no mesmo patamar, em ações interdependentes de cooperação estabelecidas pelos planos de recursos hídricos, partindo-se das informações armazenadas pelos sistemas de informações.

2.4 GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E OUTORGA: VISÃO INTERNACIONAL

2.4.1 UNIÃO EUROPÉIA

A gestão dos recursos hídricos é uma das prioridades ambientais dos países pertencentes à União Européia (UE). Tal prioridade se materializa através do documento Diretiva Quadro da Água (UE, 2000), que prevê a identificação das águas européias e das suas características, recenseadas por bacia e região hidrográficas, bem como a adoção de planos de gestão e de programas de medidas adequadas a cada corpo hídrico. Para a UE a água não é um produto comercial como outro qualquer, mas um patrimônio que deve ser protegido, defendido e tratado como tal.

Uma das medidas básicas para a gestão das águas européias é o controle das captações de águas subterrâneas através da inclusão de registros das captações de água e a exigência de autorização prévia para a captação e represamento. Esses controles serão revistos periodicamente e atualizados, se necessário. Os Estados-Membros podem isentar desses controles as captações ou represamentos que não tenham um impacto significativo sobre o estado das águas (UE, 2000).

Com relação às medidas de combate à poluição de águas subterrâneas os Estados-Membros tomarão as medidas necessárias a fim de evitar ou limitar a descarga de poluentes nas águas subterrâneas e de evitar a deterioração do estado de todos os corpos de água, através de programas que incluirão o monitoramento dos estados químico e quantitativo (UE, 2000).

2.4.2. ESTADOS UNIDOS

As águas subterrâneas estão entre os recursos naturais mais importantes dos Estados Unidos, visto que fornece a metade da água utilizada para consumo e é essencial à vitalidade da agricultura e da indústria, assim como à saúde dos rios, dos pantanais, e dos estuários em todo o país (Heath, 2005).

O compromisso norte-americano com a sociedade é tornar qualquer fonte hídrica passível de ser ingerida pelo ser humano sem necessidade de maiores tratamentos, ou seja, torná-la potável. Logo, a maior parte de suas políticas públicas em relação às águas subterrâneas são destinadas à conservação e proteção contra contaminação deste recurso.

Sendo assim, a Agência de Proteção do Meio Ambiente (Environmental Protection Agency – EPA) lançou um programa direcionado às águas subterrâneas que tem como objetivo

reduzir a incidência de microorganismos causadores de doenças na água potável.

Para alcançar este objetivo, foi estabelecida uma abordagem baseada na vulnerabilidade à contaminação fecal que as águas subterrâneas estão sujeitas, devido a presença de fossas e sumidouros no entorno das captações. Portanto, nos sistemas de água subterrânea que forem identificados riscos de contaminação fecal devem ser tomadas medidas corretivas com o intuito de reduzir potencialmente a presença destes microorganismos patogênicos. A regra será aplicável a todos os sistemas que utilizam as águas subterrâneas como fonte de água potável (EPA, 2006).

2.4.3 MÉXICO

No México, a exploração, uso e aproveitamento das águas nacionais por pessoas físicas ou jurídicas é feita através de uma autorização concedida pelo Executivo Federal através da Comissão Nacional da Água, de acordo com as regiões e as condições estabelecidas por lei. Portanto, compete ao Poder Executivo Nacional regulamentar o controle da extração e utilização das águas subterrâneas e à Comissão Nacional da Água expedir títulos de concessão, atribuição ou permissão, reconhecer e registrar publicamente os direitos de uso (MÉXICO, 1992).

É livre a exploração, o uso e o aproveitamento das águas superficiais nacionais por meios manuais para fins domésticos, desde que não haja desvio do seu leito ou não haja alteração na sua qualidade ou declínio significativo no seu fluxo. Porém as águas subterrâneas nacionais somente poderão ser exploradas em áreas nas quais o Poder Executivo não julgar serem de interesse público mediante declaração de reserva (MÉXICO, 1992).

Independentemente, a exploração, o uso e o aproveitamento da água subterrânea irão resultar em contribuições fiscais e Registro Público de Direitos da Água (outorga). A outorga ficará sujeita às disposições da lei nacional das águas mexicanas, tendo como critérios a disponibilidade de água, de acordo com a programação hidráulica, os direitos de exploração, utilização ou aproveitamento de águas já concedidos, além das proibições e reservas existentes (MÉXICO, 1992).

2.4.4 CANADÁ

Pouca atenção tem sido dada aos recursos hídricos subterrâneos em escala nacional no Canadá, visto que é expressiva a quantidade de água superficial utilizada para abastecimento do país. No entanto, um quarto de todos os canadenses dependem de água subterrânea para uso

doméstico. Sabe-se que fontes de águas subterrâneas mantêm as zonas úmidas, córregos, lagos e outras águas superficiais quando o escoamento superficial é baixo ou nulo; e que qualquer contaminação que afete as águas subterrâneas, ainda que ocorra naturalmente, pode contaminar as águas superficiais e vice-versa (CANADÁ, 2008).

Logo, o governo federal canadense está comprometido com a preservação da água subterrânea em benefício dos usos das gerações presentes e futuras. Para alcançar este compromisso, pretende-se (CANADÁ, 2008):

- Desenvolver, juntamente com as províncias e outras partes interessadas, estratégias, diretrizes nacionais e atividades de avaliação das águas subterrâneas e de proteção;
- Realizar pesquisas e desenvolver o conhecimento tecnológico, em resposta aos problemas das águas subterrâneas;
- Desenvolver as práticas de gestão das águas subterrâneas envolvendo terras federais;
- Desenvolver medidas para atingir a qualidade adequada das águas dos aquíferos transfronteiriços;
- Prestar informações e aconselhamento sobre as questões das águas subterrâneas a nível nacional.

2.4.5 AUSTRÁLIA

De acordo com a National Water Commission (AUSTRÁLIA, 2008), a falta de recursos financeiros para o gerenciamento e monitoramento dos sistemas de água subterrânea na Austrália fez com que fossem emitidas licenças de utilização em demasia (super-alocação) e em muitos casos a água subterrânea foi extraída excessivamente.

Tal fato tem sido agravado pelos seguintes motivos (AUSTRÁLIA, 2008):

- Os volumes de águas subterrâneas licenciados não são contabilizados em muitas partes da Austrália;
- A água subterrânea é barata e muitas vezes gratuita;
- Fracasso dos planos de gestão em reconhecer a conectividade das águas subterrâneas e superficiais.

Desde meados de 2004 encontra-se em implementação um novo modelo de gestão de recursos hídricos na Austrália, a chamada Iniciativa Nacional da Água. Consiste em um compromisso partilhado pelos governos para aumentar a eficiência de utilização da água, levando a uma maior segurança para os investimentos e produtividade para comunidades urbanas e rurais, assim como para o meio ambiente. Em relação às águas subterrâneas, faz-se necessário garantir que sua extração não seja mais rápida do que a recarga (AUSTRÁLIA, 2008).

Um dos objetivos da Iniciativa Nacional de Águas é transformar todos os volumes atualmente extraídos em demasia em níveis de extração ecos-sustentáveis. Este objetivo está entre as muitas outras atividades relacionadas com a água subterrânea que será realizada pela Comissão Nacional da Água. A Iniciativa Nacional da Água define o nível de extração ambientalmente sustentáveis como o nível de água extraída de um determinado sistema que, se for ultrapassado iria comprometer o patrimônio ambiental, ou as atividades dos ecossistemas e a vazão de base dos rios (AUSTRÁLIA, 2008).

2.4.6 JAPÃO

O Japão sofre, desde meados de 1910 com a subsidência provocada pelo excesso de bombeamento da água subterrânea na cidade de Tóquio, causando a destruição de edifícios e barragens devido às cheias e às marés altas, despertando a preocupação pública. A 2ª Guerra Mundial interrompeu fortemente as atividades industriais que utilizavam a água subterrânea em seus processos produtivos, o que diminuiu o avanço da subsidência. Não obstante, a subsidência recomeçou na década de 1950, especialmente em regiões metropolitanas, quando as indústrias foram reaberta e a demanda por águas subterrâneas aumentou rapidamente (JAPÃO, 2008).

Medidas contra a subsidência dos terrenos foram tomadas a partir da década 60, como por exemplo, o controle da taxa de bombeamento de água subterrânea. Posteriormente, percebeu-se que a taxa de subsidência do terreno na área metropolitana de Tóquio teria diminuído. No entanto, algumas regiões continuam a extrair grande quantidade de água subterrânea para abastecimento humano, agricultura e uso industrial. Atualmente, a subsidência do terreno é percebida, entre outros lugares, nos subúrbios de Tóquio (parte norte da Planície de Kanto), as regiões rurais (Planície de Chikugo-Saga) e em regiões nevadas (Minami-Uonuma na Prefeitura de Niigata) (JAPÃO, 2008).

2.4.7 CHILE

A política de recursos hídricos no Chile baseia-se no princípio que a água é um bem nacional de uso público considerado essencial para a vida de seus habitantes, para o desenvolvimento econômico, social e ambiental. Porém, o sistema jurídico e econômico que regulamenta seu uso aplica à água os princípios da economia de mercado, com adaptações e correções que exigem as particularidades dos processos hidrológicos e da natureza desse recurso natural (CHILE, 1999).

Apesar de a água ser considerada um bem nacional de uso público, são concedidos a particulares o direito de utilização de recursos hídricos. Este direito na legislação chilena é um bem jurídico definido como um direito real, cujo titular pode usar, gozar e dispor da mesma como qualquer outro bem suscetível à apropriação privada tendo sua proteção jurídica assegurada (CHILE, 1999).

Por outro lado, o direito de utilização de recursos hídricos não é um bem associado a terra para os quais antes eram destinados, de modo que se pode negociar e transferir livremente a água. Não existem prioridades de uso como critérios de outorga de novos direitos, de modo que existindo disponibilidade de água são assegurados os direitos sem nenhum outro tipo de consideração (CHILE, 1999).

2.4.8 ÁFRICA AUSTRAL

De acordo com Turton *et al.*, (2008) é impossível compreender as restrições de desenvolvimento de África sem ter uma noção do significado dos seus recursos hídricos, em especial a água subterrânea. A África Austral enfrenta graves faltas de água subterrânea, que não só colocam em perigo as vidas daqueles que dependem diretamente dela, mas também o desenvolvimento econômico da região. Os países austrais – África do Sul, Botsuana, Namíbia e Zimbábue – enfrentam restrições significativas sobre o seu crescimento econômico devido à insegurança do fornecimento de água. Além disso, os recursos de água subterrânea constituem a base dos abastecimentos rurais, que sustentam a vida das comunidades mais pobres.

A África Austral enfrenta os seguintes problemas relacionados com recursos hídricos Turton *et al.*, (2008):

- A gestão dos recursos hídricos é quase sempre transfronteiriça;
- A água encontra-se distribuída de maneira desigual tanto no espaço como no tempo;

- A África Austral tem uma taxa de conversão inerentemente baixa de chuva x vazão, o que afeta as vazões dos rios de água de superfície, bem como as recargas de água subterrânea;
- Tendo em conta a natureza não linear da recarga da água subterrânea aliado à baixos níveis de precipitação e com a previsão de um futuro mais quente e seco devido às mudanças climáticas globais, uma redução na recarga dos aquíferos é uma possibilidade real.

Sendo assim, Turton *et al.*, (2008) recomenda que algumas ações políticas sejam tomadas rapidamente:

- Realizar uma pesquisa que relacione os limites de bacias hidrográficas e de sistemas aquíferos que quase sempre não coincidem, para auxiliar os tomadores de decisões a gerenciar adequadamente este recurso;
- Realizar um mapeamento mais preciso dos recursos hídricos subterrâneos transfronteiriços;
- Classificar tais recursos em termos de suas características hidrogeológicas;
- Instituir regimes de gestão capazes de lidar com os problemas associados às características hidrogeológicas específicas dos recursos hídricos subterrâneos.

2.5 ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS DA OUTORGA

2.5.1 ÂMBITO NACIONAL

Em 8 de janeiro de 1997 foi promulgada a Lei Federal nº. 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e regulamentou o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal (BRASIL, 1997). Este inciso determina que compete à União instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso.

A Lei nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997), em seus fundamentos (art. 1º), reconhece a água como um recurso natural, limitado, dotado de valor econômico, cujo domínio é público. Determina também que sua gestão deve ser descentralizada e participativa, devendo sempre proporcionar o uso múltiplo dos recursos hídricos.

A determinação das águas como sendo de domínio apenas público gerou a necessidade da utilização de uma forma de autorização do Estado para uso desses recursos hídricos por terceiros. Essa forma de autorização é apresentada na Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) por meio do instrumento de outorga de direito de uso de recursos hídricos (ANA, 2005).

Segundo a citada lei, estão sujeitos à outorga pelo poder público os seguintes usos de recursos hídricos:

- I. Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- II. Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- III. Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV. Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- V. Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

E independente de outorga pelo poder público os seguintes usos:

- I. O uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural;
- II. As derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes;
- III. As acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

Competem aos comitês de bacia propor aos conselhos nacional e estaduais de recursos hídricos as derivações, captações, lançamentos e acumulações de volumes de água considerados insignificantes para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos.

Como condicionamento para a outorga, em seu artigo 13, a Lei nº. 9.433/97 afirma que toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos, deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso (BRASIL, 1997).

Além de ratificar o que afirmou o artigo 13, da Lei nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997), a Resolução CNRH nº. 16/01 (CNRH, 2001) inseriu como condicionante para outorga a preservação dos usos múltiplos previstos. Além disso, afirma que o requerimento de outorga de uso de recursos hídricos, quando se tratar de derivação ou captação de água oriunda de corpo de água superficial ou subterrâneo deve contar com as informações de:

- a) identificação do requerente;
- b) localização geográfica do(s) ponto(s) característico(s) objeto do pleito de outorga, incluindo nome do corpo de água e da bacia hidrográfica principal;
- c) especificação da finalidade do uso da água;
- d) vazão máxima instantânea e volume diário que se pretenda derivar;
- e) regime de variação, em termos de número de dias de captação, em cada mês, e de número de horas de captação, em cada dia;

Embora a dominialidade das águas subterrâneas seja dos estados, elas estão sendo tratadas em um programa nacional, haja vista a necessidade da gestão integrada deste recurso e o fato dos aquíferos quase sempre extrapolarem os limites das bacias hidrográficas, estados e países, sendo necessários mecanismos de articulação entre os entes envolvidos. Neste contexto encontra-se o Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PNAS) inserido nos Programas Regionais de Recursos Hídricos que, para efeito de detalhamento, foi dividido em três subprogramas e nas seguintes ações (MMA/SRHU, 2008), as quais podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2 – Subprogramas e ações do Programa Nacional de Águas Subterrâneas.

Programa VIII – Programa Nacional de Águas Subterrâneas	
Subprogramas	Ações
Ampliação do conhecimento hidrogeológico básico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudos e projetos para aquíferos de abrangência transfronteiriça e interestadual; 2. Estudos e projetos em escala local; 3. Monitoramento quali-quantitativo das águas subterrâneas;
Desenvolvimento dos aspectos institucionais e legais	<ol style="list-style-type: none"> 1. Promoção da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) com ênfase nas águas subterrâneas em âmbito intersetorial; 2. Adoção de mecanismos para a promoção da GIRH em aquíferos que abranjam a área de mais de uma bacia hidrográfica, interestaduais e transfronteiriços; 3. Discussão dos instrumentos de gestão de recursos hídricos e sua aplicação em gestão de águas subterrâneas; 4. Fortalecimento das estruturas institucionais a nível estadual.
Capacitação, comunicação e mobilização social	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apoiar as ações voltadas para capacitação, comunicação e mobilização social dos demais programas do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e subprogramas do Programa Nacional de Águas Subterrâneas; 2. Propor parcerias com outras secretarias do Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Educação e instituições com vistas a inserir a abordagem da temática das águas subterrâneas em projetos de Educação Ambiental (EA) e em fóruns de participação; 3. Identificar e replicar experiências exitosas em recursos hídricos subterrâneos; 4. Promover o desenvolvimento de capacidades em gestão de recursos hídricos para entes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), setores usuários e atores sociais; 5. Buscar parceria e apoiar universidades, centros de pesquisa, associações técnicas, de usuários e na realização de estudos, trabalhos, publicações com enfoque em águas subterrâneas e GIRH; 6. Apoiar e promover o desenvolvimento de capacidade e integração entre países/estados que compartilham aquíferos de abrangência transfronteiriça.

Fonte: (MMA/SRHU, 2008)

Em se tratando do número de outorgas concedidas pela Agência Nacional de Águas (ANA), até o final do ano de 2004 foram emitidas um total de 95.107 outorgas em todo o país,

sendo que em águas superficiais foram 73.233 outorgas, o que corresponde a 77% do total. Em águas subterrâneas o número de outorgas foi de 21.874, correspondendo a 23% do total (ANA, 2005). A Figura 7 apresenta a distribuição do número de outorgas por unidade federativa brasileira. De acordo com a ANA (2005) a Paraíba responde por cerca de 1% do número de outorgas emitidas no país.

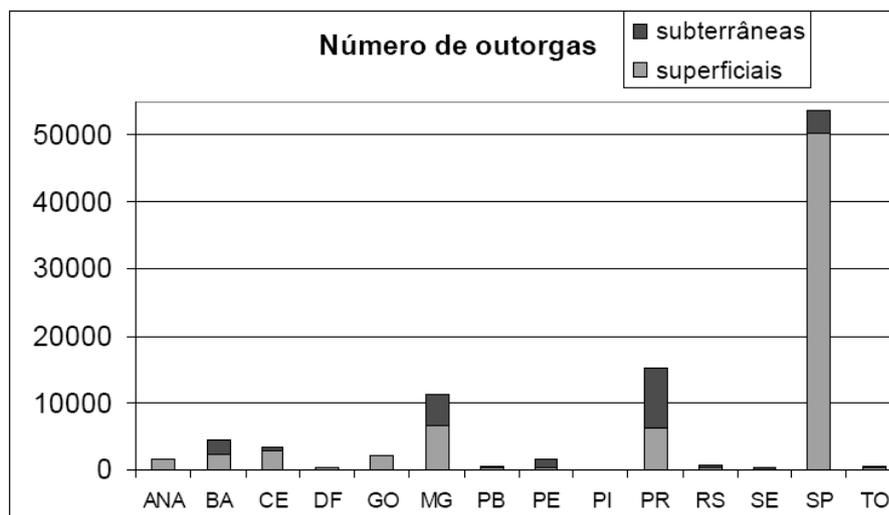


Figura 7 – Número de outorgas emitidas pela União (ANA), Estados e Distrito Federal até dezembro de 2004 (ANA, 2005).

Em relação às vazões outorgadas, até dezembro de 2004 foram emitidas pela União (ANA), Estados e Distrito Federal um total de 2.304 m³/s, sendo 2.214,5 m³/s em mananciais superficiais e 89,5 m³/s em mananciais subterrâneos (Figura 8). Novamente, a vazão outorgada de água no estado da Paraíba corresponde a 1% do total.

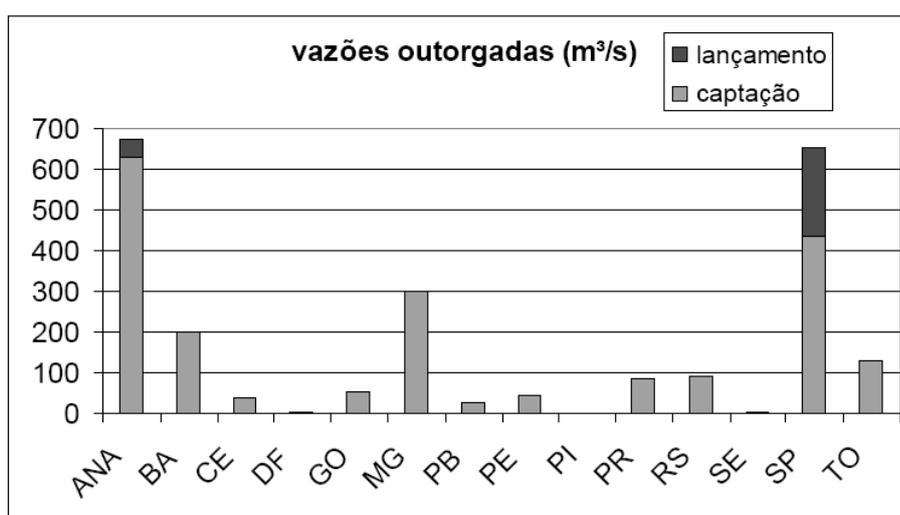


Figura 8 – Vazões totais outorgadas para captação e lançamento (em m³/s) pela União (ANA), Estados e Distrito Federal até dezembro de 2004 (ANA, 2005).

De acordo com a Figura 9, os maiores setores usuários de água são a irrigação e o abastecimento humano. O consumo de água na agricultura é o mais extensivo dentro dos três grandes grupos de demandantes, chegando a representar mais de 60% do consumo total de água (FAO, 2002; ANA, 2005).

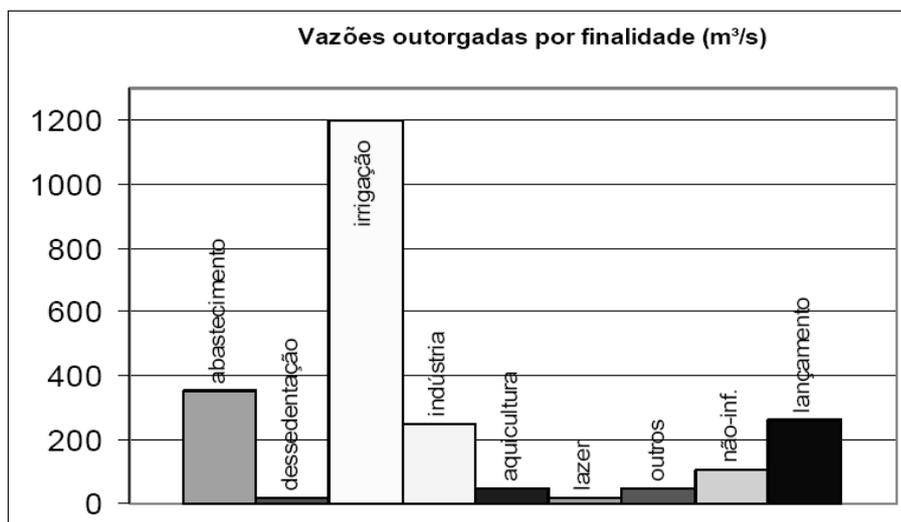


Figura 9 – Vazões outorgadas (em m³/s) por finalidade de uso (ANA, 2005).

Uma ressalva que deve ser feita na interpretação dos dados de vazões outorgadas refere-se à prática de aplicação do instrumento pelos órgãos gestores. Em geral, as análises de pleitos de outorga avaliam se a demanda máxima pode ser atendida em condições hidrológicas mais críticas. Portanto, as vazões outorgadas referem-se às capacidades máximas instantâneas de uso da água que, quando somadas, não representam o comprometimento hídrico real dos corpos de água. Isso ocorre porque os usuários não utilizam suas capacidades ao mesmo tempo ou com o mesmo regime (horas por dia; dias por mês). Assim como os irrigantes tendem a utilizar a água em períodos específicos do ano, as indústrias variam os consumos em função de condições de mercado e os sistemas de abastecimento público tendem a utilizar água de forma contínua, a resultante desses diferentes padrões de consumo é menor que a simples soma das capacidades máximas (ANA, 2005).

Em relação à qualidade requerida para as águas subterrâneas, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou recentemente a Resolução n.º 396/08 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Sendo assim, as águas subterrâneas podem ser classificadas em 6 classes, a saber (CONAMA, 2008):

- **Classe Especial:** águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção

integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;

- **Classe 1:** águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- **Classe 2:** águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- **Classe 3:** águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, 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;
- **Classe 4:** águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo;
- **Classe 5:** águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Como diretrizes para o enquadramento, a resolução supracitada afirma que o enquadramento das águas subterrâneas dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos. Será efetuado na profundidade onde estão ocorrendo as captações para os usos preponderantes mais restritivos atuais ou pretendidos, exceto para a Classe 4, para a qual deverá prevalecer o uso menos restritivo (CONAMA, 2008).

Para realizar o enquadramento deve-se considerar no mínimo (CONAMA, 2008):

- I. a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica;
- II. a caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição;
- III. o cadastramento de poços existentes e em operação;
- IV. o uso e a ocupação do solo e seu histórico;
- V. a viabilidade técnica e econômica do enquadramento;
- VI. a localização das fontes potenciais de poluição; e
- VII. a qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.

2.5.2 ÂMBITO ESTADUAL

No âmbito estadual, a política de recursos hídricos da Paraíba foi instituída pela Lei Estadual nº. 6.308/96 (PARAÍBA, 1996) e recentemente alterada pela Lei Estadual nº. 8.446/07 (PARAÍBA, 2007). Ressalta-se que a política paraibana de recursos hídricos é anterior à Política Nacional de Recursos Hídricos, contudo, de acordo com Vieira & Ribeiro (2007), de maneira geral, os princípios e diretrizes da política estadual, conforme estabelecidos pela Lei nº. 6.308/96, estão de acordo com os fundamentos e as diretrizes gerais de ação determinados pela Lei nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) para a Política Nacional de Recursos Hídricos. No entanto, uma diferença básica pode ser apontada: enquanto, no âmbito federal, a gestão dos recursos hídricos deve ser *descentralizada e participativa*, na lei paraibana a gestão deve ser *participativa e integrada*, sendo essa integração relativa aos aspectos de quantidade e qualidade dos recursos hídricos e às diferentes fases do ciclo hidrológico.

Outra diferença observada reside no fato de que os instrumentos da política estadual são definidos como:

- *instrumentos de execução*: Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos, Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos e Programas Intergovernamentais e;
- *instrumentos de gerenciamento*: outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o rateio dos custos das obras de uso múltiplo.

É importante salientar, que a lei estadual não considera o enquadramento dos corpos de água em classes e o sistema de informações sobre recursos hídricos como instrumentos de gestão. O enquadramento dos corpos d'água, na referida lei, faz parte dos elementos necessários para composição do plano estadual de recursos hídricos e dos critérios para cobrança pelo uso da água. Observa-se, entretanto, que na prática o enquadramento tem sido considerado como instrumento de gestão (Costa *et al.*, 2008).

Baseando-se nas leis cearenses, o Decreto nº. 19.260/97 (PARAÍBA, 1997) regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos no estado da Paraíba. Nele há o estabelecimento do critério de inexigibilidade de outorga para captações não superiores ao valor de 2.000 l/h para captação direta na fonte, superficial ou subterrânea. Assegura ainda que não se concederá outorga para lançamento na água de resíduos sólidos, radioativos, metais pesados e outros resíduos tóxicos perigosos e lançamento de poluentes nas águas subterrâneas.

Como critérios de prioridades de outorga, o decreto traz a seguinte ordenação:

1. abastecimento doméstico;
2. abastecimento coletivo especial;
3. outros abastecimentos coletivos de cidades, distritos, povoados e demais núcleos habitacionais, de caráter não residencial;
4. captação direta para fins industriais, comerciais e de prestação de serviços;
5. captação direta ou por infra-estrutura de abastecimento para fins agrícolas, compreendendo irrigação, pecuária, piscicultura, etc.;
6. outros usos permitidos pela legislação em vigor.

Em seu art. 14, o decreto sujeita a outorga às condições de disponibilidade hídrica, observância das prioridades de uso e comprovação de que o uso de água não cause poluição ou desperdício dos recursos hídricos.

Para o cálculo da disponibilidade hídrica, em regiões de rios intermitentes, leva-se em consideração o volume atual do manancial (açude) em que haverá a captação objeto da outorga. Em seguida é realizado o balanço hídrico, sendo descontados do volume do açude o seguinte:

- Volume para abastecimento humano retirado pela concessionária de água;
- Volumes anteriormente outorgados;
- Volumes outorgados vencidos ou em andamento;
- Volumes cadastrados;
- Volumes para suprir a demanda ecológica natural.

Sendo detectado que ainda há volume no manancial para suprir àquela demanda requerida, é então concedida a outorga. Quando a demanda não é atendida, a outorga é negada, podendo o requerente dar entrada novamente no processo com um volume requerido menor do que o anterior.

Nas regiões do estado da Paraíba em que rios são perenes, a disponibilidade hídrica é calculada segundo os dados do Relatório Conclusivo do Plano de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (UFPB/ATECEL, 1994), que dispõe das vazões específicas nas seções de rios. Em determinada seção de rio em que for solicitada uma captação com fins de outorga, é então calculada a disponibilidade hídrica daquela seção multiplicando a vazão específica pela área da sub-bacia de contribuição respectiva. Em seguida é realizado o balanço hídrico, sendo

descontados da disponibilidade hídrica os volumes para abastecimento, os já outorgados (em vigência, vencidos e em andamento), os cadastrados e a demanda ecológica. Sendo detectado que aquela seção de rio pode suprir à demanda requerida, é concedida a outorga.

Em se tratando de água subterrânea, a disponibilidade hídrica será entendida em função das características hidrogeológicas do local ou da bacia sobre a qual incide a outorga, observando ainda a vazão nominal de teste do poço, ou a capacidade de recarga do aquífero.

Na prática, o que se utiliza como critério de outorga para água subterrânea é a vazão de teste de poço, advinda do projeto de poço, assinado por profissional devidamente capacitado, que o requerente apresenta ao solicitar a outorga. O critério de capacidade de recarga do aquífero, não é utilizado, visto que é uma informação bastante difícil de ser conhecida, sendo necessária a modelagem detalhada dos aquíferos, com suas áreas de recarga, descarga, redes de fluxos, coeficientes hidrodinâmicos, etc., para a sua correta determinação.

No âmbito institucional, o Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGERH) tem a finalidade de executar a Política Estadual de Recursos Hídricos e de formular, atualizar e aplicar o Plano Estadual de Recursos Hídricos, em consonância com os órgãos e entidades estaduais e municipais, com a participação da sociedade civil organizada. Sua composição é assim determinada:

- **Órgão de Coordenação:** Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente – SECTMA;
- **Órgão Deliberativo e Normativo:** Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH;
- **Órgão Gestor:** Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA;
- **Órgãos de Gestão Participativa e Descentralizada:** Comitês de Bacias Hidrográficas – CBHs.

2.5.2.1 Aspectos administrativos da outorga na Paraíba

O início do processo administrativo da outorga no estado da Paraíba (Figura 10) acontece quando o usuário de recursos hídricos entrega, no Protocolo da AESA, os formulários de outorga preenchidos e acompanhados da documentação técnica e legal solicitada, incluindo-se o recolhimento da taxa administrativa. Tal documentação é encaminhada para a Diretoria de

Gestão e Apoio Estratégico que examina o processo e envia para a Gerência de Outorga e Licença de Obras Hídricas. Nesta gerência acontece a avaliação técnica da outorga, etapa mais importante do pleito, sendo caracterizada pelas análises documentais, análise de projeto, avaliação hidrológica, vistoria técnica e emissão do parecer técnico. Em seguida o processo retorna para a Diretoria de Gestão e Apoio Estratégico que examina, confere e encaminha para o Diretor Presidente da AESA. Esse assina a outorga e encaminha ao Secretário da SECTMA, que assina e devolve para a Diretoria de Gestão e Apoio Estratégico da AESA que providencia a entrega do documento ao usuário. Posteriormente o processo é enviado para o setor de cadastro que providencia o cadastramento da outorga para, finalmente, ser arquivado pela Gerência de Outorga e Licença de Obras Hídricas (AESA, 2008a).

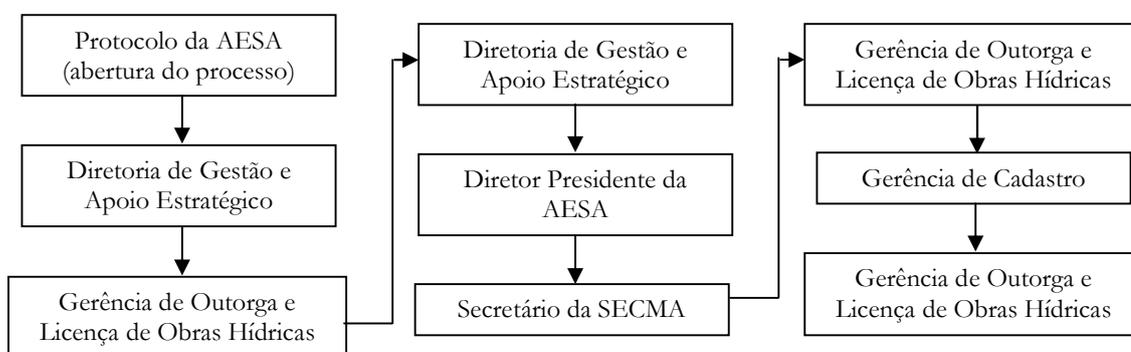


Figura 10 – Fluxograma do processo de outorga da AESA (AESA, 2008a).

Silva & Monteiro (2004) acreditam que um pedido de outorga deve passar, no mínimo, por três avaliações, as quais são: avaliação técnica, do empreendimento e jurídica.

A avaliação técnica, segundo os autores anteriormente citados, consiste na verificação da disponibilidade hídrica do manancial, isto é, se a vazão que está sendo solicitada pode ser atendida pelo manancial, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. Avalia-se, portanto, se a interferência pleiteada está coerente com os critérios de alocação de água previamente determinados e se os impactos quali-quantitativos são aceitáveis dentro de determinada margem de segurança. As informações mínimas necessárias para realização da avaliação técnica do pleito de outorga estão apresentadas a seguir (Silva & Monteiro, 2004):

- Identificação e caracterização do uso (irrigação, saneamento, lazer, geração de energia, etc.);
- Localização do pleito (bacia, coordenadas, manancial, município, UF);
- Demanda sazonal do pleito para captação de água e/ou lançamento de efluentes;

- Características físico-químicas e biológicas dos efluentes (obtidas em articulação com o órgão de Controle Ambiental);
- Dados hidrometeorológicos e estudos hidrológicos;
- Demandas existentes em toda a bacia hidrográfica (a montante e a jusante do aproveitamento);
- Reservatórios existentes.

Obs.: Existindo Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, as análises técnicas deverão levar em consideração as suas diretrizes.

A avaliação do empreendimento verifica se o que está sendo solicitado em termos de vazão de captação e de lançamento de efluentes, bem como as características físico-químicas e biológicas dos efluentes gerados, estão compatíveis com o tipo e com o porte do empreendimento. Nesse sentido, deve ser solicitada a apresentação do projeto de utilização dos recursos hídricos, onde deverão constar informações referentes à concepção do empreendimento como, por exemplo: descrição geral da atividade, fluxograma do processo, índices de utilização da água, eficiência do tratamento de efluentes, etc. A avaliação jurídica analisa a documentação enviada e a adequação do pedido às leis de recursos hídricos. Para essa análise é necessária a identificação do usuário (cópia do CNPJ ou CPF) e dados relativos ao empreendimento como cópia do documento de posse da terra, entre outros. Há situações em que é necessária a realização de vistorias técnicas ao local do pleito para verificação das informações prestadas e, principalmente, para avaliação da demanda potencial da região (Silva & Monteiro, 2004).

2.5.2.2 Análise das outorgas emitidas no estado da Paraíba

Em relação ao estado da Paraíba, até o final do mês de abril de 2008, o número total de pleitos de outorga (em andamento, em vigência e vencidas) constantes no cadastro da AESA foi de 2.268, sendo que 35% dessas usam poços como manancial e 65% captam em mananciais superficiais. A Figura 11 apresenta o número de outorgas (superficial e subterrânea) emitidas pela AESA, divididas por bacias hidrográficas do estado da Paraíba.

Percebe-se que a Bacia do rio Paraíba apresenta o maior número de outorgas em relação às demais bacias, totalizando 692 outorgas, destas 347 em mananciais subterrâneos e 345 em mananciais superficiais. Vale salientar a participação das Bacias do rio Piranhas e rio do Peixe quanto ao número de outorgas de águas subterrâneas que excederam o de águas superficiais.

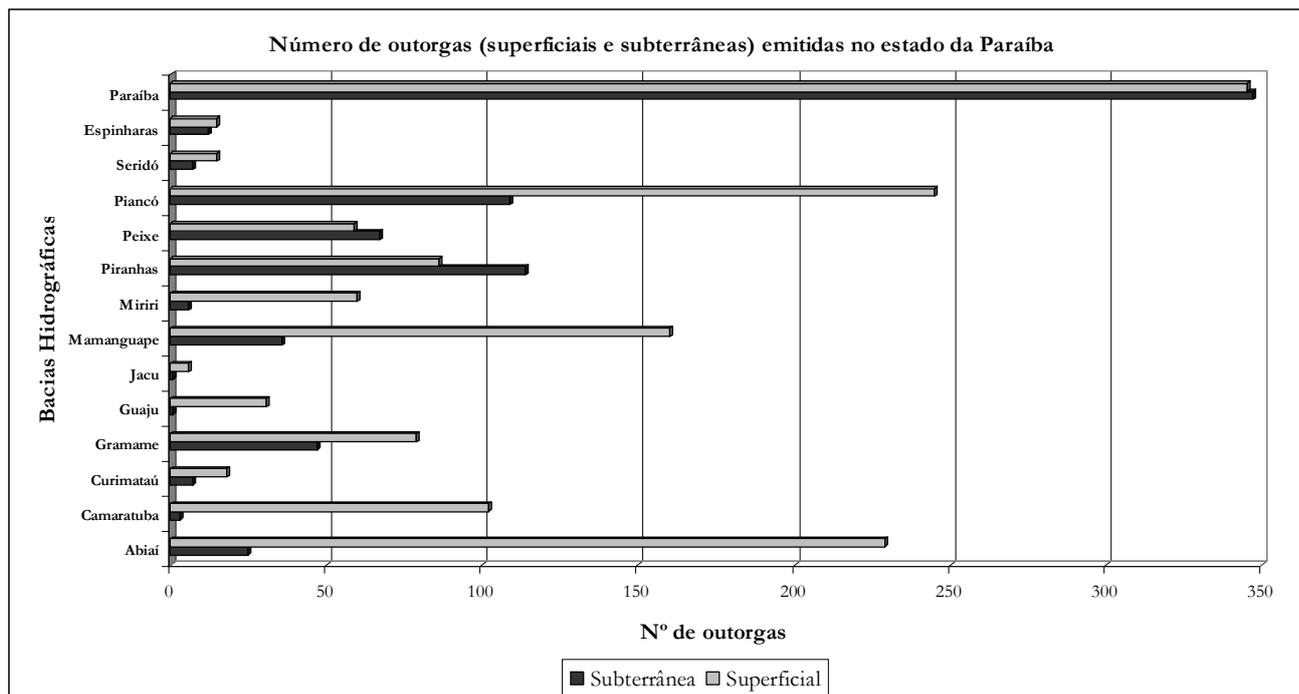


Figura 11 – Número de outorgas (superficiais e subterrâneas) emitidas no estado da Paraíba por bacia hidrográfica (AESAs, 2008b).

Em termos de volumes de recursos hídricos, foi outorgado pela AESA, em todo o estado da Paraíba, o total de 787.274.583,99 m³, sendo 88,20% de água superficial e 11,80% de água subterrânea. A distribuição desse volume por bacia hidrográfica está apresentada na Figura 12.

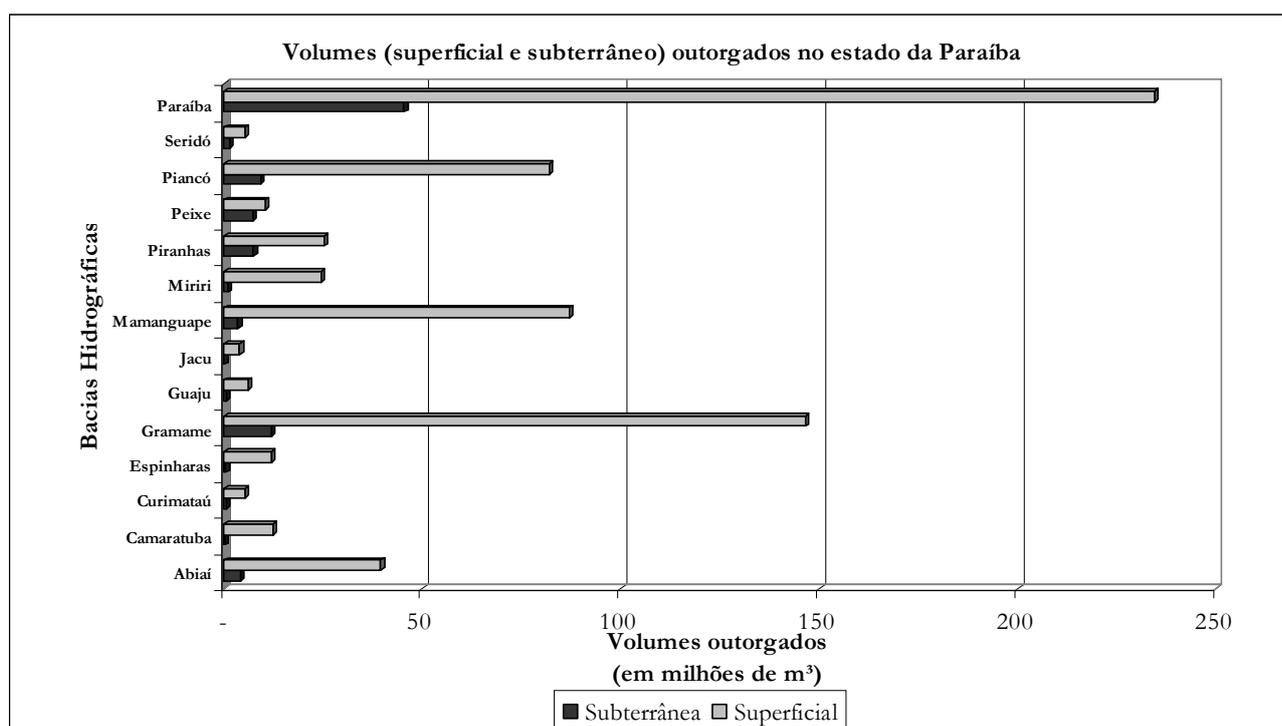


Figura 12 – Volumes (superficial e subterrâneo) outorgados pela AESA no estado da Paraíba por bacia hidrográfica (AESAs, 2008b).

Novamente, a Bacia do rio Paraíba configura-se como a maior outorgante (Figura 12), em termos de volumes de água, alcançando 279.807.175,25 m³ outorgados, sendo 83,79% de água superficial e 16,21% de água subterrânea. Destaca-se o volume de água outorgado pela Bacia do rio Gramame (158.636.268,50 m³), fato justificado por ser esta a bacia que abastece a Região Metropolitana de João Pessoa (capital do estado).

Através da Figura 12, observa-se que os volumes de água superficial outorgados foram superiores aos de água subterrânea em todas as bacias hidrográficas do estado da Paraíba, diferentemente do ocorrido em termos de número de outorgas (Figura 11).

De acordo com Figura 13, percebe-se que a Região do Baixo Curso do rio Paraíba apresenta a maioria das outorgas em relação às demais regiões da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, totalizando 508 outorgas, sendo 54,53% em mananciais superficiais e 45,47% em mananciais subterrâneos. Salienta-se aqui, que foram consideradas nos cálculos as outorgas em vigência, as vencidas e as em andamento, visto que todas elas são utilizadas nos cálculos do balanço hídrico para determinação da disponibilidade hídrica.

Frisa-se o número de outorgas de águas subterrâneas superior ao de águas superficiais na Região do Alto Curso do rio Paraíba. Analisando-se o cadastro da AESA, percebe-se que o setor da irrigação, em quase sua totalidade (90,14% das outorgas), utiliza o manancial subterrâneo como suprimento de água. No entanto, vale salientar, que a Região do Alto Curso do rio Paraíba localiza-se sobre o embasamento cristalino, possuindo apenas reservas fissurais de águas.

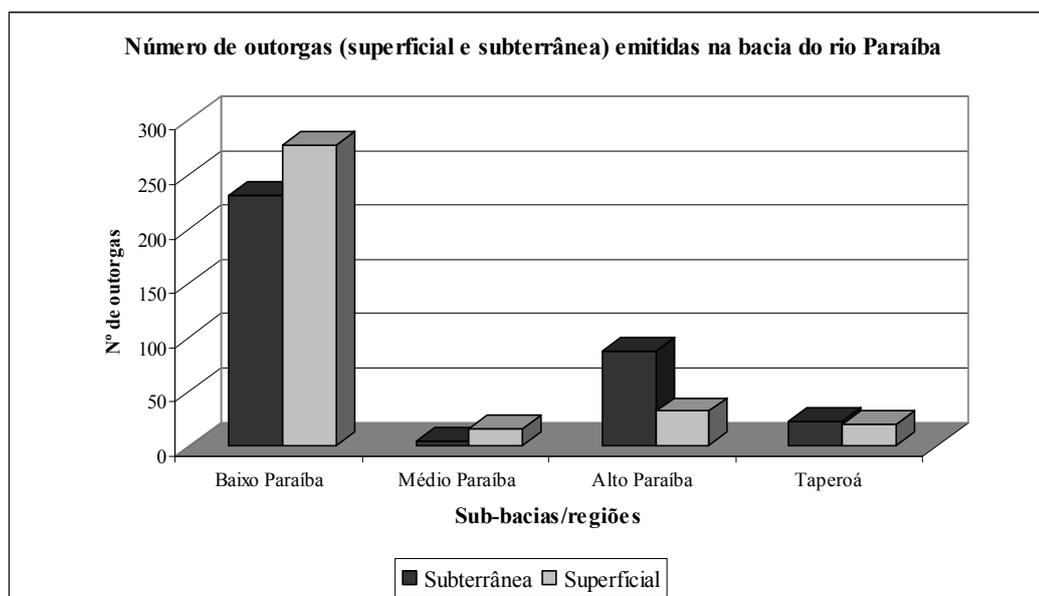


Figura 13 – Número de outorgas (superficial e subterrânea) emitidas na Bacia do rio Paraíba por sub-bacia/região (AESA, 2008b).

As vazões outorgadas pela AESA na Bacia do rio Paraíba somam 23,53 m³/s, sendo 1,75 m³/s em mananciais subterrâneos e 21,77 m³/s em mananciais superficiais. A divisão das vazões outorgadas por bacia/região hidrográfica pode ser visualizada na Figura 14. Percebe-se que a grande maioria das vazões, ou seja, cerca de 89% (20,92 m³/s), foi emitida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, sendo 19,44 m³/s para mananciais superficiais e apenas 1,48 m³/s para mananciais subterrâneos.

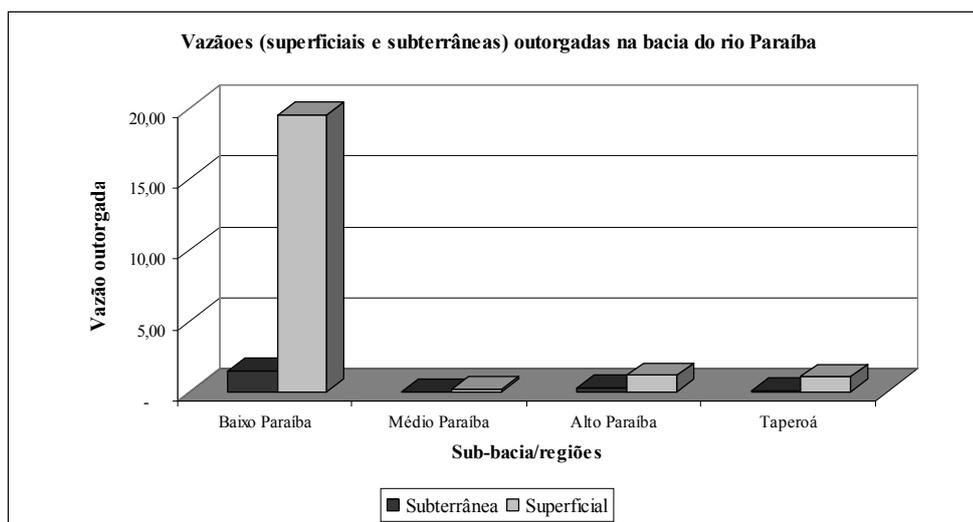


Figura 14 – Vazões (superficiais e subterrâneas) outorgadas pela AESA na Bacia do rio Paraíba por sub-bacia/região hidrográfica (AESA, 2008b).

Em relação ao volume de recursos hídricos, foi outorgado na Bacia do rio Paraíba, o total de 279.807.175,25 m³, sendo 83,79% de água superficial e 16,21% de água subterrânea. A distribuição desse volume por sub-bacia/região hidrográfica está apresentada na Figura 15.

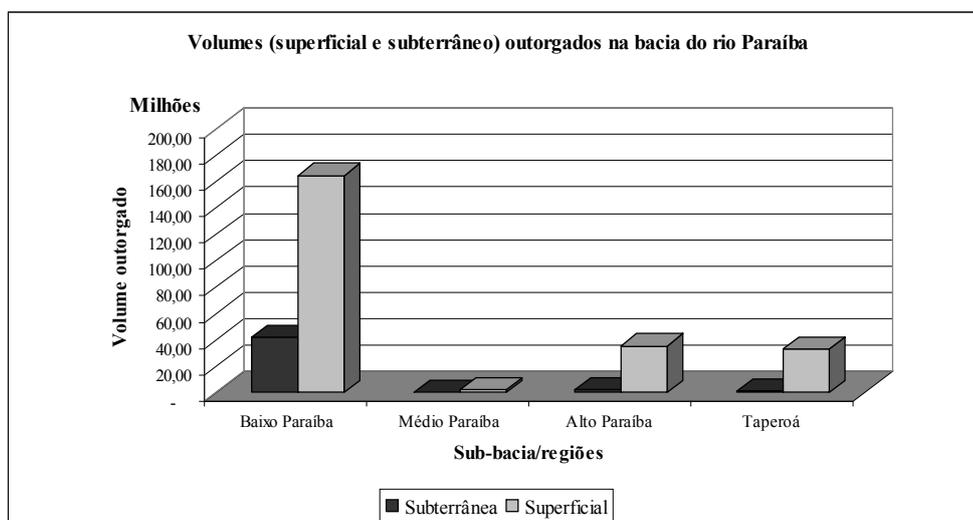


Figura 15 – Volumes (superficial e subterrâneo) outorgados pela AESA na Bacia do rio Paraíba por sub-bacia/região hidrográfica (AESA, 2008b).

Atenta-se, de acordo com a Figura 15, para o elevado volume de água superficial outorgado na Região do Baixo Curso do rio Paraíba em relação às outras regiões (206.265.800,13 m³ o que corresponde a 73,72%). A Região do Médio Curso do rio Paraíba participa com o menor volume outorgado, cerca de 2.318.206,26 m³, o que corresponde a 0,83% do volume total outorgado.

Ainda da Figura 15, percebe-se que o volume de água subterrânea outorgado é considerado baixo em todas as regiões, exceto na Região do Baixo Curso do rio Paraíba que perfaz um total de 41.670.025,09 m³ (91,87% do total de água subterrânea outorgada).

Apresenta-se, na Figura 16, o número de outorgas (superficial e subterrânea) emitidas na Região do Baixo Curso do rio Paraíba separadas por setor usuário. Observa-se que a irrigação é o maior demandante de água superficial, com 166 outorgas, enquanto que o abastecimento humano é o maior demandante de água subterrânea, com 89 outorgas. A Região do Baixo Curso do rio Paraíba totalizou 508 outorgas, sendo 231 de água subterrânea (45%) e 277 de água superficial (55%).

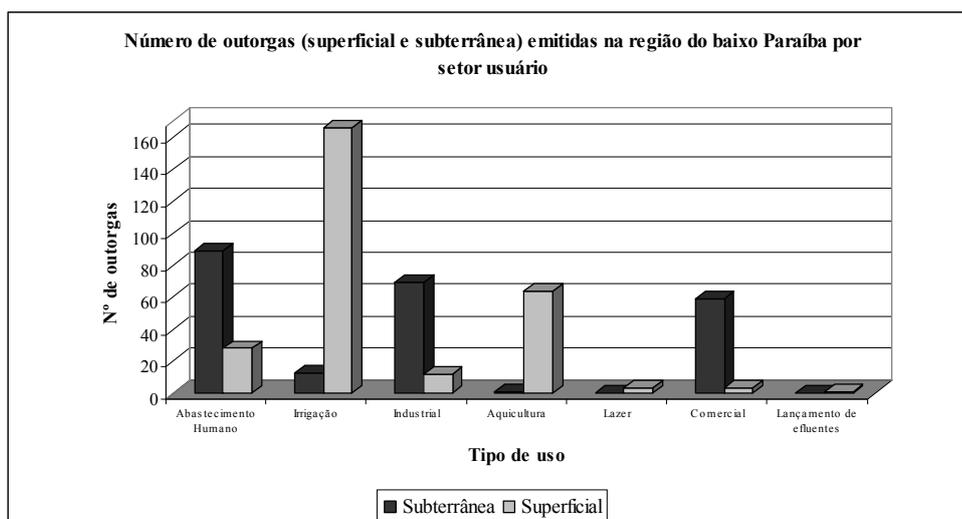


Figura 16 – Número de outorgas (superficial e subterrânea) emitidas na Bacia do rio Paraíba por setor usuário (AESAs, 2008).

Ressalta-se ainda, o número de outorgas de águas subterrâneas pelo setor industrial (69 outorgas) e comercial (59 outorgas) na Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

Para os usos de lazer e lançamento de efluentes, a AESA não emitiu nenhuma outorga de água subterrânea na Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

Em relação aos volumes outorgados na Região do Baixo Curso do rio Paraíba por setor usuário (Figura 17), percebe-se que o maior volume de água subterrânea outorgado foi para o

setor de abastecimento humano, com 35.835.990,34 m³, superando até o volume de água superficial outorgada para o mesmo setor 30.376.716,20 m³.

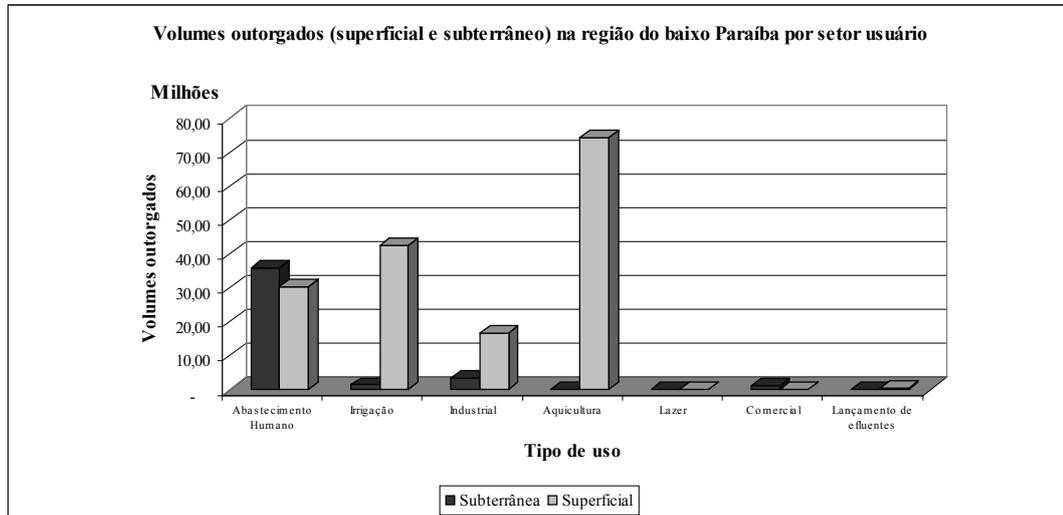


Figura 17 – Volumes (superficial e subterrâneo) outorgados pela AESA na Bacia do rio Paraíba por setor usuário (AESA, 2008b).

2.6 CRITÉRIOS DE OUTORGA DE RECURSOS HÍDRICOS

A definição de critérios para outorga dos direitos de uso da água passa, inicialmente, pela adoção de um valor de referência, que indicará o limite superior de utilização do curso d'água. Este limite objetiva assegurar o atendimento às demandas de prioridade superior e ao mesmo tempo assegurar o atendimento à demanda ecológica (Pereira & Lanna, 1996).

A forma como vem sendo aplicada a outorga pelo uso da água ocorre com a fixação de um valor de referência que limita a utilização superior do recurso. Normalmente, este valor de referência tem sido fixado em função da vazão mínima média, com 7 dias consecutivos de duração e tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) ou de uma vazão de garantia, tendo sido adotadas as garantias de 90% e 95%, como pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 – Critérios estaduais de outorga baseados em vazões mínimas e de permanência.

UF	Limite máximo outorgável	Legislação
Alagoas	90% da $Q_{90\%}$	Decreto n°. 06/01
Bahia	80% da $Q_{90\%}$ diário se não há barramento; 80% da $Q_{90\%}$ regularizada por barramentos em mananciais perenes; 95% da $Q_{90\%}$ regularizada por barramentos em mananciais intermitentes ou com fins ao abastecimento humano; Máximo de 20% da vazão referencial para cada usuário individual.	Decreto n°. 6.296/97
Ceará	90% da $Q_{90\%}$ regularizada quando há barramento 33% da $Q_{90\%}$ regularizada em lagos ou lagoas	Decreto n°. 23.067/94
Distrito Federal	80% da ($Q_{90\%}$ ou $Q_{7,10}$ ou Q_{ml})	Decreto n°. 22.359/01
Goiás	70% da $Q_{95\%}$	Resolução SEMARH n° 09/2004
Mato Grosso	20% da $Q_{7,10}$ para irrigação	Resolução CERH °. 03/03
Minas Gerais	30% da $Q_{7,10}$	Portaria IGAM n°. 10/98
Paraíba	90% da $Q_{90\%}$ regularizada anual	Decreto n°. 19.260/97
Paraná	50% da $Q_{95\%}$	Decreto n°. 4.646/2001
Rio de Janeiro	50% da $Q_{7,10}$	Portaria SERLA n°. 307/02
Rio Grande do Norte	90% da $Q_{90\%}$	Decretos n°. 13.283/97 e 13.284/97
Rondônia	30% da $Q_{7,10}$	Não há legislação específica
São Paulo	50% da $Q_{7,10}$	Lei n°. 9.034/94
Sergipe	90% de $Q_{90\%}$; Máximo de 30% da $Q_{90\%}$ para cada usuário individual.	Resolução CONERH n°. 01/2001

Fontes: Lima *et al.* (2005); Mendes (2007).

Mendes (2007) afirma que há certo caráter de comodidade na adoção da $Q_{7,10}$ como vazão de referência, por ser um valor já tradicionalmente usado em dimensionamento de projetos. Todavia é um critério que, para fins de alocação de água, não considera os aspectos ambientais, que refletem as necessidades dos organismos do ecossistema aquático, tampouco os aspectos sócio-econômicos da bacia hidrográfica. Assim como os estados que tomam a vazão de permanência como base para a vazão outorgável não apresentam em suas leis as justificativas que levaram à escolha dos respectivos percentis, ou mesmo das parcelas destes percentis, evidenciando ser este também um critério essencialmente prático que não considera as especificidades naturais, sociais e econômicas de cada bacia hidrográfica.

É importante observar que, as vazões mínimas são obtidas em períodos de estiagem, nos quais as vazões nos corpos hídricos superficiais são resultantes, em sua maioria, da descarga subterrânea (considerando que nesse período o curso d'água esteja sob condição efluente). Portanto, pode-se depreender que, quando se outorga água superficial e se utiliza o critério das vazões mínimas está se outorgando, na verdade, grande quantidade de água subterrânea.

Dentro deste enfoque, surge a necessidade da gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, os quais constituem, na realidade, um único recurso. Neste contexto ressalta-se a dissertação de Silva (2007), o qual realizou uma análise integrada de retiradas de água superficial e subterrânea na bacia hidrográfica do Alto rio Parnaíba, utilizando um modelo hidrológico distribuído de simulação de processos de transformação chuva-vazão em grande escala. Diferentes cenários de usos foram simulados e, por meio deles, foram geradas curvas relacionando máximos percentuais de uso de água superficial e subterrânea com seus impactos sobre as vazões mínimas no rio. O autor conclui que a máxima quantidade de água subterrânea que poderia ser retirada da bacia é inferior à recarga estimada do aquífero, para um nível de impacto sobre a vazão no rio atualmente considerado aceitável de acordo com a legislação.

Baseando-se na Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997), a Resolução nº. 16/01 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2001) estabelece como critérios gerais para outorga de recursos hídricos a observância dos planos de recursos hídricos e em especial: i) as prioridades de uso estabelecidas; ii) a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, em consonância com a legislação ambiental; iii) a preservação dos usos múltiplos previstos e; iv) a manutenção das condições adequadas ao transporte aquaviário, quando couber.

Ao estabelecerem suas legislações referentes à outorga de recursos hídricos quase todos os estados brasileiros optaram por instituir os mesmos critérios gerais de outorga dispostos na Lei

Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) e na Resolução CNRH nº. 16/01 (CNRH, 2001) acima citadas. É o caso dos estados do Acre, Alagoas, Amapá, Amazonas, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Piauí, Rio de Janeiro, Rondônia, Sergipe e Tocantins.

Em relação ao estado da Paraíba, o Decreto nº. 19.260/97 (PARAÍBA, 1997), que regulamenta a outorga, traz como condicionantes para a outorga – que se pode também chamar de critérios – os seguintes:

- Disponibilidade hídrica;
- Prioridades de uso;
- Comprovação de que o uso de água não cause poluição ou desperdício dos recursos hídricos;
- A soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder 9/10 da vazão regularizada anual com 90% de garantia.

Vieira & Ribeiro (2007) criticam que, no documento PERH-PB (AESAs, 2006) não são definidos os critérios e regras de alocação de água entre os diversos usuários, nem as diretrizes, critérios e prioridades para a concessão das outorgas de direitos de uso de recursos hídricos, nas diferentes bacias hidrográficas do estado.

Recentemente vários trabalhos têm sido publicados sobre o tema critérios de outorga de recursos hídricos. Arnéz (2002) apresenta o desenvolvimento de metodologia para a avaliação de critérios de outorga do uso da água na Bacia do rio Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, baseada na probabilidade de ocorrência de rendimentos líquidos não negativos. O trabalho conclui que a adoção de um sistema de outorgas conduz a um melhor aproveitamento dos recursos hídricos e que a adoção de um único critério para a outorga só pode ser justificada pela facilidade de determinação e fiscalização (as cotas hídricas outorgadas seriam únicas ao longo do tempo), uma vez que esse tipo de critério não leva em consideração as variações das disponibilidades hídricas de cada sub-bacia.

Camara (2003) avaliou a dificuldade de definição da máxima vazão outorgável na Bacia Hidrográfica do rio Gramame-PB analisando os critérios de outorga de: vazão excedente, garantia de suprimento, vazão de referência com probabilidade de superação de 90%, vazões de referências distintas para estações secas e chuvosas e vazões de referências distintas para os 12 meses do ano. Considerando a prioridade do atendimento das demandas para abastecimento

humano, o critério mais aconselhável é de vazão excedente, seguido por vazões de referências mensais, vazões de referências sazonais, vazão de referência única e garantia de suprimento.

A partir de sugestões de critérios de outorga e cobrança, no intuito de preencher uma lacuna metodológica existente nas práticas brasileiras de gestão de recursos hídricos subterrâneos Freire (2002) aplicou um modelo de simulação/otimização no Aquífero dos Ingleses, localizado no litoral de Santa Catarina, com o objetivo de auxiliar os órgãos gestores dos recursos hídricos em suas “tomadas de decisão”, quando estas se referirem à gestão da água subterrânea. Os resultados demonstraram a grande utilidade desta ferramenta como base para a emissão de outorgas e referência para a cobrança de águas subterrâneas.

Mendes (2007) analisou os critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e vazões de permanência. O autor identificou imprecisões associadas à $Q_{7,10}$ e às vazões de permanência em vários aspectos, bem como as inconveniências de se fixar um teto único e universal de outorga a perfis de demandas distintos. Por fim, sugeriu-se o abandono destes critérios de outorga e a adoção da outorga negociada.

Cruz & Silveira (2007a e 2007b) apresentam uma caracterização e uma proposição de critérios de definição de disponibilidade hídrica para utilizar no processo de outorga de direito de uso das águas. Primeiramente, avaliou-se a disponibilidade hídrica em uma determinada seção hidrológica de referência, considerando os aspectos de quantidade (curvas de permanência) e qualidade (diluição das cargas nos diferentes percentis de vazões). Os resultados mostraram o uso mais eficiente da água com maiores volumes outorgáveis, devido à avaliação sazonal da disponibilidade hídrica. No segundo estudo, a disponibilidade hídrica considera a integração, em nível de bacia, dos usos múltiplos da água e sua interdependência de montante para jusante e de jusante para montante, através do balanço hídrico de volumes. Desta forma, trechos com balanços superávit ou déficit hídrico podem ser compensados promovendo o uso racional de água.

2.6.1 CRITÉRIOS DE OUTORGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

No caso do estabelecimento de critérios de outorga para águas subterrâneas não há uma metodologia específica de análise consolidada para todas as autoridades outorgantes brasileiras. Alguns dos estados analisam esses pedidos de outorga por meio dos testes de bombeamento dos poços, outros em função da média da capacidade específica dos aquíferos, mas a maior parte se

preocupa com a tomada de precauções por parte do usuário quanto à qualidade da água de modo a evitar a contaminação do aquífero (ANA, 2007).

A ANA (2007) recomenda que sejam desenvolvidas metodologias e critérios de análise de pedidos de outorga considerando os aspectos técnicos em termos de disponibilidade hídrica, além de suas inter-relações com as águas superficiais. Propõe ainda, a agregação de outras entidades, como as concessionárias de energia elétrica e as empresas perfuradoras de poços, na busca à regularização dos usuários de águas subterrâneas. Por fim, indica a articulação entre as autoridades outorgantes de recursos hídricos e o DNPM no caso de águas minerais.

Realizou-se uma pesquisa nas legislações de todos os estados brasileiros em busca dos critérios de outorga de águas subterrâneas (Tabela 4) atualmente praticados ou dispostos em leis, decretos, resoluções, portarias, etc. Alguns estados como Espírito Santo e Minas Gerais adotam critérios de águas subterrâneas bem subjetivos, a exemplo de fatores econômicos e sociais. Outros estados como Alagoas, Ceará, Distrito Federal, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rondônia e Sergipe adotam critérios que enfatizam o poço, como vazão nominal de teste do poço e interferência entre poços.

Tabela 4 – Critérios de outorga de águas subterrâneas presentes nas legislações estaduais.

Estado	Número da norma	Título	Critérios de outorga de águas subterrâneas
Alagoas	Decreto nº. 6/01	Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos prevista na Lei nº 5.965 de 10 de novembro de 1997.	Capacidade de recarga do aquífero fundamentada em estudo hidrogeológico específico
			Interferência provocada pelo poço ou poços circunvizinhos
Ceará	Decreto nº. 23.067/94	Regulamenta o artigo 4º da Lei nº 11. 996, de 24 de julho de 1992, na parte referente à outorga do direito de uso dos recursos hídricos.	Vazão nominal de teste do poço
	Decreto nº. 23.068/94	Regulamenta o controle técnico das obras de oferta hídrica e dá outras providências.	Capacidade de recarga do aquífero
Distrito Federal	Decreto nº. 22.018/01	Dispõe sobre a outorga e a cobrança pelo direito de uso da água subterrânea no território do Distrito Federal.	Apresenta uma classificação de poços quanto à profundidade e quanto à vazão nominalmente de teste
			Potencial do respectivo aquífero
	Decreto nº. 22.358/01	Dispõe sobre a outorga de direito de uso de água subterrânea no território do Distrito Federal.	Estudos hidrogeológicos existentes
Espírito Santo	Lei nº. 6.295/00	Dispõe sobre a administração, proteção e conservação das águas subterrâneas do domínio do Estado e dá outras providências.	Vazão nominal de cada poço tubular
			Vazão de segurança de cada subsistema aquífero
			Características hidrogeológicas de cada subsistema aquífero
Goiás	Lei nº. 13.583/00	Dispõe sobre a conservação e proteção ambiental dos depósitos de água subterrânea no Estado de Goiás.	Objetivos do Plano Estadual de Recursos Hídricos
			Fatores econômicos
			Fatores sociais
Mato Grosso	Lei nº. 8.097/04	Dispõe sobre a Administração e a Conservação das Águas Subterrâneas.	Características hidrogeológicas dos diversos aquíferos susceptíveis de aproveitamento
			Estudos hidrogeológicos
Minas Gerais	Lei nº. 13.771/00	Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado.	Projetos de obras de captação
			Fatores econômicos
Paraíba	Decreto nº. 19.260/97	Regulamenta a Outorga do Direito de Uso dos Recursos Hídricos.	Fatores sociais
			Vazão nominal de teste do poço
			Capacidade de recarga do aquífero

Estado	Número da norma	Título	Crítérios de outorga de águas subterrâneas
Paraná	Lei n.º. 12.726/99	Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e adota outras providências.	Estudos hidrogeológicos para avaliação do potencial de suas reservas hídricas
Pernambuco	Lei n.º. 11.427/97	Dispõe sobre a conservação e a proteção das águas subterrâneas no Estado de Pernambuco e da outras providências.	Condições de explotabilidade dos diversos aquíferos Estudo hidrogeológico para avaliação das disponibilidades hídricas e do não comprometimento da qualidade da água do aquífero a ser explorado (para grandes volumes)
	Portaria SRH n.º. 21/00	Estabelece critérios e procedimentos técnicos para a determinação da vazão de água subterrânea a ser outorgada para os diversos fins.	Teste de produção contínuo, com vazão constante e duração não inferior a 24 (vinte e quatro) horas, seguido de recuperação de no mínimo 1 (uma) hora (para regiões consideradas superexplotadas)
	Portaria SRH n.º. 25/00	Estabelece distância mínima entre poços tubulares nas Bacias Sedimentares Costeiras de Pernambuco, define critérios e limites para captação de água subterrânea.	Teste de produção escalonado em múltiplos estágios, sem estabilização de nível, constituído de 3 (três) escalões e duração não inferior a 24 (vinte e quatro) horas Distância mínima de 500 metros, a partir da localização de poços já regularizados
	Resolução CRH n.º. 4/03	Dispõe sobre a conservação e proteção das águas subterrâneas no Estado.	Vazão máxima outorgável Mapa de Zoneamento Explotável dos Aquíferos da Região Metropolitana do Recife
			Tabela de consumo Médio Diário de Água
Piauí	Decreto n.º. 11.341/04	Regulamenta a outorga preventiva de uso e a outorga de direito de uso de recursos hídricos do Estado do Piauí, nos termos da Lei n.º. 5.165, de 17 de agosto de 2000.	Planejamento do uso do aquífero Reserva explotável do aquífero Disponibilidade real do poço
Rio de Janeiro	Portaria SERLA n.º. 567/07	Estabelece critérios gerais e procedimentos técnicos e administrativos para cadastro, requerimento e emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio do estado do Rio de Janeiro.	Os aspectos quantitativos da vazão de extração nos locais indicados para explotação Interferência entre poços tubulares A vazão máxima sustentável de um poço tubular
Rio Grande do Norte	Decreto n.º. 13.283/97	Regulamenta o inciso III do art. 4º da Lei n.º. 6.908, de 01 de julho de 1996, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos.	Capacidade de recarga do aquífero, prevista em portaria, fundamentada em estudo hidrogeológico específico Interferência provocada pelo poço em poços circunvizinhos Múltiplos usos

Estado	Número da norma	Título	Critérios de outorga de águas subterrâneas
Rio Grande do Sul	Decreto n°. 42.047/02	Regulamenta disposições da Lei n° 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul.	Prioridades de uso
			Fatores econômicos e sociais
			Áreas de proteção dos aquíferos
Rondônia	Portaria n°. 38/GAB/SEDAM/04.	Aprova as Normas e os Anexos de I a XV, que disciplinam o uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do Estado de Rondônia.	Estudo de Avaliação Hidrogeológica
			Relatório final de execução do poço
			Relatório de avaliação do uso da água
São Paulo	Lei n°. 6.134/88	Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências.	Estudos hidrogeológicos para a avaliação das reservas e do potencial dos recursos hídricos
Sergipe	Decreto n°. 18.456/99	Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos, de domínio do Estado, de que trata a Lei n° 3.870, de 25 de setembro de 1997.	Planejamento do uso do aquífero
			Reserva explotável do aquífero
			Disponibilidade real do poço
Sergipe	Resolução n°. 03/2002	Dispõe sobre critérios para a outorga de direito de uso de recursos hídricos subterrâneos nas regiões de Aracaju e São Cristóvão.	Teste recente de produção contínua, com vazão constante e duração não inferior a 24 horas, seguido de recuperação de, no mínimo, 1 hora
			Relatório técnico: perfil geológico e construtivo do poço, metodologia do teste, equipamentos utilizados, vazão máxima permissível, vazão máxima recomendável, considerações técnicas quanto ao risco geotécnico de colapso e subsidência, nível estático e nível dinâmico
Tocantins	Lei n°. 1.307/02.	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências.	Conveniência técnica, econômica e sanitária
			Preservação da qualidade das águas subterrâneas

Alguns estados merecem destaque no que diz respeito à gestão das águas subterrâneas e introdução de critérios de outorga para melhor alocação destes recursos, como pode ser visto nos itens a seguir:

2.6.1.1 O estado de Pernambuco

A intensa exploração de água subterrânea na Região Metropolitana do Recife, a partir da década de 70, gerou um processo de rebaixamento generalizado dos níveis potenciométricos que se mostrou muito superior às previsões iniciais estabelecidas por estudos anteriores (Costa *et al.*, 1998). Desde então diversos trabalhos foram realizados tendo como foco as águas subterrâneas nessa região e seu uso sustentável.

Em agosto de 1998, foi publicado o Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife (HIDROREC), com objetivo de realizar um levantamento bibliográfico e cartográfico com posterior cadastramento e localização das obras hídricas das unidades de planejamento na região costeira sul do estado de Pernambuco (Costa *et al.*, 1998).

Já em junho de 2002 foi publicado o HIDROREC II, agora atingindo uma área maior de estudo e tendo como objetivo geral, atualizar os conhecimentos hidrogeológicos da área, tendo em vista o grande número de novos poços executados, decorrente de um período de escassez de águas superficiais na região. Como objetivos específicos do estudo podem-se citar: a atualização do cadastro de poços, a reavaliação do balanço de entradas e saídas do sistema hídrico subterrâneo e a execução de um “zoneamento de exploração das águas subterrâneas” (Costa, 2002).

Pode-se citar como resultado dos estudos acima, o Mapa de Zoneamento Explotável de águas subterrâneas na Região Metropolitana de Recife (Figura 18), o qual serviu de base para a Resolução nº. 04/2003 do Conselho de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco (CRH/PE, 2003), a qual dispõe sobre a conservação e proteção das águas subterrâneas do estado.

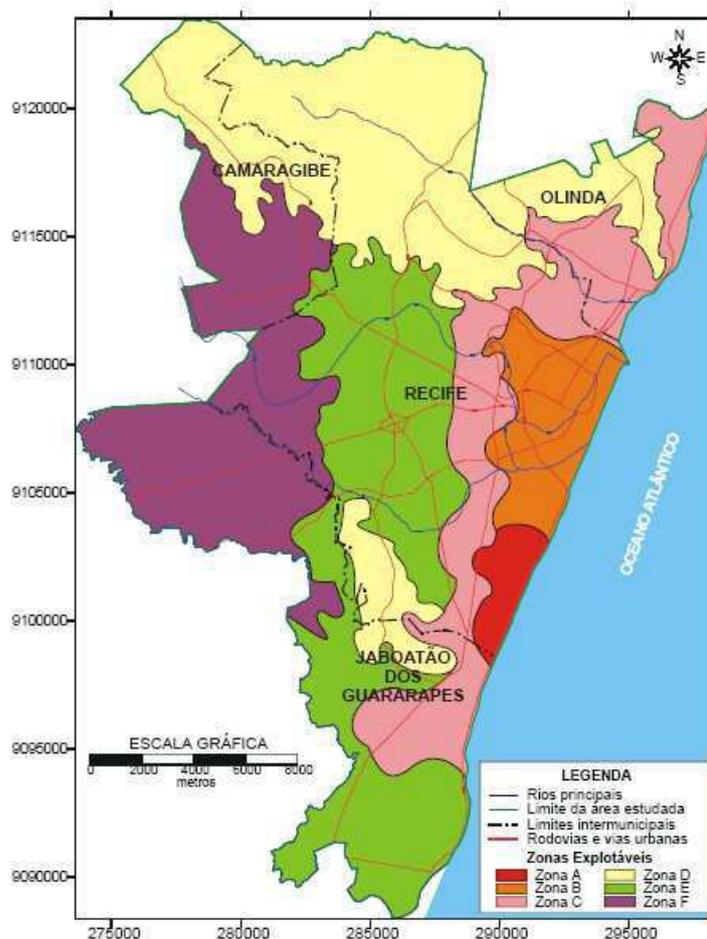


Figura 18 – Mapa de Zoneamento Explotável de Água Subterrânea nos Municípios de Recife, Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Camaragibe.
Fonte: Costa (2002).

O Quadro 1 mostrado a seguir ajuda a entender o mapa da Figura 18.

Quadro 1 – Legenda explicativa do mapa da Figura 18 (Costa, 2002).

ZONA	AQUÍFERO	RESTRIÇÕES DE USO DO POÇO
A	Cabo	Poços novos: não deve ser perfurado nenhum Poços existentes: reduzir a vazão em 50%
B	Cabo e Beberibe	Poços novos: vazão outorgada limitada em 30 m ³ /dia Poços existentes: reduzir a vazão em 30%
C	Cabo e Beberibe	Poços novos: vazão outorgada limitada em 60 m ³ /dia Poços existentes: reduzir a vazão em 15%
D	Barreiras	Poços novos: vazão outorgada limitada em 70 m ³ /dia Poços existentes: sem restrições atualmente
E	Cabo e Beberibe	Poços novos: vazão outorgada limitada em 100 m ³ /dia Poços existentes: sem restrições atualmente
F	Fissural	Poços novos: vazão condicionada a capacidade do poço Poços existentes: sem restrições atualmente

2.6.1.2 O estado de São Paulo

Na Constituição do Estado de São Paulo (Art. 206), as águas subterrâneas são consideradas como reservas estratégicas para o desenvolvimento econômico-social e valiosa para o suprimento de água às populações, devendo ter programa permanente de conservação e proteção contra poluição e superexploração, com diretrizes estabelecidas por lei (FIESP, 2005).

O estado de São Paulo foi pioneiro na implementação de leis relativas a recursos hídricos e águas subterrâneas através da Lei nº. 6.134/88 que dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do estado (SÃO PAULO, 1988). Dentre outros dispositivos, estabelece a necessidade de elaboração de programas permanentes de conservação, a obrigatoriedade de cadastramento de todo poço perfurado. Além disso, a Lei Estadual nº. 7.663/91, que instituiu o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 1991), atribuiu responsabilidade ao DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica para o estabelecimento dos procedimentos de licenciamento e outorga do uso de águas subterrâneas e superficiais (FIESP, 2005).

Na Figura 19 pode-se visualizar os usos outorgados pelo DAEE até maio de 2007. Verifica-se que as águas subterrâneas perceberam com cerca de 33% das outorgas emitidas.

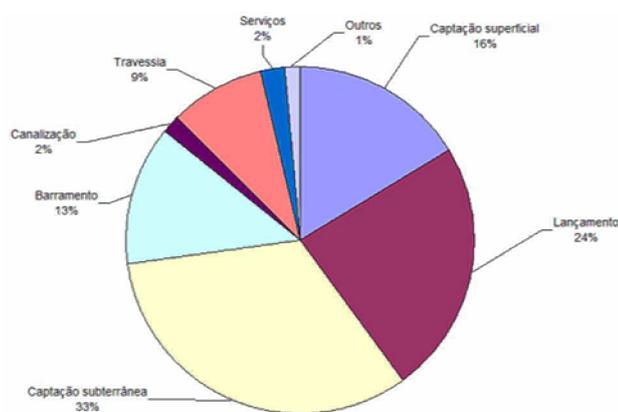


Figura 19 – Usos outorgados em 2007, até 31/05/2007 (DAEE, 2007).

A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA), buscando efetivar ações na melhoria da gestão ambiental, com resultados e transparência, traçou um programa de trabalho com 21 projetos, considerando os pontos fundamentais da dinâmica e fragilidades do meio ambiente em consonância com o desenvolvimento sustentável, de acordo com as prioridades da sociedade paulista (Iritani & Ezaki, 2008).

Dentre os projetos trabalhados tem-se o Projeto Aquíferos, o qual visa promover a proteção da água subterrânea no estado de São Paulo, criando mecanismos de controle e restrição, e propiciar condições de uso sustentável deste recurso. Coordenado pelo Instituto Geológico, e com o envolvimento dos diversos órgãos preocupados com a água subterrânea, as diretrizes deste projeto enfocam a divulgação de informações, mecanismos técnicos e legais de gestão, pesquisa e capacitação (Iritani & Ezaki, 2008).

Um dos exemplos de sucesso de projeto foi o que resultou no Mapa de Vulnerabilidade e Risco de Poluição das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo, finalizado em 1997 e desenvolvido em parceria com a CETESB e o DAEE. Os resultados deste projeto subsidiaram, e ainda subsidiam, a priorização de estudos e pesquisas em áreas identificadas como críticas quanto ao risco potencial de poluição das águas subterrâneas (Iritani & Ezaki, 2008).

2.6.1.3 O estado do Paraná

Através do seu Departamento de Águas (DASB) a Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA) montou um Banco de Dados Hidrogeológicos constituído pelo cadastramento de aproximadamente 6.000 poços distribuídos entre todos os aquíferos do estado. Esta informação permite estimar vazões potenciais médias para os diferentes aquíferos, servindo estes valores médios, como ponto de partida para os pareceres técnicos a serem emitidos pelo Departamento de Gestão de Recursos Hídricos (SUDERHSA, 2008).

Para regiões onde sejam identificados conflitos do uso, por excesso de poços em bombeamento ocasionando interferência entre si, são limitadas as vazões a serem outorgadas de acordo com a disponibilidade local, a qual é determinada pelo monitoramento contínuo de nível e vazão. Nestes casos também é estabelecido um raio mínimo de interferência, dentro do qual não é permitida a perfuração de novos poços (SUDERHSA, 2008).

A outorga de vazões significativas, em relação ao potencial aquífero existente, como por exemplo, para abastecimento público, irrigação de porte, abastecimento industrial, etc., são emitidas de forma provisória (menor prazo e revogável a qualquer momento) a serem confirmadas pelo estabelecimento do balanço hídrico local da bacia com a determinação da recarga real do aquífero. A viabilização do estabelecimento do balanço hídrico local de uma bacia é possibilitada mediante o aparelhamento da mesma através de uma rede Plúvio-Flúvio-Piezométrica e Climatológica, e seu respectivo monitoramento (SUDERHSA, 2008).

CAPÍTULO III – CASO DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo desta pesquisa corresponde à porção da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco inserida na Região do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, a leste do estado da Paraíba. Configura-se como uma das regiões mais desenvolvidas do estado, uma vez que abrange municípios com grande expressividade econômica, como Cabedelo, João Pessoa e Santa Rita, cujos PIBs *per capita* estão entre os dez maiores do estado (IBGE, 2005).

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba é um dos sistemas hidrográficos mais importantes do semi-árido nordestino e a segunda maior bacia do estado, compreendendo cerca de 38% do território estadual, drenando uma área de 20.127,17 km² (AESAs, 2006). A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba e suas subdivisões podem ser visualizadas na Figura 20.

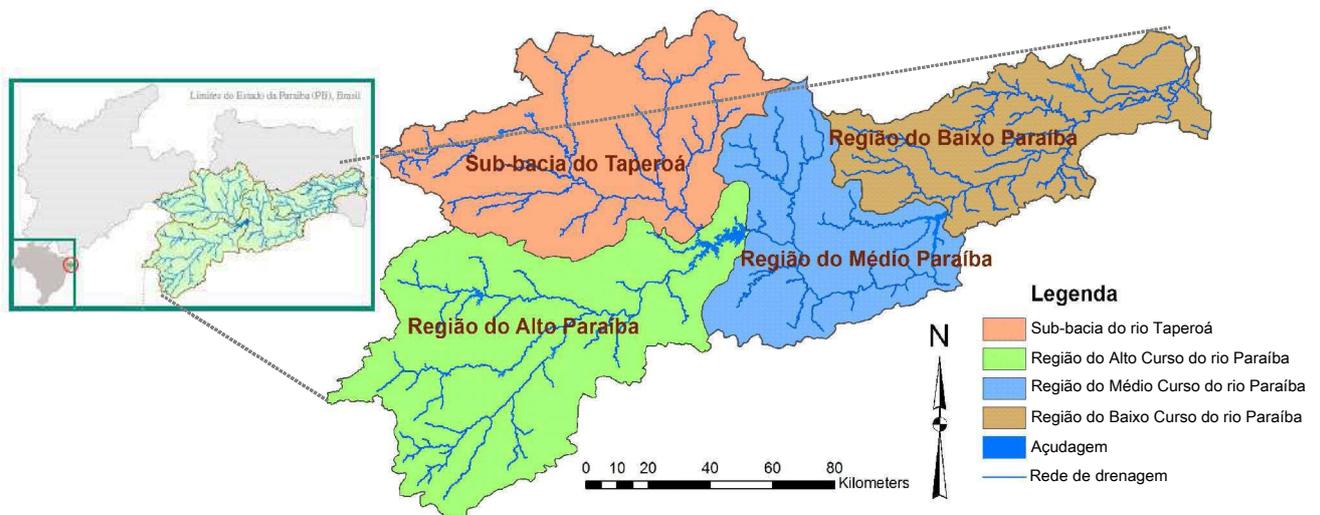


Figura 20 – Bacia Hidrográfica do rio Paraíba (Cordão e Ideião, 2008).

Divide-se em Sub-bacia do rio Taperoá e regiões correspondentes ao Alto, Médio e Baixo Curso do rio Paraíba. As nascentes do rio principal ficam na mesorregião da Borborema (microrregião do Cariri Ocidental) denominando-se inicialmente de rio Umbuzeiro, e nas proximidades do município de Camalaú, dá origem ao rio Paraíba. Deságua no Oceano Atlântico no município portuário de Cabedelo (AESAs, 2006).

A Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco (Figura 21) localiza-se na região litorânea do Nordeste Brasileiro, ocupando o litoral dos estados do Rio Grande do Norte,

Paraíba e Pernambuco, limitando-se ao Norte pelo Alto de Touros e ao Sul pelo Alto de Maragogi (AESAs, 2006; Costa *et al.*, 2007).

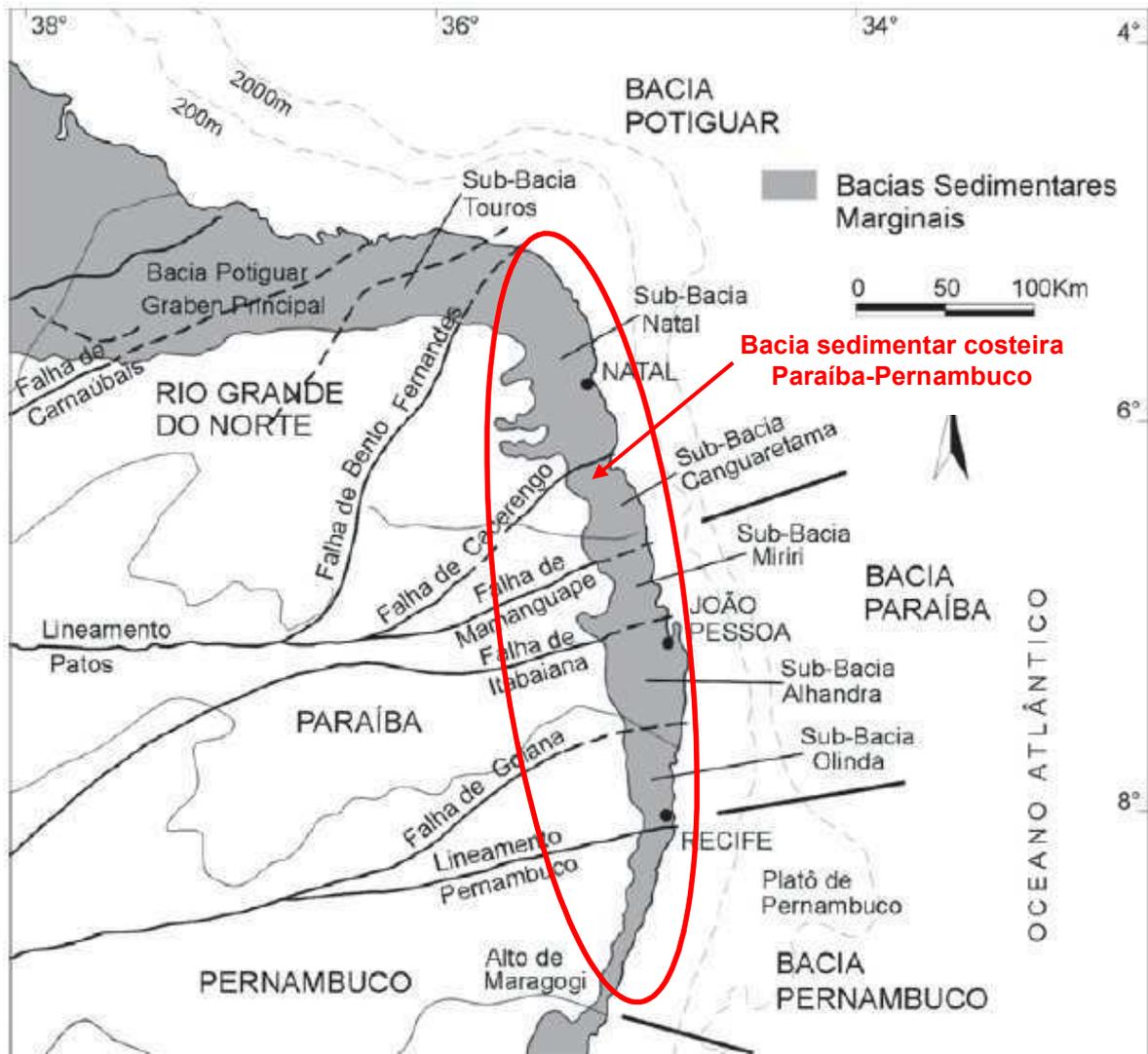


Figura 21 – Destaque da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco (Barbosa *et al.*, 2003).

Todas as formações ocorrentes na faixa costeira constituem aquíferos de importância hidrogeológica maior ou menor, variável em função da composição litológica e das características dimensionais e hidromecânicas de cada formação (AESAs, 2006; Costa *et al.*, 2007).

Trata-se de uma feição geológica gerada durante os mesmos processos tectônicos que originaram a bacia do Cabo, no Eocretáceo, sendo a última porção do continente a se separar da África durante a abertura do Oceano Atlântico (AESAs, 2006).

A porção da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco inserida na Região do Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba (Figura 22) está compreendida dentro dos limites das coordenadas 35°21'29" e 34°48'43" Sul e 6°55'6" e 7°24'55" ao Oeste de Greenwich. Possui uma

área de 1.157,92 km² abrangendo os seguintes municípios (total ou parcialmente inseridos): Bayeux, Cabedelo, Cruz do Espírito Santo, Lucena, João Pessoa, Mari, Pedras de Fogo, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Sapé.

As atividades econômicas que se destacam na região são aquelas ligadas à indústria e ao agronegócio, principalmente da cana-de-açúcar, do abacaxi, do inhame, etc.

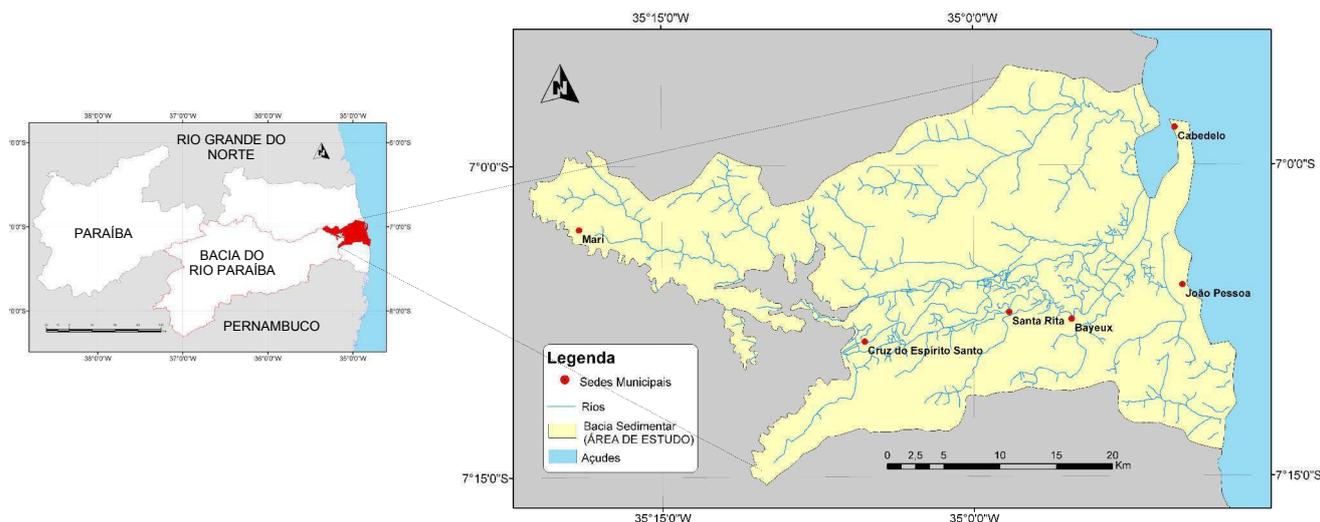


Figura 22 – Localização da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco pertencente à Região do Baixo Curso do rio Paraíba (área de estudo).

A Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco é drenada pelas seguintes bacias hidrográficas paraibanas:

- Bacia Hidrográfica do rio Guaju;
- Bacia Hidrográfica do rio Miriri;
- Bacia Hidrográfica do rio Mamanguape;
- Bacia Hidrográfica do rio Camaratuba;
- Bacia Hidrográfica do baixo curso do rio Paraíba;
- Bacia Hidrográfica do rio Abiaí;
- Bacia Hidrográfica do rio Gramame;

No entanto, nesta pesquisa, configura-se como caso de estudo apenas a porção da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco, inserida na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, mais especificamente na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, a qual será descrita nos itens seguintes com maiores detalhes.

Visando realizar o reconhecimento da área de estudo, procedeu-se visita técnica às formações geológicas, cursos d'água em escoamento de base e captações de águas subterrâneas por poços nos municípios de Cruz do Espírito Santo, Santa Rita, Bayeux, Cabedelo e João Pessoa, localizados na região do baixo curso do rio Paraíba. Os pontos visitados na área de estudo podem ser visualizados a seguir, na Figura 23.

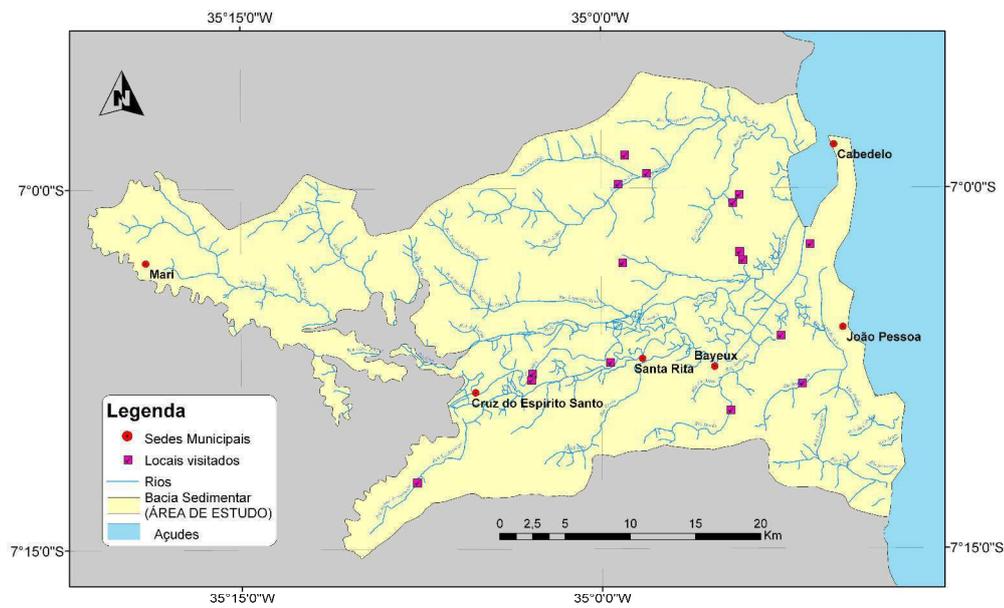


Figura 23 – Mapa dos pontos visitados na área de estudo.

Observou-se a exploração intensiva da água subterrânea por captações através de poços para irrigação de diversas culturas, principalmente para irrigação de extensas áreas de cana-de-açúcar.

3.2 ASPECTOS HIDRO-CLIMATOLÓGICOS

3.2.1 TEMPERATURA

As variações sobre a distribuição de temperatura, de acordo com a Tabela 5 e Tabela 7, são de 19,7 °C a 22,2 °C em relação aos valores mínimos, e 28,3 °C a 31,2 °C quando atingem valores máximos nos meses de janeiro e fevereiro. A temperatura média mensal anual está em torno dos 25,6 °C, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 5 – Distribuição temporal das médias das temperaturas mínimas mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
22,0	22,1	22,2	22,1	21,6	20,8	20,3	19,7	20,2	20,7	20,9	21,4	21,2

Fonte: UACA (2008).

Tabela 6 – Distribuição temporal das médias das temperaturas médias mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
26,7	26,8	26,7	26,3	25,5	24,6	23,8	23,9	24,8	25,7	26,3	26,5	25,6

Fonte: UACA (2008).

Tabela 7 – Distribuição temporal das médias das temperaturas máximas mensais e anual – Estação climatológica de João Pessoa (em °C).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
31,1	31,2	30,8	30,4	29,8	29,0	28,3	28,5	29,5	30,2	31,0	31,0	30,1

Fonte: UACA (2008).

3.2.2 UMIDADE RELATIVA DO AR

Em termos de valores médios anuais, a umidade relativa do ar medida nesta região varia de 76,7% a 84,8%, onde os valores máximos ocorrem entre os meses de junho e julho e os mínimos entre os meses de novembro e dezembro (Tabela 8).

Tabela 8 – Distribuição mensal da umidade relativa do ar – Estação climatológica de João Pessoa (em %).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
77,7	79,0	80,4	82,4	84,3	84,8	84,5	82,8	80,0	77,3	76,7	76,7	80,5

Fonte: UACA (2008).

3.2.3 INSOLAÇÃO

A insolação ao longo do ano apresenta uma variação, nos meses de janeiro a julho, de 7 a 8 horas diárias, e nos meses de agosto a dezembro, de 8 a 9 horas diárias (AESA, 2006).

Tabela 9 – Distribuição mensal da insolação global – Estação climatológica de João Pessoa (em horas).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
8,1	8,3	7,3	7,9	6,5	6,0	6,3	7,8	8,4	9,1	9,1	8,5

Fonte: UACA (2008).

3.2.4 PLUVIOMETRIA

Na região de estudo, os postos pluviométricos existentes estão apresentados na Figura 24.

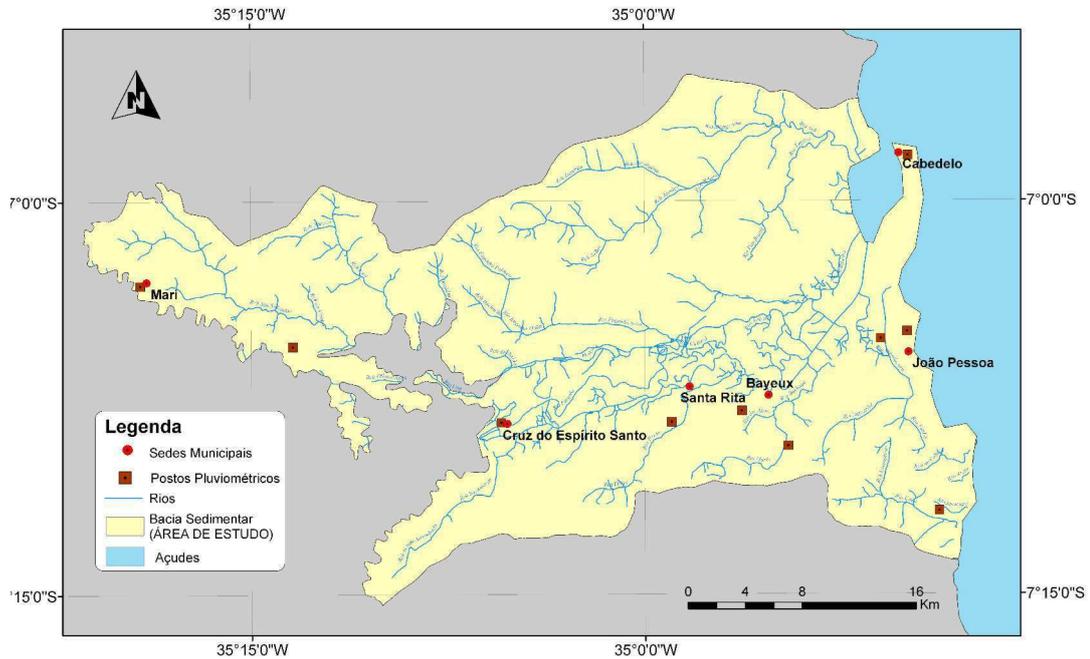


Figura 24 – Estações pluviométricas existentes na Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco pertencente à Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

No contexto da região litorânea, os dados pluviométricos indicam que a precipitação média anual é cerca de 1.500 mm, variando entre 1.200 e 1.700 mm, com valores decrescentes para o interior. Observa-se que a maior concentração do total precipitado ocorre nas áreas mais próximas do oceano, nas áreas costeiras (AESA, 2006). Segundo Costa *et al.* (2007), o desvio padrão dessas médias é de 400 mm/ano em quase toda a área da bacia sedimentar.

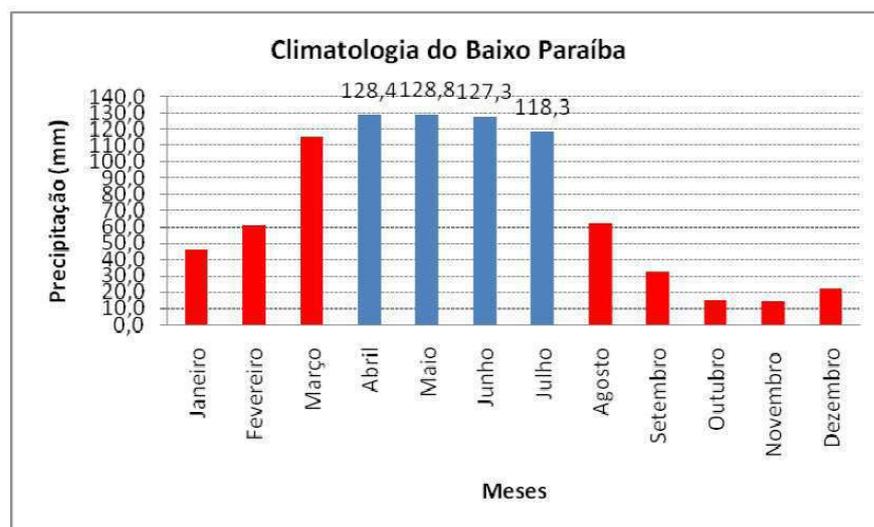


Figura 25 - Climatologia da Região do Baixo Curso do rio Paraíba (Araújo *et al.*, 2008).

De acordo com Araújo *et al.* (2008), o período chuvoso da Região do Baixo Curso do rio Paraíba acontece de abril a julho – representados pelas colunas em azul – e o período seco ocorre nos meses de setembro a dezembro e janeiro a março – representados pelas colunas em vermelho, como pode ser visualizado na Figura 25.

3.2.5 EVAPORIMETRIA

As perdas por evaporação de uma superfície d'água diretamente ao ar são medidas por várias metodologias, o Tanque Classe A é geralmente o método utilizado. A distribuição mensal destas perdas médias, em milímetros é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Distribuição mensal da evaporação – Estação climatológica de João Pessoa (em mm).

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
158,9	139,5	118,0	89,2	86,8	94,8	95,2	68,7	152,3	149,0	91,0	70,1	1.313,5

Fonte: Costa *et al.* (2007).

Percebe-se, de acordo com os dados obtidos a partir de Tanque Classe A (Tabela 10), que as maiores médias ocorrem entre os meses de janeiro a março e setembro a outubro, totalizando uma média anual de 1.313,5 mm.

Segundo o PERH-PB (AESAs, 2006) a evaporação anual na região indica valores entre 1.300 a 1.800 mm, com estes decrescendo do interior da região para o litoral.

Costuma-se comparar os dados de evaporação média mensal com os de precipitação média mensal para verificar se há déficit ou saldo no balanço hídrico de uma região ou bacia hidrográfica, o que remete a um equívoco sobre o seu potencial e as suas disponibilidades hídricas que seriam negativas quando os índices anuais de evaporação suplantassem os de precipitação. Na realidade, a equação do balanço hídrico se relaciona com a evapotranspiração real que é, sempre, uma parcela da precipitação e com o saldo convertendo-se em escoamento superficial e subterrâneo, mesmo que temporal. Sendo assim, a evaporação se relaciona com perdas de reservatórios e a evapotranspiração com a precipitação em bacias ou regiões hidrográficas (Costa *et al.*, 2007).

3.2.6 FLUVIOMETRIA

A rede fluviométrica do estado da Paraíba, de um modo geral, é bastante deficiente. O Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (SEMARH, 2001) aponta como um dos fatores que contribuíram para isto o fato de que a coleta de dados fluviométricos tinha como objetivo inicial a elaboração de inventários de avaliação dos potenciais hidroenergéticos em rios brasileiros.

Diante disto, as bacias do semi-árido nunca despertaram grande interesse em face do baixo potencial hidroenergético que apresentam, sendo a imensa maioria constituída por cursos d'água intermitentes, com rendimentos hídricos muito baixos, se comparados a outras regiões do país. Isso levou a um processo contínuo de restrição do número de postos fluviométricos em operação na região e a um baixo nível de aproveitamento dos dados fluviométricos coletados, acarretando numa massa de dados pouco consistentes, com elevada ocorrência de falhas (AESAs, 2006).

Na área que compreende a Bacia do rio Paraíba existem cinco estações fluviométricas com dados de vazão. Elas são citadas a seguir com seus respectivos códigos de identificação (AESAs, 2006):

- Caraúbas (38830000);
- Poço de Pedras (38850000);
- Bodocongó (38860000);
- Guarita (38880000);
- Ponte da Batalha (38895000).

Destes citados, os postos fluviométricos de Guarita e Ponte de Batalha inserem-se na Região do Baixo Curso do rio Paraíba. A seguir tem-se uma breve discussão sobre cada um deles.

Guarita

Está localizada na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, no município de Itabaiana, a jusante (cerca de 120 km) do açude Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão). Possui uma série disponível de dados de vazão que vai de janeiro de 1970 a dezembro de 2002 (ANA, 2003).

De acordo com o PERH-PB (AESAs, 2006) a vazão medida neste posto é fortemente influenciada pelo regime de operação do reservatório Epitácio Pessoa, visto que as vazões de jusante são inferiores as de montante no início dos períodos chuvosos.

Deve ser investigada a influência neste posto do recentemente construído açude Acauã, com capacidade de 253 milhões de m³. A seguir (Figura 26) encontram-se as vazões médias diárias e a curva de permanência do posto Guarita.

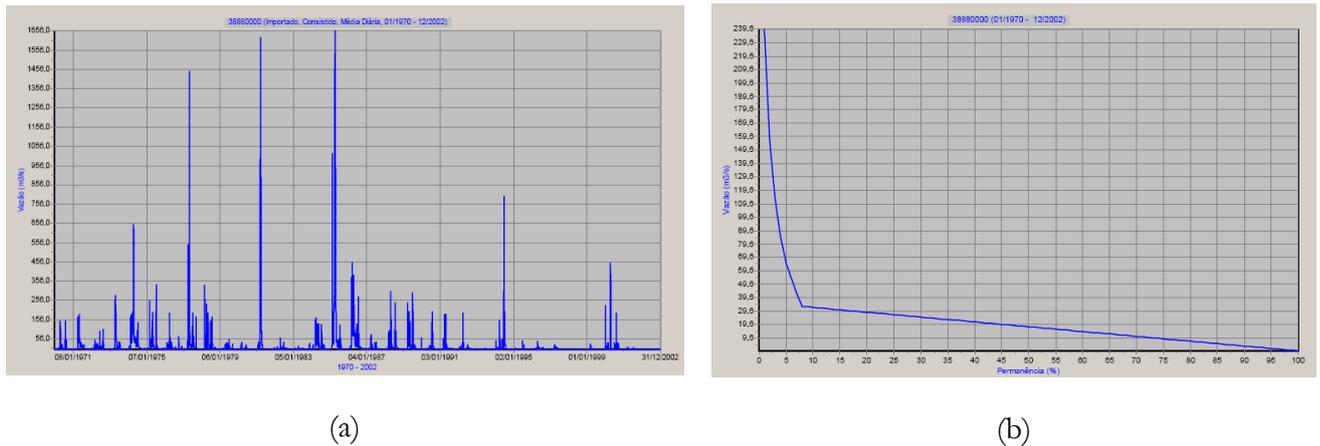


Figura 26 – (a) Vazões médias diárias do posto Guarita; (b) Curva de Permanência do posto Guarita (AESAs, 2006).

Ponte da Batalha

Está localizada na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, na área de abrangência da bacia sedimentar costeira caso de estudo, município de Cruz do Espírito Santo, possui uma série disponível de dados de vazão que vai de dezembro de 1969 a dezembro de 1997, (ANA, 2003).

A análise dos fluviogramas efetuada com as estações de Caraúbas, Bodocongó e Guarita, não constatou anormalidades nos valores diários, e a análise mensal realizada com as mesmas estações não apresentou inconsistências, o que resultou na conclusão de que as descargas geradas têm razoável nível de confiabilidade. Merece destaque o fato de que na área de contribuição do posto estão inseridas as bacias do posto Bodocongó e do posto Guarita, postos influenciados por reservatórios a montante (AESAs, 2006).

A seguir (Figura 27) encontram-se as vazões médias diárias e a curva de permanência do posto Ponte de Batalha.

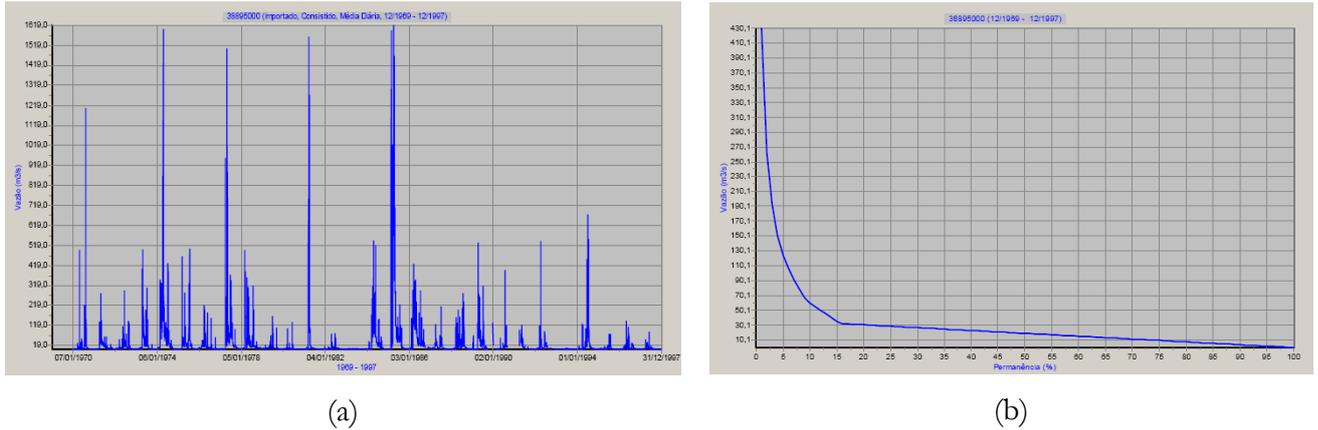


Figura 27 – (a) Vazões médias diárias do posto Ponte da Batalha; (b) Curva de Permanência do posto Ponte da Batalha (AESAs, 2006).

3.2.7 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

A classificação climática de uma região é realizada a partir de séries temporais dos elementos que compõem o clima, tais como: precipitação, temperatura, umidade, insolação, entre outros condicionantes climáticos. Estes dados são obtidos em postos e estações, observados e registrados ao longo do tempo (Costa *et al.*, 2007).

No domínio da área de estudo desta pesquisa localiza-se uma estação climatológica na capital do estado, na cidade de João Pessoa, cuja identificação e localização são as seguintes:

Quadro 2 – Estação climatológica localizada em João Pessoa.

Número	Estação	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste de Greenwich)	Altitude	Período
82798	João Pessoa	7° 7'	34° 53'	5 m	1961/1990

Fonte: Adaptado de Costa *et al.*, 2007.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a Região do Baixo Curso do rio Paraíba possui um 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 (AESAs, 2006).

3.3 MORFOLOGIA

3.3.1 RELEVO

O relevo da região é plano, predominando áreas de tabuleiro com vales rasos em forma de “U” (AESAs, 2006). As grandes unidades de relevo que ocorrem na área correspondente à Região do Baixo Curso do rio Paraíba são os Tabuleiros Costeiros, as Planícies Interioranas e Costeiras e a Baixada Litorânea, descritos a seguir por Costa *et al.* (2007).

O Tabuleiro Costeiro é uma unidade que ocupa quase toda a área da bacia a partir dos seus limites ocidentais, marcados, grosseiramente, pelo meridiano 35° 30', estendendo-se até a costa, onde se limita com a chapada Planície Costeira. Trata-se de um planalto, com o limite ocidental praticamente coincidindo com a curva de nível de 100 m, cota que domina a topografia da Bacia do rio Paraíba, atingindo um mínimo de 30 m próximo ao litoral, onde termina abruptamente sob a forma de falésias.

A Planície Costeira é uma unidade que ocorre na orla litorânea, com cotas médias de 3 m acima do nível do mar, estendendo-se desde as falésias limitantes com o Tabuleiro Costeiro até a linha da costa. É constituída por sedimentos depositados em ambiente misto, flúvio-marinho, de areias finas, siltes e argilas. Nesta unidade, as embocaduras dos rios estão afogadas, formando um ecossistema peculiar: o mangue, característico das costas de imersão.

A Baixada Litorânea caracteriza-se geralmente por praias estreitas e arenosas que formam pequenas enseadas, interrompidas pelo avanço do Baixo Planalto até o mar e pelos estuários dos rios que deságuam no Oceano Atlântico.

3.3.2 SOLOS

Os solos que ocorrem na bacia sedimentar costeira guardam uma estreita correlação com os caracteres geológicos, morfológicos e climáticos desta bacia, sendo os seguintes solos os mais representativos da região: os tipos Bruno não Cálcico, Litólico, Solonetz Solodizado, Regossolo e Cambissolo. Convém destacar, também, a ocorrência de solos Aluviais Eutróficos com textura arenosa, bem drenados e com ausência de pedregosidade (AESAs, 2006).

No domínio dos Tabuleiros Costeiros, os solos apresentam-se bem desenvolvidos com a formação de horizontes bem definidos, sendo o nível mais superficial relativamente espesso e rico em matéria orgânica vegetal. A constituição mineralógica é dependente do bed-rock (rocha-

mãe) do mesmo: onde o embasamento é o Grupo Barreiras, os solos são ricos em alumínio (argilas) e quartzo (areias) e onde a base são os sedimentos do Grupo Paraíba, os solos são ricos em alumínio e ferro (Formação Beberibe Inferior); alumínio, cálcio e magnésio (Formação Beberibe Superior); cálcio e magnésio (Formação Gramame). Deve-se destacar o intenso lixiviamento que afetou os solos cuja rocha-mãe é a Formação Beberibe, tornando-os altamente arenosos e de cor branca (Costa *et al.*, 2007).

3.3.3 COBERTURA VEGETAL

Na Região do Baixo Curso do rio Paraíba ainda existem algumas áreas com a vegetação nativa da Mata Atlântica e ecossistemas associados, ou seja, manguezais, campos de várzeas e formações mistas dos tabuleiros, cerrados e restingas. O restante da região tem sido desmatado para dar lugar a algumas culturas, como cana-de-açúcar, abacaxi, inhame e mandioca (AESAs, 2006; Costa *et al.*, 2007).

Os ecossistemas situados na faixa litorânea ou costeira, caracterizados como os mais complexos, tais como vegetação de praias e dunas, manguezais, mata de restinga, mata atlântica e zona de tensão ecológica já se encontram afetados pela ação antrópica. Os manguezais encontram-se bastante afetados pelo crescimento da capital, João Pessoa, e pela expansão das atividades de aquicultura, em especial da carcinicultura (AESAs, 2006; Costa *et al.*, 2007).

3.3.4 HIDROGRAFIA

A Região do Baixo Curso do rio Paraíba drena uma área de 3.940,45 km² e deságua no oceano Atlântico na cidade de Cabedelo, tendo como principal afluente o rio Paraíba (Costa *et al.*, 2007). Os rios dessa região caracterizam-se por serem intermitentes (quando correm sobre o cristalino) e perenes (quando adentram na região da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco, devido à influência das águas subterrâneas sobre a vazão de base dos rios).

3.4 GEOLOGIA

A geologia da Região do Baixo Curso do rio Paraíba é caracterizada por apresentar ocorrência do embasamento cristalino, com presença de rochas vulcânicas e plutônicas de idades diversas, e terrenos sedimentares na região litorânea.

A estrutura da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco é descrita como homoclinal com mergulho suave em direção ao mar, o qual é subdividido pelas falhas transversais de Goiana e Itabaiana-Pilar, em três sub-bacias sedimentares: Olinda, Alhandra e Miriri. A largura média da faixa sedimentar é de aproximadamente 25 km e sua espessura pode atingir até 400 m (AESAs, 2006; Costa *et al.*, 2007).

Tem como embasamento rochas metamórficas e ígneas do Complexo Cristalino Pré-Cambriano. Ela é preenchida por sedimentos de fácies continentais e marinhas reunidas sob a denominação de Grupo Paraíba, que, por sua vez, é subdividido em três formações: Beberibe/Itamaracá, Gramame e Maria Farinha. Esta última, ao que tudo indica, não ocorre na área paraibana. Estas formações são capeadas, em discordância angular erosiva, por sedimentos Cenozóicos da Formação Barreiras e depósitos flúvio-marítimos, dunas e aluviões mais recentes, aqueles constituindo as planícies costeiras e os leitos e margens de cursos d'água que drenam a bacia sedimentar (AESAs, 2006; Costa *et al.*, 2007).

Costa *et al.* (2007) elaboraram uma adaptação atualizada do mapa geológico da CPRM (2002) para a área da bacia sedimentar costeira, o qual apresenta-se na Figura 28. Os autores afirmam que este não é apenas uma simples compilação dos mapas já existentes, visto que incorpora novos dados resultantes, não somente dos estudos geofísicos realizados, assim como, de levantamentos de campo e de informações obtidas sobre a lito-estratigrafia descrita em 168 fichas de poços.

Os autores citam ainda que, apesar de todos os estudos realizados, ainda não se tem elementos para modificar o mapeamento da área tida como Barreiras apesar de se ter fortes indícios que boa parte da área mapeada como Barreiras corresponde de fato à Formação Beberibe. Necessita-se que, em trabalho específico, seja efetuada uma atualização da geologia superficial da bacia sedimentar para corrigir esse tipo de imprecisão.

A principal modificação do mapa geológico da Figura 28 é a cartografia dos falhamentos identificados após análise de todos os dados disponíveis, tais como cadastro de poços, levantamento de campo e estudos anteriores.

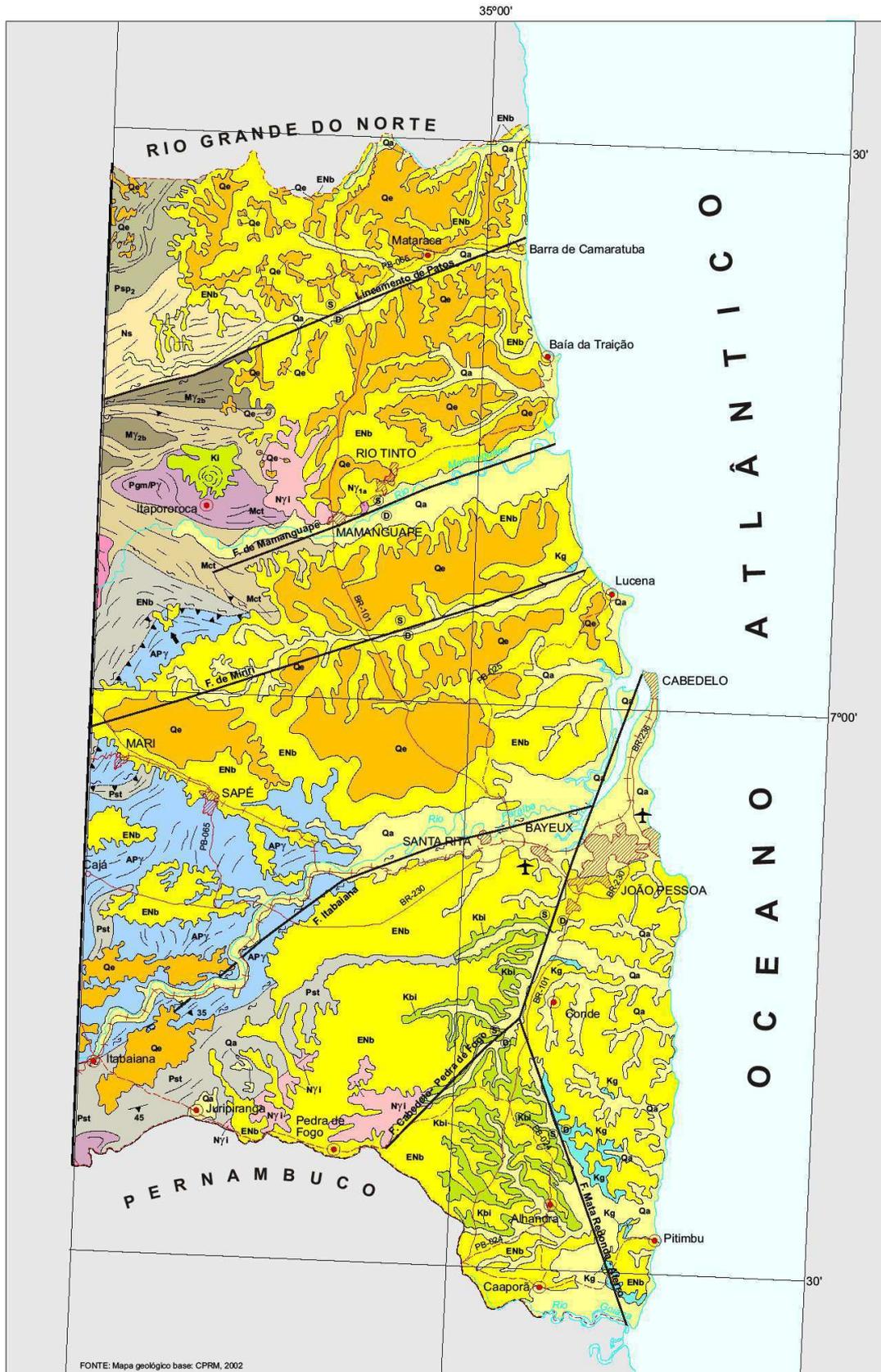
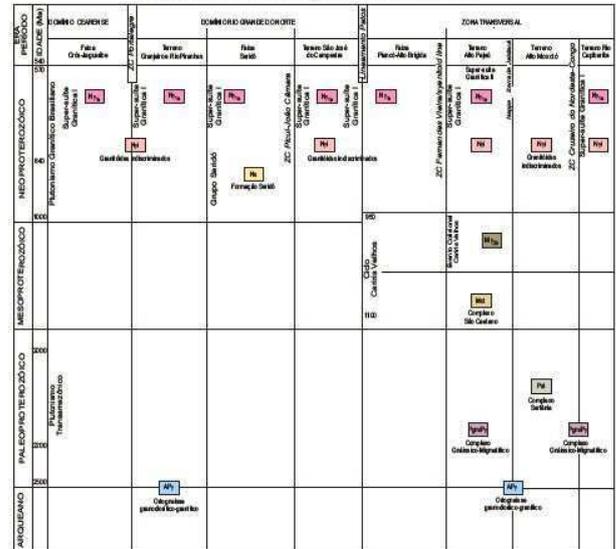


Figura 28 – Mapa geológico da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco. Escala 1:200.000.
 Fonte: Costa et al. (2007). Obs.: Legendas na Figura 29.



Relações Tectono-estratigráficas do Precambriano



UNIDADES GEOLÓGICAS CENOZÓICO QUATERNÁRIO

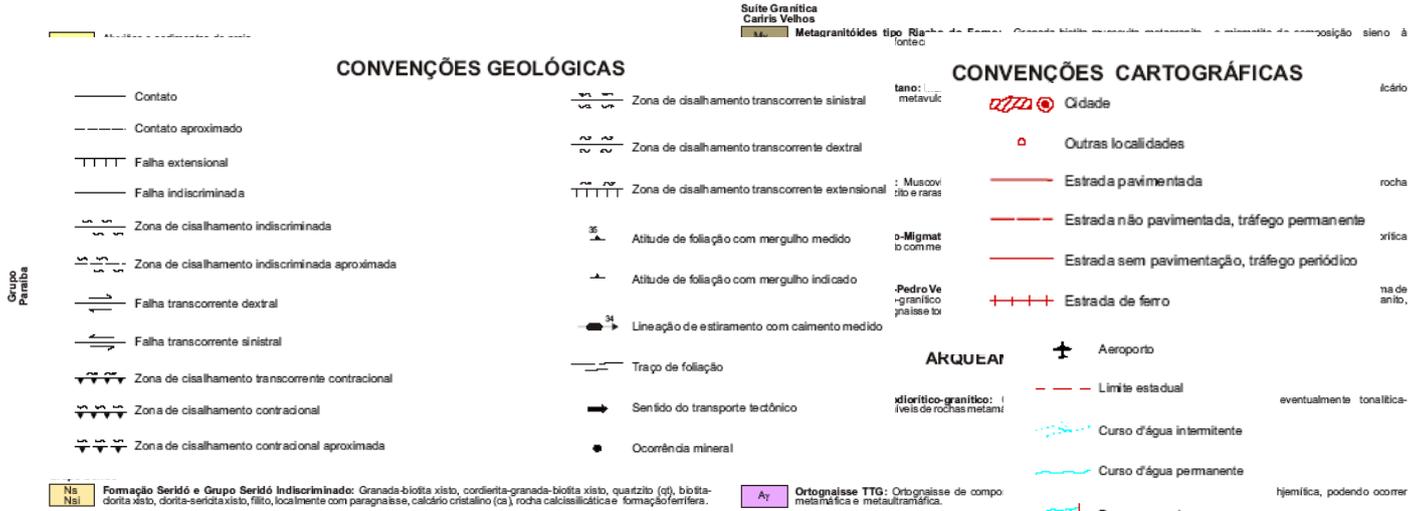


Figura 29 - Legendas da Figura 28. Fonte: Costa *et al.* (2007).

3.5 HIDROGEOLOGIA

Os recursos de água subterrânea resultam da interação do clima e seus elementos com a fisiografia do estado, onde influi, sobremaneira, a sua constituição geológica. Por suas propriedades mecânicas fundamentais de porosidade e de permeabilidade, por suas características dimensionais, as rochas que ocorrem no território paraibano, podem constituir os seguintes sistemas aquíferos: Cristalino, Rio do Peixe, Paraíba-Pernambuco, Serra dos Martins, Aluvial e Elúvio-coluvial (AESAs, 2006). Em especial, na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, os sistemas aquíferos existentes são o Cristalino, o Aluvial e o Paraíba-Pernambuco.

As condições regionais de alimentação dos subsistemas que compõem o Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco, objeto desta pesquisa, são excelentes, em função das características climáticas e fisiográficas (com ênfase à morfologia) muito favoráveis, trata-se do sistema com o maior e melhor potencial hídrico do estado da Paraíba. Os aquíferos mais captados são: o Barreiras, os depósitos arenosos Quaternários da planície costeira (ambos integrantes do subsistema livre), o Beberibe Superior, também conhecido como Itamaracá, e o Beberibe Inferior, formadores do subsistema confinado (AESAs, 2006).

O sistema foi definido pelo PERH-PB (AESAs, 2006) como uma estrutura hidrogeológica organizada, formado pelo conjunto de aquíferos, aquíferos ou aquíclados integrantes do pacote sedimentar que preenche a bacia. De acordo com as características hidro-estratigráficas e hidrostáticas, os aquíferos da bacia costeira, de uma maneira geral, podem ser reunidos em dois subsistemas distintos que são (AESAs, 2006):

- a) o sub-sistema livre, contido predominantemente no Grupo Barreiras e, eventualmente, nos sedimentos inconsolidados do Quaternário (sedimentos de praia, dunas e aluviões) que se lhe sobrepõem e, mais restritamente, nos calcários sotopostos da formação Gramame, podendo englobar, ainda, embora que localmente, os arenitos calcíferos da formação Beberibe superior, também chamada formação Itamaracá;
- b) o sub-sistema confinado, contido nos arenitos quartzozos e/ou calcíferos da formação Beberibe/Itamaracá, cujo nível confinante superior é variável, ora representado pela formação Gramame, ora pelos níveis argilosos inferiores da formação Guararapes do Grupo Barreiras, ora por lentes argilosas ou de folhelhos que ocorrem no topo da

formação Beberibe superior (formação Itamaracá), e cujo nível impermeável inferior é, invariavelmente, o substrato cristalino Pré-Cambriano.

A circulação regional dos dois subsistemas é a mesma: em gradientes suaves e com significativos volumes, ou restituídos aos rios, via de regra, perenizando-os, ou escoados diretamente ao mar, anualmente (AESAs, 2006).

Na Figura 30, apresenta-se o mapa hidrogeológico da região em estudo produzido pelo IBGE (2004). Deste mapa podem ser auferidas algumas informações:

- Parte da área de estudo encontra-se em uma região em que a produtividade do aquífero livre (Barreiras e aluviões) varia de 0,11 a 0,44 l/s/m. Já na região em que o aquífero é o Beberibe aflorante (livre) a produtividade do aquífero varia entre 0,033 a 0,11 l/s/m. Contudo na região onde o aquífero Beberibe encontra-se confinado a semi-confinado a produtividade do aquífero varia entre 0,44 a 1,11 l/s/m.
- Em relação à vulnerabilidade dos aquíferos, percebe-se que parte da área de estudo encontra-se sobre uma área de recarga de aquíferos intergranulares, sobrepostos a aquíferos fraturados, sujeita a inundações periódicas, o que a sujeita a uma moderada vulnerabilidade, restrita praticamente aos aluviões, no entanto pode tender à alta vulnerabilidade em função da maior porosidade e maior concentração humana. Outra parte da área de estudo encontra-se em uma área de recarga de coberturas inconsolidadas, sobre aquíferos fraturados e sedimentos, no entanto, possuem uma baixa vulnerabilidade.

IMPORTÂNCIA HIDROGEOLÓGICA RELATIVA LOCAL				
NEGLIGENCIÁVEL 1	MUITO PEQUENA 2	PEQUENA 3	MEDIANA 4	GRANDE 5
		e3		
			c4	
		e3		
	g2			
h1				

SISTEMAS AQUIFEROS	
a	Aquíferos intergranulares extensos, livres. Espessuras de até 25 metros. Permeabilidade variável, geralmente alta. Alimentação direta através de rios e chuvas. Água em geral de boa qualidade. Aproveitamento através de poços tubulares e escavados. Ocorrem sobre aquíferos do tipo c e g.
c	Aquíferos intergranulares extensos, livres, semiconfinados e confinados. Sedimentos calcários maciços e compactos, com espessuras de até 400 metros, que se sobrepõem a sedimentos arenosos, de granulação fina a grosseira, com permeabilidade variando de média a alta e espessuras que podem ultrapassar os 450 m. As águas provenientes do arenito são de muita boa qualidade, enquanto as do calcário têm teores elevados de cálcio e magnésio. Aproveitamento através de poços tubulares profundos que podem alcançar os 1.000 metros de profundidade.
e	Aquíferos intergranulares descontínuos, livres, com limitações de espessura. Permeabilidade baixa a média. Exploração recomendada através de poços (tubulares ou manuais) pouco profundos.
g	Aquíferos descontínuos restritos a zonas fraturadas, livres. Permeabilidade variável, geralmente baixa. Exploração recomendada apenas às áreas de relevo suave e estudos locais são necessários para a locação de poços tubulares. Profundidade de exploração média de 70 metros.
h	Área de rochas cristalinas, desfavorável ao armazenamento de água subterrânea. Aquífero fissural, restrito a zonas fraturadas, livres. Permeabilidade baixa. Reservas hídricas limitadas. Águas geralmente salinas. Aproveitamento através de poços tubulares de até 90 m.

PRODUTIVIDADE DO AQUIFERO

	Inferior a 0,033 l/s/m		Entre 0,033 e 0,11 l/s/m		Entre 0,11 e 0,44 l/s/m
	Entre 0,44 e 1,11 l/s/m		Superior a 1,11 l/s/m		

INFORMAÇÕES GEOLÓGICAS

- QHa** - Aluviões - Areias finas e grosseiras incluindo cascalhos inconsolidados e argilas.
- TQb** - Grupo Barreiras - Arenitos finos a médios, siltilitos e argilas variegadas com níveis caulínicos e conglomeráticos.
- TPcn** - Formação Campos Novos - Arenitos finos e siltilitos, gradando para argilas bentoníticas e montmoriloníticas.
- TPmf** - Formação Maria Farinha - Calcários detriticos com intercalações argilosas.
- Kg** - Formação Gramame - Calcários arenosos e fossilíferos, na base, com fosforito e calcários argilosos no topo.
- Kb** - Formação Beberibe - Arenitos friáveis, mal selecionados, na base; siltilitos e argilitos, no topo.
- NPγpm** - Suíte granítica tipo Pedra-Mata Grande - Granitos porfiróides a blotita e/ou homblenda; dioritos (σ).
- NPγ2** - Granodioritos finos a grosseiros, com variações para quartzo-monzodioritos, quartzo monzonitos e tonalitos.
- NPγ1** - Granitos finos a grosseiros, cinza a róseo; granitos anatóticos.
- NPγ** - Granitos com variações para granodioritos, tonalitos e quartzo-monzonitos.

CONDIÇÕES DAS ÁREAS DE EXPOSIÇÃO DOS AQUIFEROS

-  Área de recarga de aquíferos intergranulares, sobrepostos a aquíferos fraturados, sujeita a inundações periódicas.
-  Área de recarga em coberturas inconsolidadas, sobre aquíferos fraturados e sedimentos.
-  Área de recarga de aquíferos fraturados, com relevo acidentado.
-  Área de recarga/descarga de aquíferos fraturados com relevo moderado a plano.
-  Área de recarga/descarga de aquíferos intergranulares livres e confinados.

VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQUIFEROS À POLUIÇÃO

-  ALTA - Definida para as áreas de ocorrência dos gneisses/migmáticos, granitos e quartzitos, que constituem os sistemas aquíferos fraturados. Nessas áreas a facilidade de contaminação está sempre presente, em função do fraturamento.
-  MODERADA - Restrita praticamente às aluviões. Pode tender a alta em função de maior porosidade e maior concentração humana.
-  BAIXA - Corresponde às coberturas indiferenciadas (aquíferos intergranulares locais, livres, não consolidados) e aquíferos sedimentares, livres e confinados, de extensão regional.
-  NEGLIGENCIÁVEL - Definida para as áreas de relevo acidentado, ocupação humana reduzida e presença de manto de intemperismo argiloso.

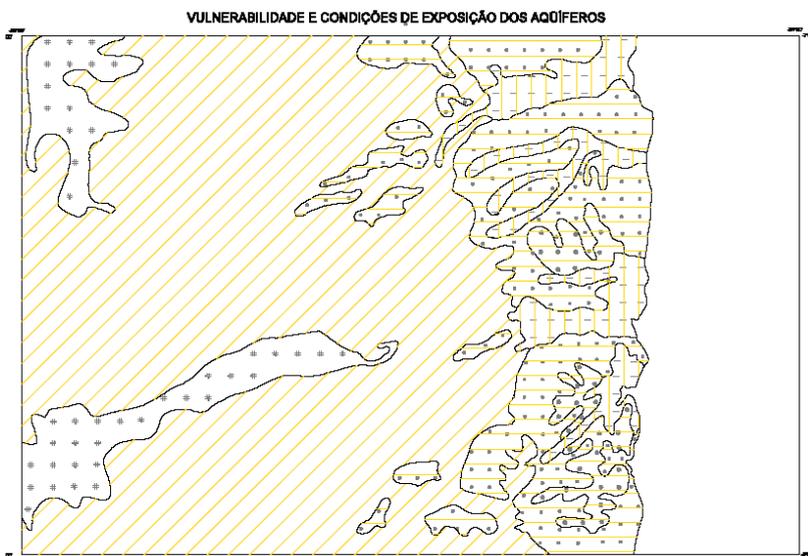


Figura 31 – Legendas da Figura 30. Fonte: IBGE (2004).

3.5.1 CARACTERIZAÇÃO DA LITO-ESTRATIGRAFIA

Geologicamente são distinguíveis na região oriental do estado da Paraíba dois grandes complexos litológicos que são (Costa, 2006):

- Rochas cristalinas pré-cambrianas;
- Rochas sedimentares da Bacia Paraíba-Pernambuco cretáceas com coberturas cenozóicas.

As rochas cristalinas servem de substrato ao pacote sedimentar da Bacia Paraíba-Pernambuco e afloram além do seu limite leste nos municípios de Jacaraú, Mamanguape e Pedras de Fogo. A sequência lito-estratigráfica da área é apresentada no quadro a seguir:

Quadro 3 – Coluna lito-estratigráfica.

Idade		Formação	Constituição
Quaternário		Coberturas	Aluvião: areais, siltes e argilas.
			Dunas e areias de praia
Terciário	Plioceno	Barreiras	Areias, siltes e argilas de cores variadas.
	Eoceno		
	Paleoceno	Maria Farinha	Calcários clásticos cremes e compactos.
Cretáceo	Maestrichtiano	Gramame	Calcários cinza, calcarenosos na base.
	Campaniano	Beberibe	Arenitos grossos a finos, com intercalações argilosas ou conglomeráticas, calcíferas no topo.
	Santoniano		
Pré-Cambriano			Gnaisses, quartzitos, migmatitos e granitos.

Observação: a formação Maria Farinha não ocorre no estado da Paraíba.

Fonte: Costa (2006).

A seguir serão descritas as características das formações lito-estratigráficas que compõem a Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco.

3.5.1.1 Formação Beberibe/Itamaracá

De acordo com Costa *et al.* (2007), trata-se de uma sequência que se inicia com arenitos continentais, quartzozos, com uma espessura que pode atingir, em território paraibano, até 100 m, com média de 50 m, em geral, sem fósseis. São arenitos médios, finos e grossos, cinzentos, cremes, vermelhos e roxos, mal selecionados, apresentando grãos subangulosos a subarredondados, com

componente argiloso. Na base da formação podem ocorrer leitos conglomeráticos e intercalações de níveis argilosos, sendo comum a presença de cimento altamente ferruginoso, formando “anéis de Liesegang”, resultante da migração deste cátion, abundante na crosta ferruginosa subjacente.

Repousa sobre o embasamento cristalino de rochas metamórficas e ígneas, datado do Pré-Cambriano. Este substrato é, em grande parte, coberto pela referida crosta ferruginosa, relativamente espessa, aflorante nas partes oeste e sul da bacia sedimentar. Esta é a parcela da formação denominada Beberibe Inferior ou, simplesmente, Beberibe, que tem suas melhores exposições localizadas no interior da Bacia Hidrográfica do rio Gramame, constituindo, inclusive, a sua superfície topográfica. Esta superfície se acha retrabalhada, e lixiviada, formando solos francamente arenosos, de cor muito branca (Costa *et al.*, 2007).

Em subsuperfície, observa-se uma passagem lateral, caracterizada por interdigitação e, menos frequentemente, por gradação, para um arenito mais duro, de granulometria e cores variadas, com cimento carbonático e fragmentos de organismos não reconhecíveis, apresentando, ainda, intercalações de folhelhos e siltitos calcíferos, representando uma fácies litorânea-marinha rasa, episodicamente passando a ambiente lagunar, denominada de Beberibe Superior ou, simplesmente, Itamaracá. O limite superior da formação se faz com a Formação Gramame ou, mesmo, com os sedimentos da Formação Barreiras no quadrante noroeste da bacia (Costa *et al.*, 2007).

3.5.1.2 Formação Gramame

Segundo Costa *et al.* (2007), a Formação Gramame compreende um pacote sedimentar com até 102 m de espessura, com média de 50 m, 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. Esta formação mostra um caráter transgressivo sobre os arenitos Beberibe e, no topo, passa sem interrupção para os calcários da Formação Maria Farinha (área pernambucana) e para os sedimentos Cenozóicos da Formação Barreiras e, na orla marítima paraibana, para os depósitos flúvio-marítimos constituintes das planícies costeiras.

Os estudos geofísicos realizados por Costa *et al.* (2007) revelaram que esta formação restringe-se a uma faixa mais próxima do litoral paraibano, particularmente no bloco estrutural aqui denominado João Pessoa-Pitimbu. É neste bloco onde ocorrem as maiores espessuras da Formação Gramame.

3.5.1.3 Formação Barreiras

De acordo com Costa *et al.* (2007), esta formação ocorre constituindo um capeamento detrítico, depositado, indistintamente, sobre as formações Beberibe (superior ou inferior) e Gramame e, até, sobre o Cristalino. O embasamento deste pacote sedimentar é, portanto, uma superfície de erosão, esculpida sobre os sedimentos do Grupo Paraíba e sobre o Cristalino, elevado topograficamente, por falhas de gravidade, em blocos com rejeitos diferenciados.

Trata-se de uma sequência de areias, siltes e argilas, repetida irregularmente na dimensão vertical, com predominância ora da litologia arenosa, ora da siltosa, ora da argilosa, apresentando granulometrias e cores variadas. O topo da sequência encontra-se intemperizado, formando solos areno-argilosos espessos, onde viceja a vegetação de grande porte da Mata Atlântica (Costa *et al.*, 2007).

A espessura da Formação Barreiras, na área paraibana da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco, a julgar pelos registros de perfuração de poços e pelos levantamentos geofísicos, varia bastante, de um mínimo de 9 m (vale do Grotão) a um máximo de 110 m na sede da cidade de Caaporã. A espessura média obtida em perfis de 68 poços com informações dimensionais foi de 42 m (Costa *et al.*, 2007).

Na Figura 32 a seguir, pode-se visualizar um corte esquemático típico da área de estudo, mostrando as formações Barreiras, Gramame e Beberibe, anteriormente caracterizadas.

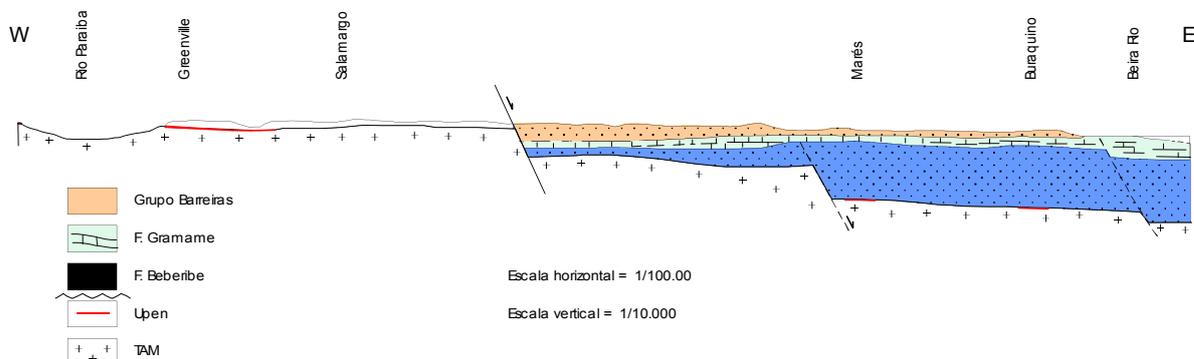


Figura 32 – Corte esquemático típico apresentando a lito-estratigrafia da área de estudo. Fonte: Albuquerque, 2008a.

3.5.2 AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE, RESERVAS E DISPONIBILIDADES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA SEDIMENTAR COSTEIRA PARAÍBA-PERNAMBUCO INSERIDA NA REGIÃO DO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA

3.5.2.1 Potencialidade hídrica

A potencialidade hídrica subterrânea da bacia sedimentar costeira foi estimada por Costa *et al.* (2007) através da descarga natural do sistema aquífero (vazão de base) do escoamento fluvial da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, alcançando o valor de $135,10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

O PERH-PB (AESAs, 2006) traz o valor de $145,03 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ para a potencialidade hídrica subterrânea da Região do Baixo Curso do rio Paraíba, incluindo-se aí, além do sistema Paraíba-Pernambuco, o sistema Aluvial. Do potencial, $120 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ estão ativados, o que indica um (IAP)² de 0,827, ou seja, já estão ativados 82,7 % do potencial subterrâneo de água, através da perfuração de poços (AESAs, 2006).

3.5.2.2 Reservas

Para a Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco os diversos tipos de reservas, ao nível atual de conhecimento, somente podem ser estimadas na escala de sistema, devido à restrição de dados dimensionais (pouquíssimos poços atingem o Cristalino e a grande maioria é de poços parcialmente penetrantes nos aquíferos captados) e escassez de dados de coeficientes de armazenamento e de porosidade eficaz.

Para o cálculo das reservas permanentes ou intersticiais leva-se em conta a geometria do aquífero, ou seja, os volumes estocados variam em função das dimensões dos blocos estruturais diferenciados. A seguir são apresentados os valores desses volumes armazenados em cada bloco estrutural da bacia sedimentar pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Paraíba (Costa *et al.*, 2007):

² O Índice de Ativação do Potencial (IAP) expressa a relação entre o potencial ativado e o potencial, variando de 0 a 1. O índice 0 significa que o curso d'água ou aquífero não foi captado, encontrando-se em seu estado natural, e o índice 1 significa que o potencial está totalmente ativado, não comportando mais a construção de barramentos ou poços (Albuquerque & Rêgo, 1999).

- *Bloco Paraíba:*

A espessura saturada do subsistema aquífero Beberibe-Barreiras varia desde 180 a 300 m, com uma média em torno dos 250 m. Considerando a área saturada de 1.220 km², o volume saturado do aquífero nesse bloco é da ordem de 305 x 10⁹ m³.

- *Bloco João Pessoa – Pitimbu:*

A espessura saturada do subsistema aquífero Beberibe-Barreiras varia desde 200 a 400 m, com uma média em torno dos 300 m. Considerando a área saturada de 590 km², o volume saturado do aquífero nesse bloco é da ordem de 177 x 10⁹ m³.

As reservas reguladoras da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco, inserida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba, também identificadas como potencialidade ou simplesmente potencial, admitidas para atendimento dos diversos tipos de demandas, ascendem aos 135,10 hm³/ano.

3.5.2.3 Disponibilidades

De acordo com Costa *et al.* (2007), para a Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco, a parcela da vazão de base que atende a demanda ecológica natural corresponde à média das vazões de base mínimas, verificadas no auge da estação de estiagem, suficientes para manter luxuriante toda a vida vegetal e animal da bacia. Esta média é de 40% da descarga de base média de longo período. Os 60% restantes constituem a parcela disponível para exploração.

A quantificação de todos estes atributos das disponibilidades é apresentada a seguir:

- *Disponibilidades Máximas ou Recursos Explotáveis*

Correspondem, segundo Costa *et al.* (2007), a 60% das reservas reguladoras ou potencialidade, sendo, portanto, iguais a 81,06 x 10⁶ m³/ano ou 2,57 m³/s. Sendo assim, a demanda ecológica alcançaria o valor de 54,04 x 10⁶ m³/ano ou 1,71 m³/s.

O PERH-PB (AESA, 2006) apresenta como disponibilidades máximas o valor de $100,41 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ e atuais o valor de $60,00 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, o que configura um Índice de Ativação das Disponibilidades (IAD)³ de 0,598.

▪ *Disponibilidades Instaladas ou Atuais*

A quantificação das disponibilidades instaladas realizada por Costa *et al.* (2007) foi baseada nos poços com informações sobre a situação funcional do poço e sobre vazões exploradas ou exploráveis (vazões de teste) dos poços, dando-se especial atenção aos poços da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). Assim sendo, dos 600 poços com dados construtivos e exploratórios, determinados por empresas, verificou-se que 254 poços (42,33%) possuíam informações sobre a situação funcional, destes, 152 poços (59,84%) encontravam-se em operação e 102 (40,16%) eram constituídos de poços abandonados, tamponados, não instalados, paralisados, sem funcionamento. Os poços sem informação sobre o funcionamento representavam 57,67%, ou seja, 346 poços.

Admitindo-se que no conjunto de poços sem informação sobre o funcionamento exista uma parcela que também está em operação, e utilizando-se a mesma proporção dos poços com informações, verifica-se que possivelmente 207 dos 346 estariam em operação e 139 não estariam operando por qualquer das razões acima qualificadas. Admitindo-se que isto esteja ocorrendo, o número de poços em operação atingiria 359 poços.

Sendo assim, é possível calcular a disponibilidade instalada ou atual da região em estudo ao considerar as vazões médias para os poços do aquífero Beberibe como sendo de $31,10 \text{ m}^3/\text{h}$ e de $8,97 \text{ m}^3/\text{h}$ para o aquífero Barreiras, conforme apresentado por Costa (2006).

Assim, para o aquífero Barreiras, ter-se-ia uma disponibilidade instalada ou atual de $2,53 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $0,080 \text{ m}^3/\text{s}$ e para o aquífero Beberibe seria de $89,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $2,824 \text{ m}^3/\text{s}$. Totalizando o valor de $91,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $2,904 \text{ m}^3/\text{s}$.

³ O Índice de Ativação das Disponibilidades (IAD) expressa a relação entre as disponibilidades atuais e as disponibilidades máximas. Varia normalmente, de 0 a 1. No caso dos recursos hídricos subterrâneos, pode alcançar valores acima da unidade, significando que as reservas estão sendo exploradas acima dos limites estabelecidos.

- *Disponibilidades Efetivas*

Para a sua quantificação, dever-se-ia conhecer o regime de bombeamento efetivamente praticado em todos estes poços. Porém, de acordo com Costa *et al.* (2007), nem mesmo a CAGEPA tem o controle das horas bombeadas em todos os seus poços. Os autores afirmam também que, de acordo com uma análise dos fluxos subterrâneos, esta vazão bombeada tem sido excessiva em algumas partes da bacia (orla marítima e distritos industriais).

Pode-se, contudo, admitir um regime médio de 8/24 horas de bombeamento contínuo, o que significa uma disponibilidade efetiva da ordem de 1/3 das disponibilidades instaladas, ou seja: $30,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

3.6 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Costa (2006) analisou a qualidade das águas subterrâneas do sistema aquífero Paraíba-Pernambuco, particularmente as águas dos aquíferos Barreiras e Beberibe, a partir de 100 determinações de resíduo seco e condutividade elétrica, concluindo que essas águas são de boa qualidade, enquadrando-se nos limites de potabilidade, como pode ser visto na Tabela 11 apresentada a seguir, pois apenas 2% das determinações ultrapassaram o limite de 1.000 mg/l para o resíduo seco.

Tabela 11 – Valores de resíduo seco e condutividade elétrica das águas do aquífero Barreiras.

Parâmetros estatísticos	Barreiras		Beberibe	
	Resíduo seco (mg/l)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Resíduo seco (mg/l)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Média	133,49	244,52	422,96	525,19
Mediana	100,00	160,00	313,25	396,00
Desvio Padrão	105,38	176,82	563,00	362,00
Coefficiente de Variação	0,79	0,72	1,33	0,69
Valor máximo	390,00	600,00	3594,00	1300,00
Valor mínimo	17,00	70,00	68,00	150,00
Número de valores	33	21	68	13

Fonte: Costa (2006).

Analisando-se o resíduo seco, verifica-se, portanto, que as águas do aquífero Barreiras estão em um melhor nível de qualidade que as do aquífero Beberibe, com medianas de 100,00 mg/l e 313,25 mg/l, respectivamente.

De acordo com a AESA (2006), não há maiores restrições qualitativas nas águas de todo o sistema Paraíba-Pernambuco, qualquer que seja o uso. Apenas na orla marítima, onde o aquífero captado é o Beberibe/Itamaracá calcífero, o subsistema inferior oferece restrições em razão da alta dureza de suas águas, odor e sabor acrescido de um teor de ferro além do recomendado.

3.7 USOS ATUAIS E FUTUROS DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA

Em qualquer planejamento que envolva a utilização de recursos hídricos, a estimativa da demanda de água é complexa, já que toma como base as projeções de ocupação territorial, dependentes de fatores sócio-econômicos, naturais e políticos – os quais apresentam grande variação – assim como o estabelecimento das dotações para o uso doméstico urbano e rural, irrigação, indústria, etc., que está vinculado a hábitos de vida, níveis de renda, métodos de irrigação, tipos de cultivo, processos industriais, etc. (AESA, 2006).

A seguir são apresentadas as demandas e ofertas relativas à região do Baixo Curso do rio Paraíba.

3.7.1 DEMANDAS

As demandas hídricas atuais e futuras da Região do Baixo Curso do rio Paraíba foram estimadas pelo PERH-PB (AESA, 2006) para um horizonte de 20 anos, podendo ser visualizadas através da Tabela 12.

Tabela 12 – Demandas hídricas atuais e futuras da Região do Baixo Curso do rio Paraíba (m³/ano).

		Tipo de usuário	2003	2008	2013	2018	2023
Região do Baixo	Humana	Urbana	15.320.075	16.383.253	17.100.383	17.986.696	18.501.034
		Rural	5.193.280	5.407.495	5.526.357	5.623.742	5.719.796
Curso do Rio Paraíba		Pecuária	49.465.642	49.465.642	49.465.642	49.465.642	49.465.642
		Indústria	24.749.685	25.928.767	26.552.188	26.738.288	27.439.658
		Irrigação	86.736.294	98.849.983	109.185.285	117.742.198	125.154.213
		Total	181.464.976	196.035.140	207.829.855	217.556.566	226.280.342

Fonte: AESA (2006)

Sendo assim, de acordo com os valores apresentados na Tabela 12, a demanda hídrica para o baixo curso do rio Paraíba para o ano de 2008 foi estimada em 196.035.140 m³/ano, o que corresponde a 6,22 m³/s. E para o horizonte final do estudo (ano de 2023) foi estimada em 226.280.342 m³/ano, ou seja, 7,18 m³/s.

3.7.2 OFERTAS

As ofertas hídricas dos sistemas de abastecimento humano d'água da Bacia do rio Paraíba são predominantemente de superfície, visto que 90,5% dos núcleos urbanos atendidos utilizam açudes e apenas 9,4% utilizam poços como fonte hídrica. Todos os sistemas que utilizam fonte subterrânea estão situados no baixo Paraíba (SEMARH, 2001).

Os açudes monitorados pela AESA na região da bacia costeira inserida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba estão apresentados na Tabela 13.

Relacionando-se com o cadastro de outorgas da AESA, pôde-se associar a coluna de finalidade do uso da água requerida aos açudes, assim constata-se que em todos os açudes existem outorgas para abastecimento humano.

Tabela 13 – Volume dos açudes monitorados pela AESA na Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

Açude	Município	Capacidade Máxima (m³)	Volume Atual¹ (m³)	% Volume Total	Finalidade do uso da água
Chã dos Pereiras	Ingá	1.766.100	424.910	24,1	Abastecimento humano (urbano)
Marés	João Pessoa	2.136.637	1.579.700	73,9	Abastecimento humano (urbano e rural)
Olho d'água	Mari	868.320	840.180	96,8	Abastecimento humano (urbano)
São Salvador	Sapé	12.657.520	10.820.701	85,5	Abastecimento humano (urbano), irrigação, aquicultura
Total		17.428.577	13.623.281	78,2	

¹ Em 15 de janeiro de 2009.

Fonte: AESA (2009).

Em relação às captações realizadas através de poços, o estudo de Costa *et al.* (2007) cadastrou cerca de 600 poços pertencentes à Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco inserida na Região

do Baixo Curso do rio Paraíba, os quais encontram-se espacializados na Figura 33. Nota-se a intensa exploração na região sul da área de estudo, para os mais diversos usos.

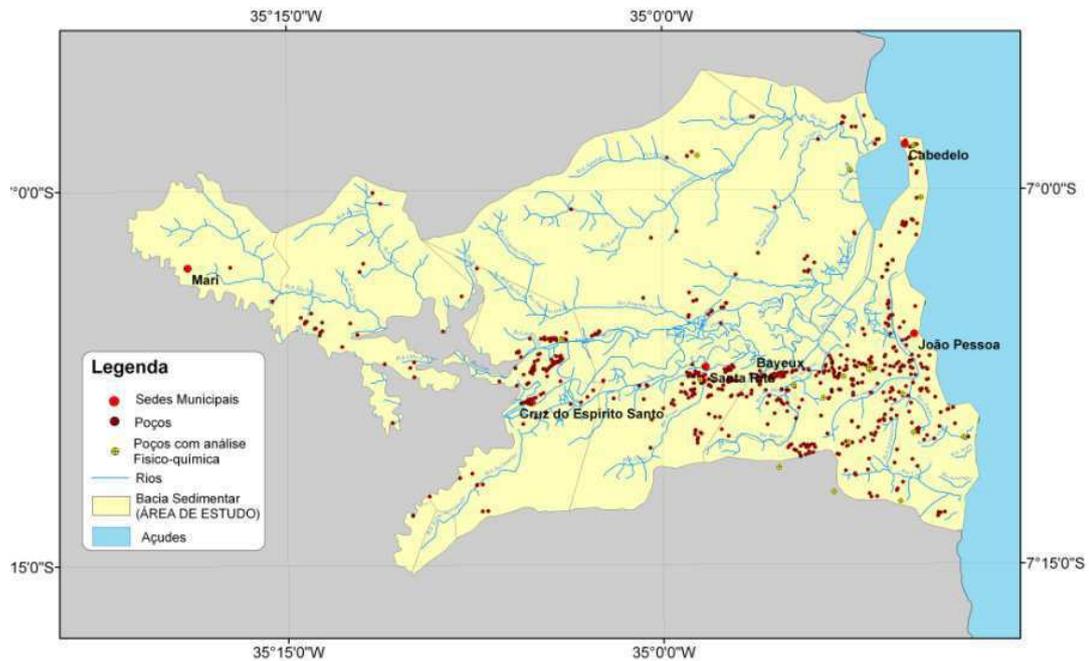


Figura 33 – Localização dos poços na região da Bacia Sedimentar Paraíba-Pernambuco pertencente à Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

3.7.3 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Os índices de sustentabilidade hídrica são parâmetros que tentam traduzir a situação da ativação e do uso da água numa bacia hidrográfica ou sub-bacia. As definições expostas a seguir foram apresentadas por Albuquerque & Rêgo (1999).

3.7.3.1 Índice de ativação do potencial (IAP)

O IAP expressa a relação entre o potencial ativado e potencial, variando de 0 a 1. O índice 0 significa que o curso d'água ou o aquífero não foi captado, encontrando-se em seu estado natural, e o índice 1 significa que o potencial está totalmente ativado, não comportando mais a construção de barramentos ou poços, com exceção do caso específico dos aquíferos aluviais.

3.7.3.2 Índice de ativação das disponibilidades (IAD)

É a relação entre as disponibilidades atuais e as disponibilidades máximas. Este índice varia normalmente de 0 a 1. No caso dos recursos hídricos subterrâneos, pode alcançar valores acima da unidade, significando que as reservas estão sendo exploradas acima dos limites estabelecidos.

3.7.3.3 Índice de utilização das disponibilidades (IUD)

É dado pela razão entre a demanda total e as disponibilidades. Índices menores que 1, significam demandas atendidas; índices maiores que 1, demandas reprimidas. A possibilidade de atendimento das demandas reprimidas resulta da constatação de que existe potencial não ativado ou disponibilidade remanescente.

É chamado de Índice de Utilização das Disponibilidades Máximas (IUD_M) quando as demandas são confrontadas com as disponibilidades máximas e de Índice de Utilização das Disponibilidades Atuais (IUD_A) quando as demandas são confrontadas com as disponibilidades atuais.

Na Tabela 14 a seguir são apresentados os índices de sustentabilidade hídrica para a Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

Tabela 14 – Índices de sustentabilidade hídrica das águas subterrâneas para a Região do Baixo Curso do rio Paraíba.

	Potencialidade		Disponibilidades		Demandas agregadas totais anuais (hm ³ /ano)	Índices de sustentabilidade hídrica			
	Máximo (hm ³ /ano)	Ativada ou atual (hm ³ /ano)	Máxima (hm ³ /ano)	Ativada ou atual (hm ³ /ano)		IAP	IAD	IUD_M	IUD_A
Superficial	529,49	55,19 ¹	317,57	4,73		0,104	0,015		
Subterrânea	145,03 ¹	120,00	100,41	72,61 ²	181,46 ³	0,827	0,723	0,434	2,346
Total	674,52	175,19	417,98	77,34		0,260	0,185		

¹ Albuquerque (2008b)

² Incluindo as captações à fio d'água

³ Estimativa de demanda referente ao ano de 2003 (ver Tabela 12) AESA (2006)

Fonte: AESA (2006)

De acordo com a Tabela 14 e analisando-se o valor do IAP, percebe-se o elevado comprometimento da água subterrânea que já alcança os 82,7% do potencial. Este fato revela uma

situação preocupante, visto que já foi ativado parte do que deveria ser resguardado para atender a demanda ecológica natural, como afirma o PERH-PB (AESAs, 2006). É provável que, com a atualização do cadastro de poços desta região, verifique-se que o potencial já esteja totalmente ativado, embora apenas parcialmente explorado, em razão do regime de exploração ser menor que o regime teórico (24 horas de bombeamento ao dia), determinante do potencial ativado. Uma análise mais detida dessa região deve mostrar que as áreas de maior concentração de poços perfurados são os distritos industriais e a orla marítima, sendo o Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco o objeto da grande maioria das perfurações (mais precisamente, o subsistema confinado unidade Beberibe). Este valor de IAP mostra que é preciso controlar, com rigor, o processo de outorga para perfuração de poços nessa região e, conseqüentemente, fazer um levantamento dos reais regimes de bombeamento praticados.

Em relação à utilização das disponibilidades atuais, de acordo com o PERH-PB (AESAs, 2006), a Região do Baixo Curso do rio Paraíba apresenta-se em uma situação crítica. Seu IUD_A é 2,346, ou seja, toda a disponibilidade atual já está completamente comprometida com as demandas da bacia. Observam-se sérias restrições em quantidade para as atividades agrícolas, as quais podem ser resolvidas parcialmente pela ativação de novas disponibilidades. No entanto, mesmo ativando-se a disponibilidade máxima teórica, os usos para irrigação não serão atendidos caso as outras demandas fossem priorizadas.

Uma outra forma de aumentar indiretamente e sustentavelmente as disponibilidades seria a introdução de alternativas de gerenciamento da demanda de água por parte dos usuários de águas, os quais poderiam adquirir hábitos de uso e/ou sistemas de recursos hídricos mais eficientes, podendo ser economizados consideráveis volumes de água. Logo, diminuindo-se a demanda de água, o valor do IUD_A diminuiria, podendo levar a região a uma situação de menor criticidade hídrica.

CAPÍTULO IV – METODOLOGIA E RESULTADOS

As etapas metodológicas e os consequentes resultados que compõem esta pesquisa estão apresentados a seguir:

- Descrição de um modelo conceitual dos processos hidrogeológicos da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco em sua parcela contida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba como subsídio para a formulação de critérios de outorga;
- Definição dos níveis de abrangência dos critérios;
- Definição das zonas de gerenciamento;
- Proposição e desenvolvimento dos critérios de outorga de águas subterrâneas de acordo com a realidade da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba e da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco;
- Inserção dos critérios propostos nos níveis de abrangência pré-definidos.

4.1 O MODELO CONCEITUAL DOS PROCESSOS HIDROGEOLÓGICOS

Os modelos conceituais baseiam-se na representação do comportamento hidrogeológico através dos processos físicos que envolvem o fenômeno estudado e da constituição geológica (litologia, estratigrafia, estruturas, dimensões, coeficientes hidrodinâmicos, etc.) do sistema aquífero em questão, ou seja, diz respeito às relações do sistema aquífero com o ciclo hidrológico e, particularmente, com os cursos d'água superficiais que lhes são sobrepostos. No âmbito das águas subterrâneas, esta relação se materializa através dos processos naturais de recarga (ou alimentação), circulação, descarga e determinação dos coeficientes hidrodinâmicos.

4.1.1 RECARGA (OU ALIMENTAÇÃO)

A recarga natural de um sistema aquífero é um importante processo hidrológico que acontece pela infiltração da água de chuva. Parte dessa água infiltrada retorna à atmosfera pela evapotranspiração e parte é drenada, lenta e verticalmente, através de uma zona de subsaturação até atingir o nível hidrostático.

Sendo assim, pode-se definir a recarga de águas subterrâneas como o fluxo d'água proveniente das precipitações adicionado à zona saturada do aquífero, o qual irá viabilizar os processos de circulação, descarga e gerar o aumento do armazenamento de água da zona saturada. Logo, a determinação da recarga do aquífero é fator primordial nos estudos hidrogeológicos e na gestão dos recursos hídricos subterrâneos, visto que a sua correta definição proporcionará a determinação de uma vazão explorável segura.

Portanto, é de grande importância no estudo do balanço hídrico subterrâneo de uma bacia hidrográfica, o entendimento da influência mútua entre a recarga, circulação, descarga, armazenamento subterrâneo e a vazão de base de um curso d'água. Na escala temporal anual, admite-se a igualdade do volume de recarga e do volume relativo às vazões de base do curso d'água.

As condições geológicas, hidrológicas e morfológicas da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco indicam que a recarga dos principais aquíferos se processa essencialmente por infiltração de chuva, diretamente nas áreas de afloramento das formações, secundariamente por processo de infiltração vertical de um aquífero a outro, devido à diferença de pressão hidrostática entre eles (SUDENE, 1975).

Especificamente sobre os tabuleiros arenosos das formações Beberibe e Barreiras, a recarga do sistema aquífero também se processa, durante o período de cheias, por transferência de uma parte das águas fluviais que, à época, adquirem carga hidráulica superior à do sistema aquífero (Costa *et al.*, 2007).

Conforme cálculos contidos em SUDENE (1975), as taxas de infiltração efetiva têm estimativas bastante ponderáveis, desde 10% até 30%, ou mais, das precipitações médias anuais. A partir de observações sobre o fluxo subterrâneo no domínio do aquífero Beberibe, o referido trabalho estima uma taxa de 5% a 6% de infiltração efetiva para esta unidade aquífera.

Utilizando a mesma metodologia, considerando uma pluviometria média de 1.500 mm/ano e o potencial da ordem de $135,10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, na área da bacia sedimentar costeira contida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba (1.157,92 km²), a taxa de infiltração seria de 12,86%. A repartição desta infiltração por aquífero, e mesmo por subsistema, não foi avaliada neste estudo por falta de dados hidrológicos para tal.

Rufino (2006) observou, na área do bairro do Bessa, na cidade de João Pessoa, que o aquífero freático na região, é muito sensível às perturbações naturais ou artificiais a ele impostas, respondendo

rapidamente aos processos de recarga e de descarga com elevação e rebaixamento de níveis, respectivamente. Outro problema enfrentado pelo bairro do Bessa é a captação das águas subterrâneas do freático por poços, de forma descontrolada e crescente, podendo gerar, num futuro próximo, rebaixamento excessivo do lençol subterrâneo e intrusão salina.

4.1.2 CIRCULAÇÃO

A circulação regional do sistema é ditada pela distribuição das cargas hidráulicas e influenciando na sua trajetória, os acidentes tectônicos que o afetaram. Normalmente, o escoamento se faz a partir das cargas maiores para aquelas menores, sendo comandadas por fronteiras de carga constante como os rios e, principalmente, o mar, destino final do fluxo subterrâneo.

Nos dias atuais, a situação é diferente, conforme mostra o Mapa Potenciométrico do Sistema Aquífero Paraíba-Pernambuco (Costa *et al.*, 2007) apresentado na Figura 34. Analisando-se o mapa, os autores citados revelam a situação do fluxo em grande parte da bacia, destacando-se os seguintes aspectos:

- Na orla marítima situada da cidade de Lucena para o sul da bacia até Pitimbu os poços apresentam níveis estáticos negativos em relação ao nível do mar;
- Em consequência, o fluxo subterrâneo está invertido; em vez de se fazer na direção do oceano, ela está se processando do mar para o interior;
- Há uma punção considerável na área englobada pelos distritos industriais de João Pessoa e Bayeux, incluindo a área da sede da CAGEPA e dos poços de Marés e do Alto do Mateus, onde as cotas dos níveis estáticos medidos são as mais negativas;
- Os rios Marés, Jaguaribe, Cuiá tornaram-se rios influentes, perdendo vazão de base pela exploração excessiva desta parcela do sistema aquífero;
- Os tabuleiros desempenham o papel de divisores de água subterrânea, constituindo áreas preferenciais de recarga do sistema aquífero;
- As linhas piezométricas, na área entre as cidades de Cruz do Espírito Santo e Santa Rita, apresentam-se muito próximas, revelando um gradiente hidráulico,

relativamente, acentuado, traduzindo uma redução de permeabilidade causada, provavelmente, pela Falha de Rejeito Direcional Rio Paraíba, também conhecida como Falha de Itabaiana;

- O divisor das Bacias Hidrográficas dos rios Paraíba e Gramame, correspondente ao Planalto de Santa Rita, é, também, um divisor de fluxo subterrâneo e área de recarga importante do sistema aquífero Pernambuco-Paraíba, particularmente, do subsistema formado localmente pelas formações Barreiras e Beberibe Superior e Inferior, em parte, semiconfinados.

Outro aspecto revelado pelo mapa potenciométrico diz respeito à possibilidade de que já esteja em curso a interiorização da interface água doce subterrânea/água salgada marinha, ou uma contaminação do aquífero inferior pela filtração descendente de águas do aquífero quaternário superior, localmente salinizado, causada pela redução da carga de pressão do aquífero Beberibe, devido à exploração de uma vazão superior à vazão do escoamento natural subterrâneo deste aquífero. As consequências desta sobre-exploração podem ser: a salinização progressiva da água subterrânea pela indução da água marinha ao fluxo subterrâneo, ou, se esta indução se processar em velocidade inferior à exploração, a possibilidade de ocorrência do fenômeno da subsidência de terrenos, com os efeitos indesejados sobre estruturas de construções civis e sobre o meio ambiente.

4.1.3 DESCARGA (OU EXUTÓRIOS)

Os exutórios de um aquífero podem ser naturais ou artificiais. São exutórios naturais quando a descarga se processa sem a intervenção humana. Sendo a extração realizada pelo homem, os exutórios são ditos artificiais.

Serão tratados aqui os exutórios naturais, ou descarga natural, que se processa para a rede hidrográfica estabelecida sobre a bacia sedimentar e, finalmente, para o oceano. Foram avaliados os escoamentos médios anuais de base das bacias hidrográficas e estimada a vazão do escoamento natural (VEN) subterrâneo ao mar, a partir dos estudos da SUDENE (1975).

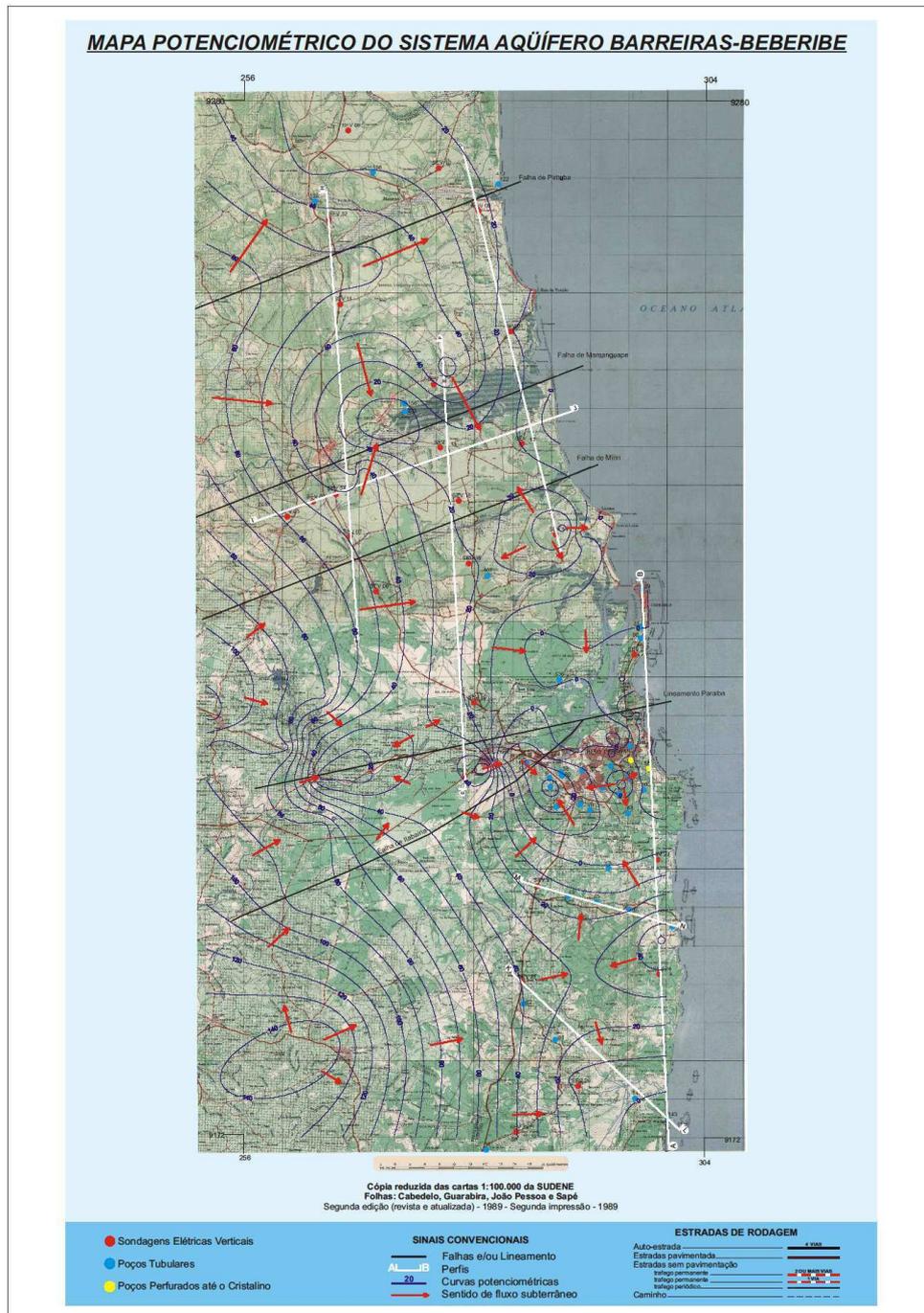


Figura 34 – Mapa Potenciométrico do sistema aquífero Barreiras e Beberibe (Costa *et al.*, 2007).

De acordo como Plano Estadual de Recursos Hídricos (AESAs, 2006) foi possível identificar a participação da descarga natural do sistema aquífero (vazão de base) no escoamento fluvial da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba, graças à existência de postos hidrométricos ou de séries de descargas

fluviais geradas por modelos chuva x vazão que permitiram estimar esta repartição do fluxo de água subterrânea. Este valor foi de 135,10 hm³/ano.

Em relação aos exutórios artificiais, os mesmos foram tratados no item 3.5.2.3.

4.1.4 COEFICIENTES HIDRODINÂMICOS

Diversas entidades e pesquisadores realizaram ensaios de bombeamento para a determinação dos coeficientes hidrodinâmicos em alguns poços da região da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco (Costa *et al.*, 1998; Acquatool Consultoria, 2002; Costa *et al.*, 2007). Todavia, torna-se impraticável efetuar-se uma média dos valores obtidos em todos os ensaios realizados por distintas entidades, uma vez que foram empregadas diferentes metodologias e métodos de interpretação.

Portanto, consideraram-se representativos para a região em estudo os seguintes parâmetros hidrodinâmicos:

Tabela 15 – Parâmetros hidrodinâmicos representativos na região estudada (Costa *et al.*, 2007).

AQUÍFERO	Transmissividade (T)		Condutividade hidráulica (K)		Armazenamento (S)
	m ² /d	m ² /s	m/d	m/s	adimensional
Beberibe	140,00	1,60x10 ⁻³	2,30	2,7x10 ⁻⁵	1,5x10 ⁻⁴
Barreiras	150,00	1,70x10 ⁻³	8,60	1,0x10 ⁻⁴	5,0x10 ⁻²

4.2 DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS DE ABRANGÊNCIA

Geralmente, a outorga de uso de água subterrânea em uma bacia hidrográfica possui caráter localizado, visto que são considerados critérios relativos ao poço, a exemplo da vazão nominal de teste de poço. Porém, acredita-se que a outorga deve seguir critérios mais abrangentes, que compreendam desde a bacia hidrográfica (unidade de gestão de recursos hídricos), até propriamente o poço.

Dentro deste enfoque, propõe-se que a outorga seja analisada segundo critérios escalonados por níveis de abrangência. Sendo assim foram estabelecidos 3 níveis de abrangência de critérios de

outorga, os quais funcionarão como um “funil” – partindo do mais abrangente para o menos abrangente.

O nível mais abrangente tem a bacia hidrográfica como universo e considera o ciclo hidrológico como uma fonte de informações dos processos ali presentes. O nível intermediário de abrangência considera áreas de gerenciamento determinadas exclusivamente para cada bacia/área de estudo, nas quais os critérios de outorga poderão variar de uma área pra outra. O nível menos abrangente considera as informações do ponto outorgado, ou seja, em se tratando de água subterrânea, o local a ser considerado é o poço e as interferências provocadas por sua exploração.

De maneira esquemática, os níveis de abrangência dos critérios de outorga de direito de uso das águas subterrâneas podem ser visualizados como um “funil”, assim como está representado na Figura 35. A seguir os níveis de abrangência dos critérios de outorga utilizados nesta pesquisa serão definidos.



Figura 35 – Esquema dos níveis de abrangência dos critérios de outorga.

4.2.1 NÍVEL GLOBAL

Define-se como global o nível de abrangência que considera a bacia hidrográfica como um todo, dentro de uma visão sistêmica e integradora do ciclo hidrológico. Neste nível são considerados

os limites de retirada de água subterrânea na bacia hidrográfica e as necessidades hídricas das espécies ripárias, ou seja, a consideração da demanda ecológica.

Podem ser avaliadas a interconexão e a interdependência entre os fenômenos que atuam no ciclo hidrológico e os efeitos conjuntos da exploração da água subterrânea e da extração de água superficial sobre o escoamento do rio, englobando também os demais processos que operam no regime hidrológico na bacia.

4.2.2 NÍVEL REGIONAL

Define-se como regional o nível de abrangência estabelecido a partir de zonas de recarga e descarga de água subterrânea, ou seja, de acordo com o comportamento físico dos processos, incluindo-se aqui aqueles instituídos a partir do conhecimento das especificidades comuns a uma determinada região da bacia.

Neste nível podem ser avaliadas a necessidade de proporcionar os usos múltiplos e prioritários e as condições de suscetibilidade à poluição e intrusão salina de um aquífero.

Análise específica de cada região deve ser realizada para identificar se um determinado critério regional estabelecido para certa região de estudo pode ou não ser utilizado para outra.

4.2.3 NÍVEL LOCAL

Os critérios estabelecidos como locais consideram as interferências da captação de água subterrânea em uma escala reduzida, ou seja, o objeto principal de análise é o poço e as consequências de sua perfuração em um determinado local da bacia. Geralmente, as práticas comuns de planejamento de uso dos recursos hídricos subterrâneos consideram apenas essa abordagem, ao levar em conta, exclusivamente, a análise do efeito do bombeamento de poços em áreas de sua proximidade.

Podem ser avaliados aqui desde a qualidade das águas e usos preponderantes até a racionalização do uso da água, com incorporação de alternativas de gerenciamento da demanda nos sistemas de recursos hídricos dos usuários.

4.3 DEFINIÇÃO DAS ZONAS DE GERENCIAMENTO

Pelo fato do nível intermediário de abrangência de critérios de outorga demandar áreas de gerenciamento menores que a bacia hidrográfica ou área de estudo, foram criadas as chamadas “*zonas de gerenciamento*”.

Tais zonas foram definidas através de consultas a profissionais e especialistas na área de hidrogeologia no âmbito do projeto de pesquisa no qual esta dissertação se insere, a partir do conhecimento acumulado sobre a área através de visita de campo e da pesquisa relativa a seus problemas de gestão de recursos hídricos.

Para definição das zonas de gerenciamento, consideraram-se informações a cerca de:

- níveis topográficos da área de estudo;
- falhas tectônicas presentes na área de estudo;
- condição de pressão dos aquíferos;
- uso da água subterrânea na região.

Na Figura 36 encontram-se as zonas de gerenciamento propostas para a região de estudo.

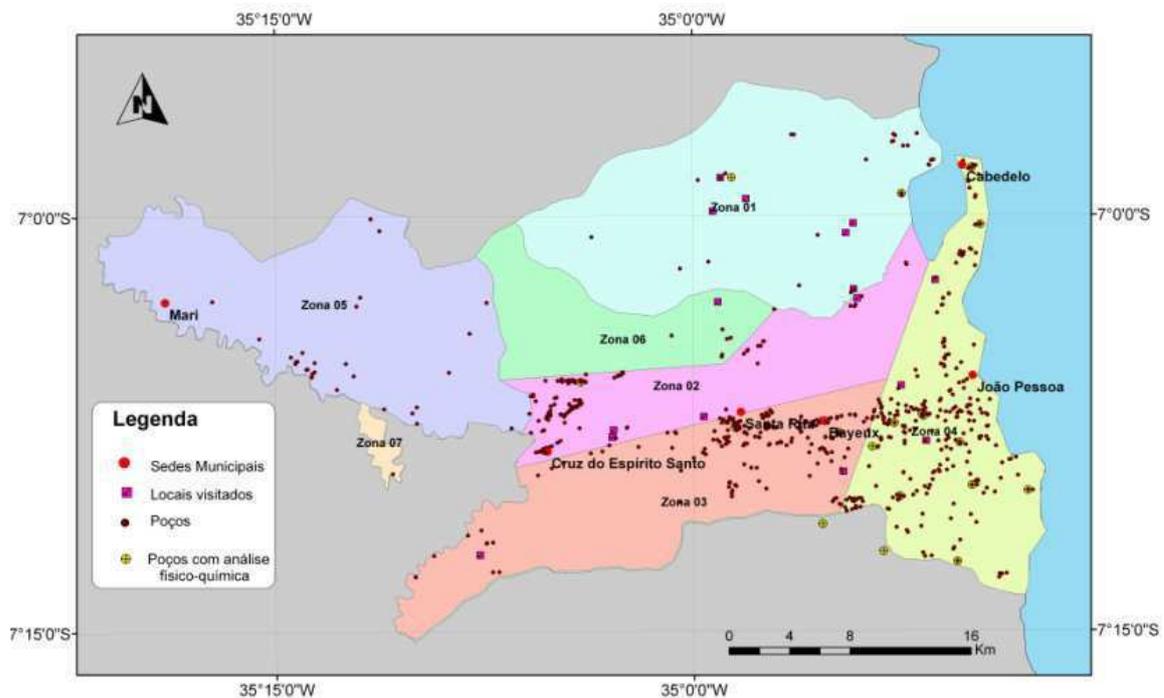


Figura 36 – Zonas de gerenciamento propostas para a região em estudo.

4.3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS

- **Zona 1**

A Zona 1 foi definida como a área topograficamente delimitada pela Bacia do rio Soé, rio este que desemboca na foz do rio Paraíba, na cidade de Cabedelo. Esta zona abrange parte do município de Lucena e Santa Rita, possuindo uma área de 283,87 km². Não possui uma quantidade significativa de poços cadastrados, porém, segundo visitas feitas na região percebeu-se a intensa exploração da água subterrânea para irrigação, especialmente, de cana-de-açúcar.

- **Zona 2**

A Zona 2 foi definida segundo o *graben* formado na região do vale do rio Paraíba, delimitada através dos níveis topográficos próximos aos do leito do rio, a qual totalizou uma área de 136,37 km², abrangendo parcialmente os municípios de Santa Rita, Cruz do Espírito Santo, Bayeux e João Pessoa. Esta zona também não possui uma quantidade significativa de poços cadastrados, porém a água subterrânea é bastante utilizada para irrigação de diversas culturas.

- **Zona 3**

A Zona 3 foi definida a partir da falha tectônica de Itabaiana, totalizando uma área de 209,72 km², abrangendo parcialmente os municípios de Santa Rita, Cruz do Espírito Santo, Bayeux, João Pessoa, São Miguel de Itaipu e Pedras de Fogo. Apresenta uma quantidade significativa de poços cadastrados, como podem ser vistos no mapa da Figura 36. Trata-se de uma região que utiliza a água subterrânea para os mais diversos usos.

- **Zona 4**

A Zona 4 foi definida pela região delimitada pela falha tectônica de Cabedelo, totalizando uma área de 176,26 km², 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.

- **Zona 5**

A Zona 5 foi definida pela região topograficamente delimitada pelas Bacias dos açudes São Salvador e Pacatuba, totalizando uma área de 247,24 km², abrangendo os municípios de Mari, Sapé, Cruz do Espírito Santo e Santa Rita. A zona em questão não possui muitos poços cadastrados.

- **Zona 6**

A Zona 6 foi definida pela região topograficamente delimitada pela Bacia do rio Engenho Novo, totalizando uma área de 97,17 km², abrangendo parcialmente os municípios de Santa Rita e Cruz do Espírito Santo. A zona não possui muitos poços cadastrados.

- **Zona 7**

Embora seja de área reduzida, a Zona 7 foi incluída na divisão de zonas de gerenciamento como uma zona própria por que a sua área de drenagem não participa da região delimitada pelas Bacias dos rios São Salvador e Pacatuba (Zona 5). Esta zona localiza-se no município de Sapé e possui área de apenas 7,29 km².

O subsistema aquífero em que se encontram as zonas 1, 2, 3, 5, 6 e 7 pode ser considerado, genericamente, como um subsistema livre, em que a formação Beberibe é aflorante. Enquanto que a zona 4 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.

4.4 CRITÉRIOS DE OUTORGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A seguir serão explanados os critérios de outorga de águas subterrâneas propostos de acordo com a realidade da porção da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco inserida na Região do Baixo Curso do rio Paraíba. Estes critérios são apresentados considerando a sua inserção no respectivo nível de abrangência.

4.4.1 CRITÉRIO DE OUTORGA NO NÍVEL GLOBAL

4.4.1.1 *Prioridades de uso das águas superficiais*

Como critério inicial, propõe-se a consideração do uso dos recursos hídricos superficiais como prioritários em relação ao uso dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que estes são considerados recursos estratégicos, devendo ser utilizados quando não houver outra alternativa de suprimento hídrico superficial.

Essa premissa está fundamentada no modelo conceitual dos processos hidrogeológicos descrito no item 4.1, uma vez que se constata que a água subterrânea está sendo utilizada de maneira descontrolada, fato este justificado pelos negativos níveis potenciométricos em vários poços da região e como consequência o fluxo subterrâneo encontra-se invertido (em vez de se fazer na direção do oceano, ela está se processando do mar para o interior), pelos rios da região terem se tornado influentes (perdendo vazão de base para o aquífero) e pela intrusão salina na área costeira decorrente do bombeamento excessivo.

É necessário então que o órgão gestor detenha o conhecimento da disponibilidade hídrica superficial, determinadas pelos volumes dos reservatórios disponíveis na área em que se deseja a outorga. Existindo essa alternativa de suprimento de água na região, com disponibilidade para atendimento com um nível tolerável de garantia, o usuário ficaria impossibilitado de requerer uma outorga para captação de água subterrânea.

Porém, alguns fatores devem ser considerados, como por exemplo, a situação sócio-econômica do usuário e a localização do usuário de água na bacia, uma vez que, estando o manancial superficial muito distante do local que será utilizada a água, a adução pode tornar a captação mais onerosa do que a perfuração de um poço próximo.

Não existindo fonte hídrica superficial capaz de atender àquele usuário, procede-se então com a avaliação pelos outros critérios propostos a seguir.

4.4.1.2 Potencial de água subterrânea

Como já explicitado, o potencial é, portanto, o recurso hídrico em seu estado natural, sem intervenção humana e corresponde a uma média de vazões anuais. Estas médias para, em princípio, tornarem-se ativas, precisam da intervenção do homem que, para isso, deve proceder à construção de açudes, poços, etc. Em relação às águas subterrâneas, o potencial ativado corresponde ao somatório das vazões de exploração dos poços, em regime teórico de 24/24 horas, nos 365 dias do ano (Albuquerque & Rêgo, 1999).

Sendo assim, o potencial de água subterrânea na bacia hidrográfica pode ser utilizado como ponto de partida para um critério global de outorga, pois o mesmo agrega princípios de aproveitamento de recursos hídricos visto que é a partir do potencial que se calculam as disponibilidades de recursos hídricos.

Desse potencial de recursos hídricos da bacia hidrográfica somente uma parcela pode ser outorgada, visto que deve ser descontada a porção relativa à demanda ecológica. Esta demanda está relacionada com a manutenção dos regimes hidrológicos dos rios ou outros elementos potamográficos (lagoas, fontes, etc.), com a preservação das condições de fluxo da zona de subsaturação do subsistema aquífero livre e, por extensão, com a manutenção das características ambientais naturais.

Contudo, a dificuldade encontrada no meio acadêmico, principalmente entre biólogos, ecólogos e hidrólogos, reside no fato da determinação da parcela relativa à demanda ecológica, visto que não há uma unanimidade na adoção dos critérios de vazão ecológica.

Albuquerque (2008b) estimou a vazão de base a partir da separação deste segmento dos hidrogramas de vazões médias mensais e identificou (pela projeção do ramo assintótico da curva no eixo das vazões), no mesmo hidrograma, a vazão média das mínimas, a qual relacionou com a vazão de base média.

Concluiu então que a parcela da vazão de base que atende a demanda ecológica natural corresponde à média das vazões de base mínimas, verificadas no auge da estação de estiagem, suficientes para manter luxuriante toda a vida vegetal e animal da bacia. Esta média seria em torno de

40% da descarga de base média de longo período. Os 60% restantes constituiriam a parcela disponível para exploração.

Silva (2007) já confirmava que não seria possível explorar toda a recarga (potencial) de um aquífero. A prática comum em se permitir o uso de até 100% da recarga de água subterrânea em uma bacia hidrográfica como critério de exploração segura, poderá modificar o balanço de água no aquífero, vindo a provocar sua depleção e a redução da descarga subterrânea nas vazões de base dos rios.

Sendo assim, a autoridade outorgante avaliaria primeiramente o requerimento de outorga relacionando-o com o potencial outorgável, ou seja, com os 60% disponíveis para exploração. No caso da porção da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba-Pernambuco pertencente à Região do Baixo Curso do rio Paraíba esse valor corresponde a $81,06 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $2,57 \text{ m}^3/\text{s}$, visto que 40% já estaria comprometido com a demanda ecológica ($54,04 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ ou $1,71 \text{ m}^3/\text{s}$).

4.4.2 CRITÉRIO DE OUTORGA NO NÍVEL REGIONAL

4.4.2.1 Prioridades de uso da água

Em situações de escassez hídrica, os usos prioritários de recursos hídricos já foram definidos na Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997), art. 1º, inciso III, como sendo o abastecimento humano e a dessedentação de animais. Porém, ao conceder uma outorga o órgão gestor deve analisar outras prioridades além dessas mencionadas, principalmente, porque na Lei consideram-se os usos prioritários apenas em situações de escassez.

A Resolução CNRH nº. 16 (CNRH, 2001) ressalta que a outorga deverá observar as prioridades estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos. No entanto, o Plano de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba não traz nenhuma ordem de prioridades de uso em relação à outorga. Na Paraíba, as prioridades de uso estão estabelecidas no Decreto Estadual nº. 19.260/97 (PARAÍBA, 1997) e seguem a seguinte ordenação:

1. abastecimento doméstico;
2. abastecimento coletivo especial;
3. outros abastecimentos coletivos de cidades, distritos, povoados e demais núcleos habitacionais, de caráter não residencial;

4. captação direta para fins industriais, comerciais e de prestação de serviços;
5. captação direta ou por infra-estrutura de abastecimento para fins agrícolas, compreendendo irrigação, pecuária, piscicultura, etc.;
6. outros usos permitidos pela legislação em vigor.

Sugere-se aqui, como critério de outorga, que sejam mantidos como usos prioritários o abastecimento humano e a dessedentação de animais, seguidos pelos usos para fins industriais, comerciais e de serviços e por fim os usos para fins agrícolas (irrigação, piscicultura, carcinicultura, etc.).

Sugere-se, também, que sejam analisados outros documentos orientadores da política de desenvolvimento e do ordenamento da expansão, tais como os Planos de Desenvolvimento Regionais e os Planos Diretores Municipais, e seus consequentes planejamentos com a finalidade de garantir a disponibilidade hídrica de determinados empreendimentos, como, por exemplo, de conjuntos habitacionais.

4.4.2.2 Intrusão salina

Em 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 água salina, porém, por processos difusivos, penetra parcialmente no subsolo continental e por ser mais densa que a água doce, forma com ela uma interface oblíqua penetrando por baixo da mesma, formando uma cunha salina na zona costeira, como pode ser visto na Figura 37 (a).

A cunha de água salgada é mantida em equilíbrio pela descarga subterrânea de água doce ao mar. Com a exploração do aquífero de forma intensiva, principalmente através do bombeamento próximo à costa, esta condição de equilíbrio é perturbada pelo bombeamento excessivo e a superfície piezométrica é rebaixada, a descarga diminui e a cunha salina tende a avançar no continente, atingindo áreas de captação dos poços e poluindo a água extraída (Figura 37 (b)).

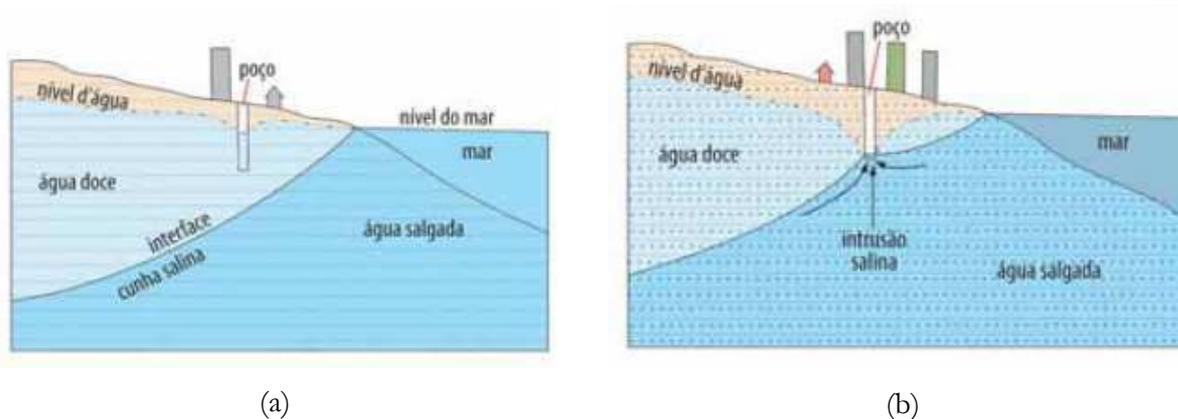


Figura 37 – (a) Cunha salina; (b) Intrusão salina e efeitos do bombeamento de poços em áreas costeiras. Fonte: Iritani & Ezaki (2008)

Em relação à vazão do escoamento subsuperficial ao mar, a sua exploração por poços deve guardar certa distância em relação à linha da costa e/ou um limite de rebaixamento, de forma a manter a situação original do escoamento subterrâneo, do interior para o litoral.

Isto não tem ocorrido, conforme se constata no Mapa de Rede de Fluxo (Figura 34) que acusa um escoamento subterrâneo do litoral para o interior, invertendo o fluxo natural, podendo já estar em curso a sobre-exploração das águas subterrâneas com reflexos na redução do escoamento de base e interiorização maior das marés.

Há indícios de que isto está acontecendo na Bacia do Rio Marés, onde os níveis piezométricos apresentam-se bastante aprofundados pela exploração intensiva dos poços da área, de tal forma a reduzir o seu escoamento de base, permitindo a interiorização da maré alta, causando, até, a mortandade de peixes (Costa *et al.*, 2007).

Sendo assim, o critério de intrusão salina seria verificado nas regiões litorâneas, uma vez que são as regiões propensas à intrusão. Uma outorga somente seria concedida pelo órgão gestor de águas se fosse resguardada certa distância da linha da costa, distância esta determinada através de investigações usando um modelo de fluxo subterrâneo.

4.4.2.3 Vulnerabilidade dos aquíferos

A outorga de águas subterrâneas implica no conhecimento quali-quantitativo das águas transmitidas em aquíferos. Os limites quantitativos devem levar em consideração as relações com o meio ambiente, através da vazão reservada para o atendimento da demanda ecológica natural. Do ponto de vista qualitativo, a outorga pressupõe o instrumento de enquadramento, que indica as metas de qualidade a serem alcançadas em determinados aquíferos ou porções destes.

O enquadramento das águas subterrâneas poderá ser realizado a partir do zoneamento do(s) aquífero(s), em função do mapeamento da sua vulnerabilidade, da avaliação da qualidade da água, dos usos preponderantes e das potenciais fontes de contaminação. Devem então ser definidas áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e limites de parâmetros de qualidade, de acordo com os usos preponderantes e as classes dos corpos de água superficiais para os quais contribuam.

As metodologias atualmente empregadas nos estudos ambientais de águas subterrâneas baseiam-se no conceito de vulnerabilidade de sistemas aquíferos. Trata-se de estabelecer índices que avaliem o grau de suscetibilidade de um aquífero à poluição por um ou vários agentes.

A vulnerabilidade é fundamentada com base nas características intrínsecas dos sistemas de água subterrânea que depende da sensibilidade dos aquíferos a impactos humanos e/ou naturais e é função de fatores hidrogeológicos. Como resultados da avaliação da vulnerabilidade podem ser obtidos mapas que apresentam zonas com maior ou menor sensibilidade à contaminação, que geralmente são construídos para o aquífero livre. A principal finalidade destes mapas é servir de instrumentos na definição de políticas públicas tanto no planejamento do uso e ocupação do solo como no gerenciamento das águas subterrâneas (Monteiro, 2008).

Duas metodologias de determinação da vulnerabilidade dos aquíferos têm sido aplicadas: o Método GOD e o Método DRASTIC.

O Método GOD (Foster *et al.*, 2002) permite estimar o índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos. Suas iniciais em inglês, significam respectivamente **G**roundwater hydraulic confinement (Grau de confinamento hidráulico – condição do aquífero), **O**verlying Strata (Ocorrência do substrato litológico – caracterização geral), **D**epth to groundwater table (Distância da água, ou seja, profundidade do lençol freático ou teto do aquífero confinado).

A metodologia DRASTIC é um sistema paramétrico de avaliação que inclui sete características hidrogeológicas somadas de forma ponderada, em que suas iniciais significam: **D**eep to water (profundidade do topo do aquífero), **R**echarge (recarga), **A**quifer media (material do aquífero),

Soil media (tipo de solo), **Topography** (declividade), **Impact of the vadose zone** (influência da zona vadosa) e **Conductivity** (condutividade hidráulica) (Castelo Branco *et al.*, 2007).

Portanto, podem ser construídos mapas (utilizando uma das duas metodologias citadas) indicando a classe de vulnerabilidade dos aquíferos obtida pela combinação dos mapas para cada parâmetro. As classes de vulnerabilidade podem ser baseadas nas classes apresentadas por Rêgo & Albuquerque (2004):

- **Extrema:** onde o aquífero é susceptível a contaminação independente do tipo de carga contaminante;
- **Alta e muito alta:** nas áreas onde existem zonas de fraturas abertas possibilitando uma rápida migração e contaminação independente do tipo de contaminante;
- **Moderada:** onde o aquífero é susceptível a contaminação, independente do tipo de contaminante, exceto aqueles que são rapidamente absorvidos/adsorvidos ou transformados através de reações físico-químicas diversas, nesse grau de vulnerabilidade a espessura da camada não saturada exerce um papel importante;
- **Baixa, muito baixa e insignificante:** onde a porosidade e a condutividade hidráulica são muito baixas, não existindo praticamente fluxo subterrâneo e conseqüentemente reduzindo consideravelmente a possibilidade de risco de contaminação.

Sendo assim, para emitir uma outorga para a exploração de água subterrânea através de poço, as suas coordenadas geográficas seriam plotadas no mapa de vulnerabilidade de aquíferos e verificada em que região se encontra a captação. Uma captação requerida numa região de extrema ou alta vulnerabilidade seria mais restritiva do que em uma região na qual a vulnerabilidade é baixa.

4.4.3 CRITÉRIO DE OUTORGA NO NÍVEL LOCAL

4.4.3.1 Qualidade de água

A qualidade de água subterrânea é outro critério a ser considerado, tendo em vista o uso proposto para a água a ser captada e a classe em que estiver enquadrado o aquífero. Tal qualidade depende de parâmetros físicos, químicos e biológicos da água, como por exemplo, os sólidos totais

dissolvidos (STD), os coliformes termotolerantes e os nitratos. Dependendo dos valores encontrados para diversos outros parâmetros é possível estabelecer as classes de águas subterrâneas.

O critério de outorga de qualidade de água ora proposto refere-se ao teor de qualidade da água captada no aquífero a certa profundidade, diferentemente da outorga qualitativa, a qual se relaciona com a qualidade da água a ser lançada no corpo hídrico receptor.

Como já apresentado anteriormente, no item 2.5.1, sabe-se que foram estabelecidas seis classes de qualidade de águas subterrâneas, de acordo com a Resolução CONAMA n°. 396/08 (CONAMA, 2008).

Sendo assim, dependendo da classe em que estiver enquadrada a água subterrânea e do uso a que se pretende dar a ela, faz-se necessário tratamento adequado para torná-la passível de utilização. Salienta-se que uma água subterrânea de Classe 5 nunca poderá ser outorgada para abastecimento humano, visto que estas são destinadas a atividades que não possuam requisitos de qualidade para uso.

O órgão gestor deverá avaliar com minúcia a análise da qualidade de água subterrânea (na profundidade solicitada) anexada pelo requerente e confrontá-la com o enquadramento naquele aquífero ou porção de aquíferos. A presença de metais pesados deve ser observada e sempre negada a outorga para uma captação que apresente estes compostos.

4.4.3.2 Interferência entre poços

Se dois poços situados próximos um do outro são bombeados simultaneamente, seus cones de depressão podem se expandir ao ponto de se encontrarem. Neste caso, ocorre o que se chama de “interferência entre poços”, pois o rebaixamento de cada um deles sofrerá um acréscimo correspondente ao rebaixamento do outro, na área de interferência entre poços (Figura 38). No caso da existência de vários poços (uma bateria de poços), aos rebaixamentos de cada um deles se somam os rebaixamentos decorrentes da influência dos poços vizinhos na área de interferência (Rêgo & Albuquerque, 2004).

Esta interferência irá reduzir o rendimento potencial dos poços envolvidos. Em severas circunstâncias, interferência entre poços pode causar rebaixamentos que tornam poços superficiais secos.

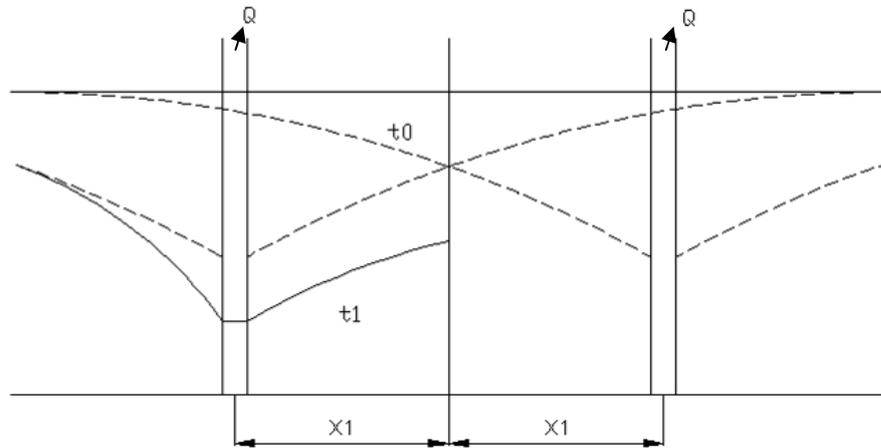


Figura 38 – Esquema do efeito de interferência entre poços (Adaptado de Rêgo & Albuquerque, 2004).

Propõe-se aqui que a interferência entre poços seja determinada através do raio de influência do poço, o qual é entendido como a distância compreendida entre o poço de bombeamento ao nível do aquífero, onde já não são mais observados os efeitos do bombeamento, ou seja, a distância a partir da qual, os efeitos de um bombeamento num determinado poço são nulos.

Sendo assim, o raio de influência de um poço pode ser determinado através da expressão:

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{T \times t}{s}} \quad (\text{Equação 6})$$

Sendo:

R = raio de influência;

T = transmissividade;

t = tempo de bombeamento;

s = coeficiente de armazenamento.

Como exemplo, utilizar-se-á os dados da Tabela 15 para o cálculo do raio de influência de um poço representativo da região em estudo que adota um regime de exploração de água subterrânea de oito horas por dia.

Se o poço estiver captando água do aquífero confinado, ou seja, do Beberibe, seu raio de influência poderá alcançar o valor de 836 m e se o poço estiver captando água do aquífero livre, ou

seja, o Barreiras, o raio de influência poderá atingir 47 m. Portanto, não poderiam ser concedidas outorgas para captação de água subterrânea para um regime de exploração de oito horas por dia, na área de influência determinadas por estes raios.

Outra possibilidade seria do órgão gestor utilizar softwares que contenham ferramentas capazes de espacializar a coordenada geográfica do poço e calcular o raio de influência do poço de acordo com o regime de bombeamento requerido pelo usuário no requerimento de outorga.

4.4.3.3 Rebaixamentos máximos permissíveis

Ao bombear-se água de um poço tubular, o nível da água subterrânea ajusta-se a este bombeamento formando um cone de rebaixamento. Quando a taxa de bombeamento é menor ou igual à taxa de recarga do aquífero, o cone de rebaixamento se estabiliza com o tempo. Porém quando a extração ocorre de forma descontrolada ou abusiva, em local de elevada concentração de poços, excede-se a capacidade de recarga natural de um aquífero, conduzindo à queda contínua dos níveis de água subterrânea e à redução da reserva hídrica. Como consequência a água passa a ser encontrada em profundidades cada vez maiores, sendo necessário maior consumo de energia para bombear a água, acarretando queda de rendimento do poço tubular (Figura 39).

Nestes locais, devido ao bombeamento conjunto dos poços, o rebaixamento do nível d'água de um poço interfere e soma-se aos dos seus vizinhos, intensificando, ainda mais, esta queda de nível. Mesmo em épocas sem chuva, os aquíferos livres fornecem água para os rios ou abastecem as nascentes. Com o rebaixamento acentuado do nível da água dos aquíferos, o fornecimento de água para os mananciais superficiais pode ser afetado, com redução do suprimento de água que mantém os rios e nascentes.

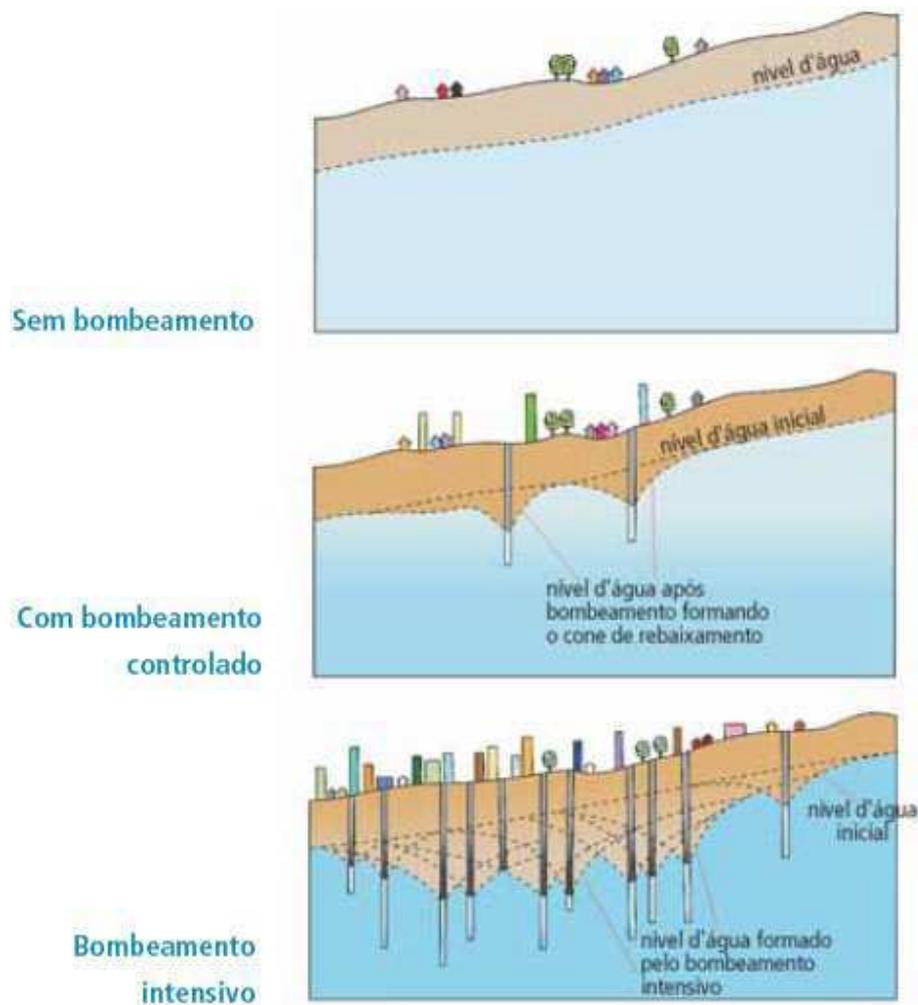


Figura 39 – Interferência dos cones de rebaixamento e evolução da profundidade do nível da água em função do bombeamento contínuo e simultâneo de muitos poços. Fonte: Iritani & Ezaki (2008).

Para minimizar a interferência entre poços tubulares, podem ser estabelecidas taxas menores de vazão e/ou tempo de bombeamento, implantar rodízio no funcionamento de poços ou determinar rebaixamentos máximos permissíveis.

Sugere-se aqui que sejam analisados os rebaixamentos máximos permissíveis de acordo com a condição de pressão dos aquíferos, ou seja, livre ou confinado.

No subsistema livre ou em suas unidades integrantes, o rebaixamento máximo é de aproximadamente $2/3$ da espessura saturada. Para além desse limite, o poço tende à exaustão, podendo ter reflexos negativos nos recursos hídricos superficiais, ao menos na área do raio de influência do poço.

No subsistema confinado (ou semiconfinado), o rebaixamento máximo admitido é dado pela profundidade da base da formação geológica confinante (ou semiconfinante) ou, o que é o mesmo, pela profundidade do topo do aquífero, já que nunca se deve penetrar no domínio das reservas intersticiais, sob pena de poder provocar a compactação do aquífero na área de influência do poço, pela redução da pressão neutra e conseqüente aumento da pressão efetiva. Vale salientar que o raio de influência de poços abertos em aquíferos confinados ou semiconfinados é bastante grande, da ordem de centenas e, até, milhares de quilômetros (Albuquerque, 2004).

4.4.3.4 Gestão da demanda

Um dos objetivos da Lei Federal nº. 9.433/97 (BRASIL, 1997) é promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável, sendo assim um critério de outorga para águas subterrâneas que levasse em consideração a racionalização deste recurso é perfeitamente justificável.

Ratificando a lei federal, o Decreto Estadual nº. 19.260/97 (PARAÍBA, 1997), em seu art. 14, inciso III, afirma que a outorga ficará condicionada à comprovação de que o uso de água não cause poluição ou desperdício dos recursos hídricos, sendo assim, pode ser aplicado no processo de obtenção da outorga um critério baseado na gestão da demanda de água.

Gestão da demanda é toda e qualquer medida voltada a reduzir o consumo final dos usuários do sistema, sem prejuízo dos atributos de higiene e conforto dos sistemas originais. Essa redução pode ser buscada mediante mudanças de hábitos de uso da água ou mediante a adoção de aparelhos e equipamentos poupadores (PNCDA, 1999).

Sendo assim, ao avaliar um requerimento de outorga, o órgão gestor deve analisá-lo segundo a ótica do desenvolvimento sustentável, ou seja, analisando se o usuário utilizará com racionalidade aquela quantidade de água outorgada.

Para um usuário que utilize a água para abastecimento humano, como por exemplo, as concessionárias de abastecimento de água, a concessão da outorga ficaria vinculada a um plano de ações preventivas e corretivas de adução de água, tendo como meta a redução das perdas por vazamentos e desperdício na rede de distribuição. Para um usuário de irrigação, a concessão da outorga ficaria vinculada à adoção de um método de irrigação mais eficiente, como a irrigação por gotejamento e microaspersão, por exemplo. Para um usuário do setor industrial, ficaria vinculada à apresentação de um projeto de redução de desperdícios e/ou reuso de água.

A instalação de hidrômetros diretamente na tubulação de captação do poço poderia ser adotada pelo órgão gestor, com a finalidade de verificar se a quantidade de água utilizada pelo usuário corresponde à vazão outorgada.

No entanto, esta ação estaria vinculada à criação de uma equipe de fiscalização e monitoramento, assim como já acontece na Região Metropolitana de Recife. De acordo com Silva *et al.* (2008), entre os anos de 2001 e 2007 foram realizadas campanhas de fiscalização das empresas de comercialização de água potável na área nos bairros de Jordão, Jardim Jordão e Ibura (estado de Pernambuco) para identificação de poços clandestinos e verificação do cumprimento das condições da outorga. A fiscalização indicou que todos os usuários vistoriados se encontravam em situação irregular. Foram identificados usuários outorgados com captações superiores ao valor permitido e usuários outorgados com ausência de hidrômetros, assim como usuários irregulares, ou seja, sem a devida outorga.

No Quadro 4 a seguir apresenta-se o quadro resumo dos critérios de outorga para águas subterrâneas de acordo com os níveis de abrangência pré-definidos.

4.5 QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS

Quadro 4 – Resumo dos critérios de outorga para águas subterrâneas propostos.

NÍVEL DE ABRANGÊNCIA	CRITÉRIOS	ZONAS					
		ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6
Nível global	Prioridades de uso das águas superficiais	Verificar a existência de disponibilidade hídrica (reservatórios) próximas ao local de captação requerido.					
	Potencial de água subterrânea	60% do potencial de água subterrânea disponível para exploração. 40% do potencial de água subterrânea disponível para demanda ecológica.					
Nível regional	Prioridades de uso da água	Garantir os usos prioritários do abastecimento humano e da dessedentação de animais.					
	Intrusão Salina	Resguardar certa distância da costa	Resguardar certa distância da costa	Esta zona não tem contato com o mar	Resguardar certa distância da costa	Esta zona não tem contato com o mar	Esta zona não tem contato com o mar
	Vulnerabilidade dos aquíferos	Verificar modelo de vulnerabilidade de aquíferos para a zona correspondente.					
Nível local	Qualidade de água	Dependente da classe de qualidade da água em que tiver sido classificada e do uso a que se destina.					
	Interferência entre poços	Verificar o raio de influência do poço de acordo com o regime de bombeamento solicitado no requerimento de outorga.					
	Rebaixamentos máximos permissíveis	Analisar os rebaixamentos máximos permissíveis de acordo com a condição de pressão dos aquíferos.					
	Gestão da demanda	De acordo com o tipo de usuário, exigir o uso da água com racionalidade mediante projetos de redução de desperdícios e perdas, métodos de irrigação mais eficientes, etc.					

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Pelo fato da unidade territorial de gestão de recursos hídricos ser a bacia hidrográfica e os aquíferos, geralmente, não coincidirem com seus limites, a atividade de gerenciamento dos recursos hídricos e a integração entre recursos hídricos superficiais e subterrâneos torna-se mais complexa.

Todavia, nesta pesquisa, tomaram-se como base os limites topográficos da bacia hidrográfica, visto que é esta a unidade de gestão de recursos hídricos.

5.1.1 SOBRE O MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual considerado nesta pesquisa permitiu que fossem propostos critérios de outorga para águas subterrâneas condizentes com a realidade da bacia sedimentar em estudo.

Foi possível verificar que a região avança para uma situação de maior criticidade no que se refere ao uso desordenado da água subterrânea, visto que muitos poços já apresentam níveis estáticos negativos e que é provável que esteja ocorrendo a intrusão da água salina nas regiões litorâneas.

O modelo servirá como ferramenta base e fonte de dados de entrada para o modelo computacional que será implementado, utilizando um software específico de modelagem de águas subterrâneas.

5.1.2 SOBRE OS NÍVEIS DE ABRANGÊNCIA

Os níveis de abrangência possibilitaram uma melhor espacialização dos critérios de outorga, baseados, na maioria das vezes, em critérios localizados, ou seja, aqueles em que considera-se apenas o poço e a sua vazão de teste atingida. Com os níveis de abrangência assim definidos puderam ser criados critérios de outorga generalizados para a bacia hidrográfica (critérios globais), critérios específicos para cada zona de gerenciamento (critérios regionais) e critérios específicos para o usuário ou o poço (critérios locais).

5.1.3 SOBRE AS ZONAS DE GERENCIAMENTO

A elaboração do mapa de zonas de gerenciamento mostrou-se necessária devido à aplicação de critérios de abrangência intermediária (critério regional), os quais seriam utilizados em zonas específicas – critério de intrusão salina que somente é aplicável às zonas litorâneas – ou teriam condições diferenciadas do uso do critério dependendo da situação da zona – critério de vulnerabilidade dos aquíferos no qual a outorga pode ser mais ou menos restritiva, dependendo da situação de suscetibilidade.

As zonas de gerenciamento permitirão ainda que o órgão gestor realize campanhas de regularização do uso da água, com instalação de hidrômetros de acordo com as zonas pré-determinadas, iniciando por aquelas zonas que necessitem de regularização com mais urgência, ou seja, aquelas em que a exploração de águas subterrâneas através de poços esteja desordenada. As atividades de fiscalização dos usos da água e monitoramento dos níveis dos poços também poderão ser feitos de acordo com as zonas propostas.

5.1.4 SOBRE OS CRITÉRIOS DE OUTORGA

Os critérios estabelecidos buscaram expressar os problemas de gerenciamento de recursos hídricos existentes na bacia caso de estudo e atuar no ordenamento destes problemas. Podemos citar, entre outros, os seguintes:

- O critério de interferência entre poços e rebaixamentos máximos admissíveis atuam no controle da exploração desordenada da água subterrânea através de poços;
- O critério de intrusão salina atua no controle deste fenômeno nas regiões litorâneas;
- O critério da gestão da demanda atua no controle do desperdício e poluição das águas subterrâneas;

Foi possível inserir os critérios nos níveis de abrangência definidos, porém, admite-se que alguns critérios podem ser utilizados em mais de um nível de abrangência, como é o caso, por exemplo, do critério de qualidade de água que pode ser considerado como critério local ou regional, visto que, quando for realizado o enquadramento das águas subterrâneas, a qualidade da água do aquífero pode vir a ser considerada como única para toda uma zona, sendo admitido como critério regional.

5.2 RECOMENDAÇÕES

5.2.1 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como recomendações para pesquisas futuras sugerem-se que:

- Seja realizada a modelagem computacional da área estudada;
- Sejam aprimoradas a delimitação e caracterização das zonas de gerenciamento;
- Sejam estudados e estabelecidos outros critérios de outorga para águas subterrâneas;
- Sejam estudados e estabelecidos critérios de outorga para gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos;

5.2.2 RECOMENDAÇÕES PARA O ÓRGÃO GESTOR

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

- Sejam instituídos, na lei paraibana, critérios de outorga mais abrangentes, como os apresentados nesta dissertação;
- Seja produzido, pelo órgão gestor, o manual de outorga;
- Sejam instalados pelo órgão gestor, equipamentos utilizados no monitoramento e fiscalização dos poços existentes na área de estudo, como hidrômetros, horímetros, medidores de níveis estáticos e dinâmicos, medidores de qualidade de água, etc.;
- Sejam criadas equipes de fiscalização para verificar se os termos da outorga estão sendo realmente cumpridos, principalmente, no que diz respeito aos usos da água e ao volume requerido;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. (2008). **Educação/Águas subterrâneas, o que são?** Disponível on-line em <www.abas.org/educacao.php>. Acesso em julho de 2008.
- ACQUATOOL CONSULTORIA. (2002). **Avaliação das Potencialidades, Disponibilidades e Condições de Exploração das Águas Subterrâneas da Região da Grande João Pessoa - Relatório Final da Primeira Etapa dos Serviços, Volume 2, Capítulos 4, 5 e 6, Dez. 2002, João Pessoa – PB.**
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da 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 junho de 2008.
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. (2008a). **Informações Básicas. Fluxograma do processo de outorga do direito de uso da água.** Disponível on-line em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/outorga/>>. Acesso em novembro de 2008.
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. (2008b). **Cadastro de outorga.** Governo do Estado da Paraíba. Cedido em abril de 2008.
- AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. (2009). **Recursos Hídricos/Volumes dos açudes por bacia hidrográfica.** Disponível on-line em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em janeiro de 2009.
- ALBUQUERQUE, J. do P. T.; RÊGO, J. C. (1999). **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.

- ALBUQUERQUE, J. do P. T. (2008a). **I Reunião de Rede do Projeto “Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas” (ASUB) MCT/FINEP/CT-HIDRO**. Agosto de 2008.
- ALBUQUERQUE, J. do P. T. (2008b). **Comunicação pessoal**.
- ALMEIDA, C. C. de. (2003). **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**. Jus Navigandi, Teresina, ano 7, n. 61, jan. 2003. Disponível on-line em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=3680>>. Acesso em 30 jul. 2008.
- ANA – Agência Nacional de Águas. (2003). **Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb**. Disponível on-line em < <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em outubro de 2008.
- ANA – Agência Nacional de Águas. (2005). **Cadernos de Recursos Hídricos. Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país. Diretrizes e Prioridades**. Brasília, 2005.
- ANA – Agência Nacional de Águas. (2007). **Cadernos de Recursos Hídricos nº. 4**. Superintendência de Outorga e Fiscalização. Brasília, 2007.
- 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.
- ARNÉZ, F. A. (2002). **Análise de critérios de outorga do uso da água na Bacia do rio Santa Maria, RS**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 162 p, 2002.
- AUSTRÁLIA. (2008). **National Water Commission. Groundwater**. Disponível on-line em <www.nwc.gov.au>. Acesso em novembro de 2008.
- BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. (2003). **A estratigrafia da bacia Paraíba: uma reconsideração**. Estudos Geológicos. Vol. 3. 89-108.

- BRASIL (1997). **Lei Federal nº. 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Senado, Brasília.
- BRASIL. (2000). **PEC – Proposta de Emenda à Constituição, nº. 43. Modifica a redação dos artigos 20, III, e 26, I, da Constituição Federal, para definir a titularidade das águas subterrâneas.** Autoria: Senador Júlio Eduardo. Senado, Brasília.
- CAMARA, A. C. F. C. (2003). **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da Bacia do rio Gramame (PB).** Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 219 p, 2003.
- CANADÁ. (2008). **Environment Canada – Federal Water Policy.** Disponível on-line em <www.ec.gc.ca/water/en/info/pubs/fedpol/e_fedpol.htm>. Acesso em novembro de 2008.
- CASTELO BRANCO, R. M. G.; OLIVEIRA, C. E. S.; ABREU, L. H. P.; MOTA, R. F. (2007). **Modelo DRASTIC aplicado a estudos de vulnerabilidade de sistemas aquíferos costeiros da zona urbana de Fortaleza – CE.** In: XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar. Florianópolis.
- CHILE. (1999). **Política Nacional de Recursos Hídricos.** Ministerio de Obras Públicas. Direccion General de Águas. Santiago, Dezembro de 1999.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. (2001). **Resolução nº. 16, de 8 de maio de 2001. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos.** Brasília.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2008). **Resolução nº. 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.** Brasília.
- CORDÃO, M. J. de S. IDEIÃO, S. M. A. (2008). **Um diagnóstico da qualidade de corpos hídricos da Bacia hidrográfica do rio Paraíba, PB com metas para o instrumento de enquadramento.** In: III SEPRONe – Juazeiro, BA, 2008. Anais em CD-ROM.

- COSTA, C. T.; PUERARI, E. M. CASTRO, M. A. H. (2003). **Análise da vulnerabilidade natural da contaminação de águas subterrâneas no Porto de Fortaleza-CE**. In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba.
- COSTA, W. D.; MANOEL FILHO, J.; SANTOS, A. C.; COSTA FILHO, W. D.; MONTEIRO, A. B.; SOUSA, F. F. A.; LOPES, A. V. G. (1998). **Estudo Hidrogeológico da Região Metropolitana do Recife – HIDROREC I**. Relatório técnico. Vol. I – Texto. CONVÊNIO FADE/UFPE – IDRC Canadá. Recife, 1998. 228p.
- COSTA, W. D. (coordenador). (2002). **Estudo Hidrogeológico de Recife, Olinda, Camaragibe, Jaboatão dos Guararapes – PROJETO HIDROREC II**. Relatório Final – Tomo I. Secretaria de Recursos Hídricos. Governo do Estado de Pernambuco/ANA – Proágua. COSTA – Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda. Recife. 2002.
- COSTA, W. D. (2006). **Diagnóstico preliminar sobre as condições de captação de água subterrânea na Bacia Sedimentar Costeira do estado da Paraíba**. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-estrutura Hídrica.
- 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.; CARVALHO, M. L.; MEDEIROS, C. M.; RIBEIRO, M. M. R. (2008). **Análise da integração das águas superficiais e subterrâneas no aparato legal de recursos hídricos do Brasil e do Estado da Paraíba**. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal.
- CRH/PE – Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. (2003). **Resolução nº. 4 de 2003. Dispõe sobre a conservação e proteção das águas subterrâneas do estado de Pernambuco**. Disponível on-line em <www.cprh.pe.gov.br/recursos_hidricos/instrumentos_legais/39709%3B54182%3B2001%3B0%3B0.asp>. Acesso em abril de 2008.

- CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. (2007a). **Disponibilidade Hídrica para outorga (i): Avaliação por seção hidrológica de referência.** In: Revista Rega – Revista de Gestão de Água da América Latina. Vol. 4, nº. 2, jul/dez 2007.
- CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. (2007b). **Disponibilidade Hídrica para outorga (ii): Avaliação integrada por bacia.** In: Revista Rega – Revista de Gestão de Água da América Latina. Vol. 4, nº. 2, jul/dez 2007.
- CUSTODIO, E. LLAMAS, M. R. (1976). **Hidrologia Subterrânea.** Tomo I. 1ª. Edição. Editora Omega, S. A. Barcelona.
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. (2007). **Outorga e Fiscalização – Evolução das outorgas no estado de São Paulo.** Disponível on-line em <www.daee.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/outorgaefiscalizacao/outorga06.htm>. Acesso em novembro de 2008.
- EPA – Environmental Protection Agency. (2006). **Ground Water Rule.** Disponível on-line em: <www.epa.gov/ogwdw/disinfection/gwr/regulation.html>. Acesso em novembro de 2008.
- FAO – Food and Agricultural Organization for the United Nations. (2002). **AquaStat – Land and water development division of Food and Agriculture Organization.** Disponível on-line em <www.fao.org>. Acesso em abril de 2008.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (1997). **Hidrogeologia. Conceitos e aplicações.** CPRM, LABHID-UFPE, 1997, 412 p.
- FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. (2005). **Orientações para a utilização de águas subterrâneas no estado de São Paulo.** Disponível on-line em <www.sindan.org.br/download/aguasf.pdf>. Acesso em novembro de 2008.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. (2002). **Protección de la Calidad del Agua Subterrânea: guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales.** Banco Mundial. Washington, D.C.: Mundi-Prensa Libros, S.A.

- FREIRE, C. C. (2002). **Modelo de gestão para a água subterrânea**. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 140 p, 2002.
- HEATH, R. C. (2005). **Basic ground-water hydrology**. U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 2220. Disponível on-line em <<http://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2220/>>. Acesso em novembro de 2008.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2004). **Mapa Hidrogeológico. Folha SB25YC**.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2005). **Produto Interno Bruto a preços correntes e Produto Interno Bruto per capita segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios - 2002-2005**. Disponível on-line em <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2005/tab01.pdf>. Acesso em julho de 2008.
- IRITANI, M. A.; EZAKI, S. (2008). **As águas subterrâneas do estado de São Paulo**. Cadernos de Educação Ambiental. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2008. 104p.
- JAPÃO. (2008). **Conservation of Ground Environment**. Ministry of the Environment. Government of Japan. Disponível on-line em <<http://www.env.go.jp/en/water/wq/wemj/ground.html>>. Acesso em novembro de 2008.
- KELMAN, J. (2000). **Outorga e cobrança de recursos hídricos**. Em: A cobrança pelo uso da água. Org. por Antonio Carlos de Mendes Thame. São Paulo: IQUAL, Instituto de Qualificação e Editoração Ltda., 2000.p.96.
- LIMA, G.; BOLDRIN, R. S.; CASTRO, M. A. S. C.; SOUZA, M. P.; MAUAD, F. F. (2005). **Critérios técnicos para outorga de direito de uso de recursos hídricos**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.
- LOUSADA, E. O. & CAMPOS, J. E. G. (2005). **Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal**. In: Revista Brasileira de Geociências. 35 (3):407-414, setembro de 2005.

- MAIDMENT, D.R. (1993). **GIS and hydrologic modeling**. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T.; ed. Environmental modeling with GIS. New York, Oxford University Press, 1993. Cap. 14, p. 147-167.
- MENDES, L. A. (2007). **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2007, 189 p.
- MÉXICO. (1992). **Ley de águas Nacionales**. Disponível on-line em <www.semarnat.gob.mx/leyesyformas/Leyes%20del%20sector/aguas_nacionales.pdf>. Acesso em novembro de 2008.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente/SRHU – Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. (2008). **Programa VIII – Programa Nacional de Águas Subterrâneas – Versão Preliminar. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Componente de Programas Regionais de Recursos Hídricos**. Brasília – DF. Novembro/2008.
- MONTEIRO, A. D.; FREIRE, P. K. C.; BARBOSA, G. F.; CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, S. R. (2008). **DRASTIC: Vulnerabilidade do aquífero Barreiras nos bairros de Ibura e Jordão – Recife – Pernambuco**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal.
- PARAÍBA (1996). **Lei Estadual nº. 6.308 de 02 de julho de 1996. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências**. Disponível on-line em <www.aesa.pb.gov.br/legislacao/leis/estadual/politica_estadual_recursos_hidricos.pdf>.
- PARAÍBA (1997). **Decreto Estadual nº. 19.260, de 31 de outubro de 1997. Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e dá outras providências**. Disponível on-line em <www.aesa.pb.gov.br/legislacao/decretos/estadual/19260_97_outorga_agua.pdf>.
- PARAÍBA (2007). **Lei Estadual nº. 8.446, de 28 de dezembro de 2007. Dá nova redação e acrescenta dispositivos à Lei nº. 6.308, de 02 de julho de 1996, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, e determina outras providências**. Disponível on-line em <www.aesa.pb.gov.br/legislacao/leis/estadual/Lei_Estadual_8.446.pdf>.

- PEREIRA, J. S., LANNA, A. E. L. (1996). **Análise de critério de outorga dos direitos de uso**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador.
- PNCDA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. (1999). **DTA – A3: Caracterização da demanda urbana de água**. Disponível on-line: <www.pncda.gov.br>. Acesso em agosto de 2003.
- PONTES, C. H. C.; LASTORIA, C.; PEREIRA, J. S. (2007). **Panorama atual da legislação brasileira com referência à gestão da água subterrânea**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo: ABRH.
- RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. do P. T. (2004). **Hidrogeologia Aplicada**. Campina Grande: UFCG/UNESCO, 2004.
- RIBEIRO, M. M. R. (2000). **Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso**. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. (2001). **Instrumentos regulatórios e econômicos: aplicabilidade à gestão das águas e à Bacia do rio Pirapama-PE**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 41-70, 2001.
- RIGHETTO, A. M. (1998). **Hidrologia e recursos hídricos**. Projeto REENGE. São Carlos: EESC/USP, 1998, 840p, il.
- RUFINO, I. A. A. (2004). **Gestão de recursos hídricos em ambientes urbanos costeiros: modelagem e representação do conhecimento em sistemas de informação geográfica**. Tese (doutorado). Programa Institucional de Doutorado Temático – Doutorado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande.
- SÃO PAULO (1988). **Lei Estadual nº. 6.134, de 2 de junho de 1988. Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências**.

SÃO PAULO (1991). **Lei Estadual 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos.**

SEMARH – Secretaria Extraordinária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2001). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.** Relatório Final de Diagnóstico. Tomo I. Pro-Água Semi-Árido. Governo do Estado da Paraíba. TC/BR – Riverside Technology Inc.

SILVA, F. C. (2007). **Análise integrada de usos de água superficial e subterrânea em macro-escala numa bacia hidrográfica: o caso do Alto rio Paranaíba.** Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 188 p.

SILVA, L. M. C. da; MONTEIRO, R. A. (2004). **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens.** Disponível on-line em: <www.ana.gov.br/Portal/Conhecimento/LucianoMenesesCardosoSilva/OutorgaDirUsoRecHid_UmaDasPossiveisAbordagens.pdf>. Acesso em setembro de 2008.

SILVA, S. R. da; MONTEIRO, A. B.; CABRAL, J. S. P.; BORBA, A. L. S.; FREIRE, P. K.; COSTA, W. D.; BARBOSA, G. F. (2008). **Gestão de águas subterrâneas no aquífero Barreiras – Jordão, Jardim Jordão e Ibura – Recife – Pernambuco.** In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal.

SRH – Secretaria de Recursos Hídricos/MMA - Ministério do Meio Ambiente. (2006). **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Síntese Executiva. Brasília, 2006.

SUDENE – Superintendência dos Estados do Nordeste. (1975). **Estudos de reconhecimento e estudos hidrológicos para aproveitamento integrado. Região centro-leste da Bacia Potiguar e Bacias costeiras da Paraíba e Pernambuco – Área A.** Estudos Hidrogeológicos – Minuta do Relatório Final, 1975.

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. (2008). **Critérios para Outorga de Uso Manancial Subterrâneo.** Disponível on-

line em: <www.suderhsa.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=64>. Acesso em setembro de 2008.

TURTON, A.; PATRICK, M.; COBBING, J.; JULIEN, F. (2008). **Os desafios da água subterrânea na África Austral**. Navigating Peace. N° 2. Abril de 2008. Disponível on-line em <http://www.wilsoncenter.org/topics/pubs/ECSP_NavigatingPeaceIssue2_Portuguese.pdf>. Acesso em novembro de 2008.

UACA – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande. (2008). **Informações climatológicas**. Disponível on-line em <www.dca.ufcg.edu.br/tsm.htm>. Acesso em julho de 2008.

UE – União Européia (2000). **Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água**. Disponível on-line em <<http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l28002b.htm>>. Acesso em junho de 2008.

UFCG/UFAL/UFSM (2007). **Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO – IGRH 01/2007**. ASUB – Integração dos Instrumentos de outorga, cobrança e enquadramento para a gestão das águas subterrâneas.

UFPB/ATECEL. (1994). **Plano estadual e sistema de gerenciamento de recursos hídricos; potencialidades hídricas superficiais do Estado da Paraíba – Relatório conclusivo**. João Pessoa: SEPLAN/PB.

VIEIRA, Z. M. DE C. L.; RIBEIRO, M. M. R.. (2007). **A gestão de recursos hídricos no Estado da Paraíba: aspectos legais e institucionais**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo.